Обработка цветных металлов и сплавов

Справочник

1961

Обработка цветных металлов и сплавов

А. П. СМИРЯГИН, Н. З. ДНЕСТРОВСКИЙ, А. Д. ЛАНДИХОВ,
Н. Н. КРЕЙНДЛИН, Г. Н. КРУЧЕР, В. А. ГОЛОВИН,
Б. Л. УРИН, В. Н. ГОЛЬДРЕЕР

СПРАВОЧНИК
ПО ОБРАБОТКЕ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Под редакцией канд. техн. наук Л. Е. МИЛЛЕРА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
Москва 1961

АННОТАЦИЯ

В справочнике приведены сведения о физико-химических и механических свойствах элементов, составах и свойствах цветных металлов и сплавов, изложена теория основных видов обработки цветных металлов и сплавов в горячем и холодном состоянии.

Приведен систематизированный справочный материал для проектирования, технического и технико-экономического планирования, контроля качества продукции и прочих элементов организации производства.

В каждом разделе справочника освещены главнейшие законы, управляющие основными процессами; основные формулы, необходимые при технологических и технических расчетах; свойства металлов и сплавов в разных состояниях, технологические и технические параметры основных, сопутствующих и вспомогательных процессов; технические параметры оборудования; сведения по инструменту.

Предназначен для инженерно-технических работников металлообрабатывающих и машиностроительных предприятий, а также проектных, научно-исследовательских институтов, лабораторий и студентов втузов.

Редактор издательства *К. Д. Мишарина* Технический редактор *М. К. Аттопович*

Переплет художника *Д. А. Сахарова*

Сдано в производство 4/I 1960 г. Подписано в печать 11/X 1960 г.
Бумага $70\times108^{1}/_{16} = 27.25$ бум. л. = 74,66 печ. л. (условно) Уч.-изд л. 90,67
Т-09080 Тираж 9300 Заказ 23 Цена 47 р. 35 к. с 1/I 1961 г. 4 р. 74 к.

Металлургиздат. Москва Г-34, 2-й Обыденский пер., 14
Типография Металлургиздата, Москва, Цветной б., 30

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 11

Раздел первый

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

Глава I. **Физико-химические и механические свойства элементов** 13

Глава II. **Медь и медные сплавы** 28
§ 1. Медь техническая 28
1. Общая характеристика ... 28
2. Влияние примесей на свойства меди 28
3. Хрупкость меди при повышенных температурах 30
4. Анизотропия 30
5. Коррозионные свойства меди 31
§ 2. Оловянные бронзы 35
1. Влияние компонентов и примесей на оловянные бронзы 36
2. Коррозионные свойства оловянных бронз 37
§ 3. Специальные бронзы 43
1. Алюминиевые бронзы 43
2. Бериллиевые бронзы 48
3. Кремнистые бронзы 50
4. Марганцевая и хромовая бронзы 52
§ 4. Медноцинковые сплавы (латуни) 63
1. Двойные медноцинковые сплавы 63
2. Специальные латуни 74

Глава III. **Никель, никелевые и медноникелевые сплавы** 95
§ 1. Никель 95
1. Коррозионные свойства никеля 99
§ 2. Конструкционные сплавы .. 100
1. Влияние компонентов и примесей 100
2. Светлый отжиг никелевых и медноникелевых сплавов .. 112
§ 3. Термоэлектродные сплавы и сплавы сопротивления 112
1. Влияние добавок и примесей 112

Глава IV. **Легкие сплавы** 122
§ 1. Алюминий и его важнейшие сплавы 122
1. Влияние примесей 122
2. Коррозионные свойства алюминия 123
3. Алюминий технический 124
4. Алюминиевые сплавы, обрабатываемые давлением 127
§ 2. Магний и его важнейшие сплавы 138
1. Влияние примесей 138
2. Коррозионные свойства магния и его сплавов 138

Глава V. **Олово, свинец, цинк и их сплавы** 143
§ 1. Олово техническое 143
1. Коррозионные свойства олова 143
§ 2. Свинец и его сплавы 145
1. Влияние примесей 145
2. Коррозионные свойства свинца 145
§ 3. Цинк и его сплавы 148
1. Влияние примесей 148
2. Коррозионные свойства цинка 148

Глава VI. **Титан и его сплавы** ... 154
§ 1. Технический титан 154
1. Влияние примесей 154
2. Коррозионные свойства титана 154
§ 2. Сплавы на основе титана .. 157

Литература 158

Раздел второй

ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ МЕТАЛЛОВ

§ 1. Общие основы пластической деформации 159
1. Различные способы образования формы тела 159
2. Основные процессы пластической деформации 159
3. Основные направления учения о пластичности 159
§ 2. Напряжения и деформации. 160
1. Силы внешние и внутренние 160
2. Напряженное состояние тела 160
3. Напряженное состояние точки 161
4. Схема главных напряжений 162
5. Условие постоянства объема 162
6. Главные деформации 163
7. Схемы главных деформаций 163
8. Смещенный объем 163
9. Дифференциальные условия равновесия 164
10. Скорость деформации 165

11. Связь между пластическими деформациями и напряжениями 165
§ 3. Неравномерность распределения напряжений 165
1. Дополнительные напряжения 166
2. Остаточные напряжения .. 166
3. Теория жестких концов . 166
§ 4. Внешнее трение 167
1. Коэффициент трения и его определение 168
§ 5. Физические основы пластической деформации 174
1. Физическая природа пластической деформации 174
2. Упрочнение 176
3. Влияние различных факторов на вид пластической деформации 177
§ 6. Предельное напряженное состояние 178
1. Условия пластичности ... 178
2. Закон подобия 179
§ 7. Сопротивление деформации . 179
1. Показатели сопротивления деформации 179
2. Кривые истинных напряжений 180
3. Влияние температуры на сопротивление деформации .. 181
4. Влияние скорости на сопротивление деформации 181
5. Удельное давление течения 182
§ 8. Термомеханический режим деформации 183
Литература 185

Раздел третий

ТЕОРИЯ ПРОКАТКИ

Глава I. Основы элементарной теории прокатки 189
§ 1. Условия равновесия сил, действующих на поверхности соприкосновения металла с валками, и захват металла 189
§ 2. Нейтральная точка и критический угол 192
1. Влияние натяжения на величину критического угла ... 193
§ 3. Опережение 194
1. Влияние натяжения на величину опережения 195
§ 4. Степень деформации 196
§ 5. Скорость сжатия 197
1. Скорость сжатия при гипотезе плоских сечений 197
2. Скорость сжатия при зоне прилипания, охватывающей всю дугу захвата 199
3. Сравнение скорости сжатия по обеим гипотезам 199
Литература 200
Глава II. Основы современной теории прокатки 201
§ 1. Вывод дифференциального уравнения удельного давления 201
§ 2. Теоретическое распределение удельного давления по дуге захвата при скольжении с сухим трением 204
1. Решение Целиковым уравнения (II. 22) при замене окружностей валков параболической кривой 206
2. Решение Целиковым уравнения (II. 22) при замене окружностей валков хордами.. 208
3. Метод Бленда и Форда 210
§ 3. Экспериментальные исследования распределения удельного давления по дуге захвата 210
1. Опыты Люэга 211
2. Опыты Северденко 214
3. Результаты экспериментальных исследований 214
§ 4. Теоретическое распределение удельного давления по дуге захвата при сплошном прилипании 215
1. Метод Унксова 217
2. Метод Симса 217
3. Метод Королева 218
4. Сравнение эпюр удельных давлений и контактных сил трения, получаемых по всем трем методам 219
§ 5. Нейтральная точка, критический угол и опережение в современной теории прокатки .. 220
1. Скольжение с сухим трением вдоль всей дуги захвата .. 220
2. Прилипание вдоль всей дуги захвата 221
3. Сравнение опережения, рассчитанного при равномерном и неравномерном распределении удельного давления вдоль дуги захвата 222
Глава III. Расчет давления металла при прокатке без натяжения 223
§ 1. Влияние внешнего трения $\left(\frac{p_{ср}}{k}\right)$ на среднее удельное давление при непрерывном скольжении 223
1. Формула Целикова 223
2. Формула осадки 224
3. Метод Тринкса 225
4. Формула Экелунда 226
5. Метод Бленда и Форда 226
6. Формула Губкина 227
7. Теоретическое сравнение влияния внешнего трения, определенного по всем формулам 227
§ 2. Влияние внешнего трения $\left(\frac{p_{ср}}{k}\right)$

на среднее удельное давление при зоне прилипания, охватывающей всю длину дуги захвата 229
1. Формула Унксова 229
2. Формула Симса 230
3. Формула Королева 230
4. Формула Гелейи 232
5. Сравнение величины $\frac{p_{ср}}{k}$, определенной по всем формулам 232
§ 3. Экспериментальные исследования зависимости $p_{ср}$ от $l:h$ и ε 233
§ 4. Влияние внешних зон на среднее удельное давление .. 235
Глава IV. **Расчет давления металла с учетом натяжения и наклепа ленты и сплющивания валков** 238
§ 1. Давление металла на валки с учетом натяжения и наклепа
1. Формула Целикова 238
2. Приближенная формула Целикова и Третьякова 239
3. Формула Ракотяна 239
4. Приближенный метод расчета давления с учетом натяжения и наклепа 240
§ 2. Сравнение результатов расчетов по формулам с математически точным методом графического интегрирования дифференциального уравнения по точкам 241
1. Формула Целикова (IV. 1).. 241
2. Формула Целикова и Третьякова (IV. 4) 242
3. Формула Рокотяна (IV. 6).. 243
4. Приближенный метод расчета 244
§ 3. Расчет давления металла на валки с учетом сплющивания валков 245
§ 4. Предельная толщина ленты, которая может быть прокатана при данных условиях прокатки 248
§ 5. Пример расчета давления с учетом сплющивания валков 249
Глава V. **Уширение при прокатке** 252
§ 1. Общая природа уширения.... 252
1. Влияние на уширение отношения ширины полосы к толщине ее 252
2. Влияние на уширение обжатия ε 253
3. Влияние на уширение диаметра валков 253
4. Влияние на уширение коэффициента трения между валками и полосой 253
5. Влияние на уширение скорости прокатки 253
6. Влияние на уширение температуры прокатки 253
7. Влияние на уширение натяжения полосы 253
§ 2. Формула Целикова для расчета уширения при отсутствии внешних зон 254
§ 3. Другие формулы для расчета уширения 256
1. Формула Экелунда 256
2. Упрощенная формула Экелунда 257
3. Формула Бахтинова 257
4. Формула Седлачека 257
5. Формула Зибеля 258
§ 4. Пример расчета уширения по различным формулам 258
Глава VI. **Величина предела текучести и коэффициента трения при горячей и холодной прокатке** 260
§ 1. Величина предела текучести и предела прочности при горячей прокатке 260
1. Определение предела прочности непосредственно методами экспериментального исследования 260
2. Определение предела текучести косвенным методом путем пересчета измеренных величин удельного давления 262
3. Теоретическая зависимость сопротивления однородной деформации от скорости и степени деформации 266
4. Изменение предела текучести по дуге захвата при горячей прокатке 268
§ 2. Лабораторные исследования влияния температуры на величины предела прочности и предела текучести 268
§ 3. Величина предела текучести при холодной прокатке. Влияние материала и наклепа.... 270
1. Изменение предела текучести по дуге захвата при холодной прокатке 271
§ 4. Величина коэффициента внешнего трения при горячей и холодной прокатке 272
1. Методы определения μ испытаниями на прокатку 272
2. Определение коэффициента трения по величине опережения 272
3. Экспериментальные работы по определению μ 274
4. Определение величины μ сжатием образцов между коническими бойками 276
Глава VII. **Практические методы расчета давления металла на валки и моментов, составляющих нагрузку привода** ... 278
§ 1. Кривые $p_{ср}$ в функции от отношения $l:h$ для горячей прокатки 278

1. Кривые $p_{ср}$ для меди, латуней и цинка 278
2. Кривые $p_{ср}$ при прокатке алюминия и алюминиевых сплавов 280
§ 2. Практический метод расчета охлаждения полос при прокатке 282
§ 3. Кривые $p_{ср}$ при холодной прокатке 283
§ 4. Расчет моментов, составляющих нагрузку привода 289
1. Определение статических моментов прокатки, приведенных к валу двигателя, по давлению металла на валки и построение нагрузочной диаграммы 289
2. Определение момента прокатки — крутящего момента давления металла на валки 289
3. Определение плеча приложения равнодействующей 290
4. Определение моментов двигателя по кривым удельного расхода энергии 293
5. Определение максимальных моментов двигателя у станов с реверсивным режимом работы 294
6. Определение моментов двигателя у станов с маховиком 294
§ 5. Кривые удельного расхода электроэнергии при горячей и холодной прокатке 295
Глава VIII. **Расчет изменения температуры металла по проходам при прокатке листовой заготовки** 301
§ 1. Падение температуры теплопроводности 301
§ 2. Разогрев полосы вследствие деформации металла в валках 304
§ 3. Падение температуры вследствие теплоизлучения и конвекции 305
1. Температура прокатки полосы 307
§ 4. Экспериментальные исследования охлаждения полос при прокатке 307
1. Лабораторные опыты по исследованию охлаждения стальных образцов 307
2. Промышленные исследования охлаждения латунных полос 308
§ 5. Сравнение расчетных данных с экспериментальными 308
Литература 310

Раздел четвертый

ПРОИЗВОДСТВО СЛИТКОВ ИЗ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Глава I. **Условия ведения плавки и подготовки шихтовых материалов** 311
§ 1. Загрузка в печи твердых шихтовых материалов 311
§ 2. Влияние газовой среды рабочего пространства печи на загружаемые твердые металлы и сплавы 311
§ 3. Влияние газовой среды рабочего пространства печи на расплавленный металл 313
1. Медь 313
2. Никель и медноникелевые сплавы 313
3. Сплавы на медной основе .. 313
4. Алюминий и его сплавы 314
5. Магний 314
§ 4. Методы удаления газов из растворов в металлах и сплавах 314
1. Метод введения очистителей 314
§ 5. Подготовка шихты 315
§ 6. Расчет шихты 315
1. Расчет шихты на сплав марки ЛС59-1 316
2. Расчет шихты на сплав бронзы марки Бр АЖМц10-3-1,5 316
3. Расчет шихты на сплав латуни марки ЛЖМц59-1-1 .. 317
4. Расчет шихты при переходе с одного сплава на другой .. 317
§ 7. Лигатуры 320
Глава II. **Плавильные печи** 321
§ 1. Отражательные печи 321
§ 2. Электрические печи 321
1. Дуговые печи 321
2. Индукционные печи с железным сердечником 321
3. Индукционные печи без сердечника 327
§ 3. Технико-экономические показатели 330
§ 4. Подовые камни 332
1. Инструкция по изготовлению графитовых футеровок каналов подовых камней 333
2. Инструкция по изготовлению подовых камней 334
3. Бесслойные спекающиеся подовые камни 334
4. Бикерамические подовые камни 335
5. Стойкость подовых камней 335
6. Полые и литые шаблоны .. 335
§ 5. Железный сердечник печи .. 336
§ 6. Подина и шахта печи 336
Глава III. **Изготовление слитков** .. 337
§ 1. Скорость литья 337
§ 2. Изложницы 338
§ 3. Смазки для изложниц 339
§ 4. Литье слитков непрерывным и полунепрерывным методами 341
1. Производство слитков бронзы Бр. КМц3-1 (эвердур) методом непрерывного литья .. 345
2. Подсчет расхода воды 346
3. Производство слитков из

алюминия и алюминиевых сплавов 346
§ 5. Производство литых заготовок методом вакуумного всасывания 348
1. Получение слитков хорошего качества из бронзы Бр.ОСЦ4-4-4 литьем в изложницу с подвижной стенкой 349
§ 6. Вакуумная плавка 349
1. Вакуумная плавка меди ... 350
2. Изготовление слитков путем заливки в изложницу 351
3. Вакуумная плавка никеля . 351
§ 7. Слитки из титана 351
1. Индукционная плавка 351
2. Дуговая плавка 352
§ 8. Механическая обработка слитков 353
1. Маятниковая шарошка 353
2. Инструкция по отбору проб и контролю химического состава свежих металлов и слитков 353
Литература 358

Раздел пятый

ПРОИЗВОДСТВО ЛИСТОВ, ПОЛОС И ЛЕНТ ИЗ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Глава I. **Производство листов, полос и лент из тяжелых цветных металлов и их сплавов** 359
§ 1. Сортамент листов, полос и лент 359
§ 2. Физико-механические свойства 359
§ 3. Характеристика и размеры заготовок для прокатки 381
§ 4. Схемы производства листов, полос и лент из тяжелых цветных металлов 385
§ 5. Нагрев перед горячей прокаткой 386
§ 6. Горячая прокатка 390
§ 7. Фрезеровка 395
§ 8. Холодная прокатка 395
§ 9. Термообработка 410
§ 10. Травление 414
§ 11. Резка 415
§ 12. Валки и смазка при прокатке 416
Глава II. **Производство листов и лент из алюминиевых сплавов** 424
§ 1. Сортамент и номенклатура изделий 424
§ 2. Характеристика и размеры слитков 427
§ 3. Подготовка слитков прочных алюминиевых сплавов к горячей прокатке 429
1. Фрезерование 430
2. Плакирование 432
3. Гомогенизирующий отжиг и нагрев перед прокаткой 434
§ 4. Технология и оборудование для горячей прокатки 437
1. Условия горячей прокатки .. 443
2. Охлаждение и смазка валков 445
§ 5. Технология и оборудование для холодной прокатки 446
1. Прокатка на реверсивных ленточных станах 447
2. Прокатка на непрерывных станах 451
3. Условия получения хорошей выкатки и поверхности листа 451
4. Состояние поверхности прокатных валков 451
5. Охлаждение и смазка валков 452
6. Натяжение ленты при прокатке 455
7. Листовая прокатка 455
§ 6. Разрезка рулонов на листы .. 455
§ 7. Термическая обработка ... 457
1. Отжиг 459
2. Закалка 466
3. Старение 471
§ 8. Листоотделочные операции . 475
1. Обработка поверхности для улучшения качества и повышения коррозионной стойкости 476
2. Снятие коробления 476
3. Окончательная обрезка, контроль и маркировка листов 479
4. Консервация и упаковка листов 481
Глава III. **Производство фольги из алюминия и его сплавов** 482
§ 1. Сортамент изделий 482
§ 2. Подготовка к прокатке 483
§ 3. Прокатка фольги 483
1. Регулировка толщины фольги 484
2. Намоточно-натяжные устройства 485
3. Валки и их охлаждение .. 486
§ 4. Промывка фольги 490
§ 5. Сдваивание и раздваивание фольги 490
§ 6. Отжиг фольги 491
§ 7. Отделочные и вспомогательные операции обработки фольги 493
1. Лакирование 493
2. Окрашивание 494
3. Печатание анилиновыми красителями 494
4. Гелиогравирование (глубокая печать) 494
5. Каширование (наклейка на бумагу 494
6. Покрытие химически стойким слоем 494
7. Тиснение 494
8. Перфорирование 494
9. Изготовление нитей из фольги 494
10. Резка фольги 495
Литература 495

Раздел шестой

ПРОИЗВОДСТВО ПРОВОЛОКИ

Глава I. **Основы горячей профильной прокатки** 496

§ 1. Особенности профильной прокатки 496
1. Основные определения 496
2. Неравномерность деформации по ширине полосы 498
3. Прокатка клиновидного профиля 500
4. Неравномерность деформации по высоте полосы 500
5. Правило естественных длин 500
6. Уширение при профильной прокатке 501
7. Определение давления металла на валки 502
8. Определение мощности двигателя для одного прохода при отсутствии маховика 504
9. Определение мощности двигателя для одного прохода при наличии маховика 505

§ 2. Калибровка валков 506
1. Формы калибров 506
2. Системы калибровки 506
3. Метод расчета сечений системы калибров при постоянной величине частной вытяжки . . 506
4. Метод расчета сечений системы калибров при непрерывном уменьшении величины частной вытяжки $\mu_{n-1} > \mu_n > \mu_{n+1}$ 507
5. Система прямоугольных калибров 508
6. Система калибров квадрат — овал — квадрат 509
7. Система ромбических калибров 521
8. Система стрельчатых калибров 523
9. Система калибров квадрат — ромб — квадрат 527
10. Система калибров круг — овал — круг 528
11. Системы отделочных калибров 529

Глава II. **Прокатка проволочной и полосовой заготовки** 532

§ 1. Продукты производства 532
§ 2. Слитки и заготовки 535
§ 3. Технологические параметры . . 537
1. Температурные интервалы профильной прокатки 537
2. Средние вытяжки при профильной прокатке 538
3. Определение длины петель и карманов 545
4. Методы построения графика рабочего времени 545
5. Определение мощности двигателя для нескольких проходов при отсутствии маховика 546
6. Определение мощности двигателя для нескольких проходов при наличии маховика 547
7. Схемы калибровки для прокатки катанки, мелкосортного и среднесортного подкатов . . 547

§ 4. Проволочнопрокатные станы . . 551
1. Петлевые станы для прокатки цветных металлов с ручной задачей овалов на отделочной линии 551
2. Полунепрерывные станы для прокатки цветных металлов с механизированной задачей овалов на отделочной линии 560
3. Непрерывные станы 561
4. Комбинированные прокатно-волочильные установки 561

§ 5. Прокатные валки 561
1. Указания к выбору размеров валков 561
2. Материал прокатных валков 562
3. Некоторые указания по режимам обточки валков 562
4. Износ валков и их стойкость. Поломки валков и их причины 563

§ 6. Вспомогательное оборудование профильнопрокатных станов . 563
1. Нагревательные печи 563
2. Температура и режим нагрева перед горячей профильной прокаткой 564
3. Толкатели нагревательных печей 565
4. Рольганги для подачи слитков от печи к станам 565
5. Устройства для механизации обжимных клетей 567
6. Автоматические обводки . . 568
7. Роликовые проводки 569
8. Карманы 570
9. Моталки 570
10. Уборочные устройства 570
11. Другие виды вспомогательного оборудования 570

§ 7. Технико-экономические показатели 574

Глава III. **Основы процесса волочения** 576

§ 1. Процесс однократного волочения 576
1. Основные определения 576
2. Взаимосвязь показателей степени деформации при волочении 577
3. Определение величин μ и δ при помощи счетной линейки 581
4. Формулы для определения усилия волочения круглых сплошных профилей 581

5. Влияние разных факторов на σ_z и $K_з$ по экспериментальным данным 589
6. Методика экспериментального определения усилия волочения и коэффициентов запаса 594
7. Эмпирическая формула для определения напряжения волочения 595
§ 2. Процесс непрерывного многократного волочения 595
1. Основные определения 595
2. Натяжение сходящего конца проволоки при непрерывном волочении 595
3. Закон постоянства протекающего объема металла 596
4. Расчет маршрутов волочения 596
5. Машины со скольжением непрерывного типа 602
6. Машины без скольжения непрерывного типа 610
7. Машины без скольжения магазинного типа 612
8. Машины без скольжения комбинированного типа 614

Глава IV. **Волочение проволоки**. . . . 615

§ 1. Продукты производства 615
§ 2. Часовая производительность волочильных машин 626
§ 3. Технологические параметры процесса волочения и примерные маршруты 626
§ 4. Оборудование для волочения
1. Однократные машины 626
2. Многократные волочильные машины со скольжением. . . 642
3. Многократные волочильные машины без скольжения магазинного типа 649
§ 5. Изготовление фасонной проволоки 655
§ 6. Основные узлы волочильных машин 657
1. Волокодержатели 658
2. Тяговые шайбы 658
3. Тяговые барабаны 660
4. Приемные конические барабаны 661
5. Катушечные устройства 663
6. Устройства для приема проволоки в контейнеры 664
§ 7. Приводы 664
§ 8. Волочильный инструмент 668
1. Рекомендуемые способы изготовления волок из алмазов 671
2. Рекомендуемый технологический процесс изготовления мазного микропорошка 674
3. Метод определения расхода волок 676
§ 9. Удаление окалины с поверхности проволоки 679
§ 10. Смазочные составы 683
1. Смазочные составы для однократных машин и машин без скольжения 683
2. Смазочные составы для машин со скольжением 684
3. Восстановление смазочных составов. 685
§ 11. Вспомогательные процессы. 685
§ 12. Виды брака при производстве проволоки 687
§ 13. Печи для термической обработки 690
§ 14. Вспомогательные таблицы для расчета сечений и веса 1 *км* проволоки 695
Литература 712

Раздел седьмой

ПРОИЗВОДСТВО ПРУТКОВ И ТРУБ

§ 1. Продукты производства 713
1. Прутки 714
2. Трубы 720
§ 2. Исходные материалы. 740
1. Указания по выбору размера слитков 740
2. Размеры слитков и технические условия на них 741
§ 3. Основные справочные материалы по теории производственного процесса 743
1. Основные схемы производственного процесса изготовления труб и прутков 743
2. Величины, характеризующие процессы прессования, волочения и прокатки 744
3. Способы прессования 744
4. Усилие прессования 746
5. Способы волочения 752
6. Усилие волочения 754
7. Способ холодной прокатки труб 758
8. Усилие при холодной прокатке труб 759
9. Расчет профиля калибров и оправок 761
§ 4. Технологические параметры.. 767
1. Нагрев слитков перед прессованием 767
2. Скорость прессования 771
3. Смазка при прессовании . 772
4. Режим работы станов холодной прокатки труб (ХПТ).. 772
5. Травление изделий 774
6 Изготовление захваток 775
7. Схемы волочения труб и прутков 775
8 Выбор волочильных станов.. 776
9. Смазка при волочении и прокатке 782
и прутков 783
10 Термическая обработка труб
11 Правка готовых изделий .. 788
12. Резка труб и прутков 788
13. Испытание труб на внутреннее давление 789

14. Шабровка и зенковка 789
15. Испытание труб на сплющивание 789
16. Отходы и брак при прессовании и волочении 789
17. Технологические карты .. 791
§ 5. Основное оборудование 797
1. Гидравлические прессы 797
2. Волочильное оборудование.. 803
3. Трубопрокатные станы . .. 810
§ 6. Инструмент 819
1. Прессовый инструмент 819
2. Волочильный инструмент. ... 830
3. Инструмент станов холодной прокатки труб 834
4. Материал инструмента 838
5. Термическая обработка инструмента 845
6. Хромирование волочильного инструмента 850
§ 7. Вспомогательное оборудование 852
1. Станки для обработки шашек 852
2. Печи для нагрева слитков и шашек 852
3. Печи и аппараты для отжига и нормализации труб и прутков 854
4. Травильные и промывные ванны 854
5. Механизм для изготовления захваток 855
6. Пилы для резки труб и прутков 856
7. Машина профилировочная роликовая 857
8. Прессы для гидравлического испытания труб 857
9. Механизмы для правки труб и прутков 857
10. Механизм для зачистки поверхностных дефектов 862
11. Пресс для брикетирования стружки 862
12. Станок для расшлифовки волок 862
§ 8. Технико-экономические показатели и нормативы прессово-волочильного цеха 862
1. Выход годного (ориентировочные) 862
2. Расход топлива и электроэнергии 864
3. Расход пара 865
4. Расход воды 865
5. Расход сжатого воздуха .. 865
6. Расход вспомогательных материалов 865
7. Загрузка оборудования 865
8. Производительность оборудования 865
9. Продолжительность цикла прессования 871
10. Стоимость прессового инструмента 872
11. Площадь склада готовой продукции 872
Литература. 872

ПРЕДИСЛОВИЕ

Справочник по обработке цветных металлов и сплавов издается у нас впервые. Потребность в таком труде ощущалась на протяжении многих лет.

Промышленность обработки цветных металлов и сплавов за годы Советской власти превратилась в мощную и весьма многогранную отрасль тяжелой индустрии. Многочисленный коллектив инженерно-технических работников предприятий обработки цветных металлов, конструкторов, сотрудников научно-исследовательских и проектных институтов, студентов и преподавателей металлургических институтов и техникумов не мог удовлетвориться использованием лишь кратких справочников, которые время от времени издавались и тираж которых быстро раскупался читателями.

Краткие справочники по обработке цветных металлов, являясь весьма ценными изданиями, не могли охватить большого объема справочных материалов по металловедению, теории и практике обработки цветных металлов и сплавов и технологическому оборудованию.

Справочник по обработке цветных металлов и сплавов содержит семь разделов

В разделе I «Металловедение» (автор канд. техн. наук А. П. Смирягин) даются физико-химические и механические свойства элементов и приводятся составы, физические и механические свойства тяжелых и легких цветных металлов и их сплавов.

Раздел II «Пластическая деформация металлов» (автор канд. техн. наук В. А. Головин) содержит краткое описание основ теории пластической деформации металлов.

В разделе III «Теория прокатки» (автор канд. техн. наук Н. Н. Крейндлин) рассматриваются основы элементарной и современной теории прокатки, расчеты давления металла, уширение, даются величины пределов текучести и прочности и коэффициента трения при прокатке. В главе VII этого раздела приводятся практические методы расчета давления металла на валки и моментов, составляющих нагрузку привода, и другие данные.

В разделе IV «Производство слитков из цветных металлов и сплавов» (автор инж. Б. Л. Урин) приводятся условия ведения плавки и подготовки шихты, расчеты шихты, описываются конструкции плавильных печей и сообщаются данные о производстве и стойкости подовых камней. В главе III описываются технологические процессы литья слитков непрерывным и полунепрерывным методами, производство литых заготовок методом вакуумного всасывания и др.

Раздел V «Производство листов, полос и лент из цветных металлов и сплавов» подразделяется на три главы: «Производство листов, полос и лент из тяжелых цветных металлов и сплавов» (автор канд. техн. наук В. А. Головин, § 12 главы I составлен при участии инж. М. Р. Есикова), «Производство листов и лент из алюминиевых сплавов» (авторы канд. техн. наук Н. Н. Крейндлин и инж. Г. Н. Кручер) и «Производство фольги из алюминия и его сплавов» (автор инж. Г. Н. Кручер).

В этом разделе, наряду с сортаментом листов, полос, лент и фольги, характеристикой и размерами слитков и заготовок для прокатки, описываются современные технологические процессы и высокопроизводительное оборудование, применяемое для горячей и холодной прокатки.

В разделе приводятся справочные данные о производительности новейшего прокатного оборудования, печей для нагрева и термической обработки и описываются условия получения хорошей выкатки и высококачественной поверхности плоского проката.

В разделе VI «Производство проволоки» (автор инж. Н. З. Днестровский) сообщаются данные об особенностях профильной прокатки и калибровки валков, о прокатке

проволочной и полосовой заготовки и применяемом оборудовании, даются основы процессов волочения, расчеты маршрутов волочения и характеристики современных машин для однократного и непрерывного многократного волочения.

В этом разделе приводятся технико-экономические показатели прокатки, технологические параметры процессов волочения и маршруты волочения, а также необходимые данные о прокатных валках и волочильном инструменте.

В разделе VII «Производство труб и прутков» (авторы инж. А. Д. Ландихов и инж. В. Н. Гольдреер) даются сортамент прутков и труб, основные справочные материалы по теории процесса прессования, волочения и прокатки прутков и труб, технологические параметры и данные об основном и вспомогательном оборудовании и применяемом инструменте. Сведения этого раздела содержат также технико-экономические показатели и нормативы прессово-волочильного цеха.

Особое внимание в справочнике уделено освещению достижений отечественной науки и техники в области обработки цветных металлов и использованы ценные данные, заимствованные из зарубежной технической литературы.

При составлении справочника критической обработке подвергалось большое количество литературных материалов отечественной и зарубежной теории и практики обработки цветных металлов и сведений, полученных непосредственно с предприятий СССР.

Созданный справочник, рассчитанный на инженерно-технических работников предприятий обработки цветных металлов, научных работников, конструкторов, работников проектных институтов, студентов и преподавателей металлургических институтов и техникумов, а также на широкий круг работников смежных производств, должен помочь получить ответы на многие вопросы, которые возникнут при их производственной, научной, проектной и учебно-педагогической деятельности.

Издание большого справочника потребовало напряженной и длительной работы коллектива авторов и Государственного научно-технического издательства литературы по черной и цветной металлургии, однако затраченный труд будет оправдан, если изданная книга будет признана ценной и поможет работникам промышленности обработки цветных металлов в их повседневной практической деятельности по претворению в жизнь задач, поставленных перед обработчиками историческими решениями XXI съезда нашей партии.

В числе авторов, написавших справочник, известные специалисты в области металловедения, теории и практики обработки цветных металлов, имеющие многолетний опыт работы в промышленности, научно-исследовательских и проектных институтах по обработке цветных металлов.

Авторы выражают глубокую благодарность И. Л. Перлину, Я. Ф. Шабашову, М. Ф. Баженову за ценную консультацию и оказанную ими помощь в создании справочника по обработке цветных металлов

Настоящий справочник безусловно не лишен недостатков и все замечания читателей и их пожелания будут с признательностью учтены авторами в последующих изданиях.

РЕДАКТОР

Раздел первый

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

ГЛАВА I

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕМЕНТОВ

В табл. 1—6 даны физико-химические свойства и кристаллическая структура важнейших элементов [1, 6—12].

Таблица 1

Физико-химические свойства важнейших элементов [6—9, 12]

Название элементов	Символ	Атомный номер	Атомный вес	Атомный об. см³/г	Плотность	Скрытая теплота, кал/г		Температура °С	
						плавления	испарения	плавления	кипения
Азот	N	7	14,008	—	$1{,}2505\cdot10^{-3}$ (г)	6,09	47,8	—210	—196
Алюминий	Al	13	26,98	9,99	2,7	93	2227	660,1	2480
Аргон	Ar	18	39,944	—	$1{,}784\cdot10^{-3}$ (г)	6,71	37,6	—189,4	—185,8
Барий	Ba	56	137,36	39,25	3,75	—	628,3	710	(1700)
Бериллий	Be	4	9,013	4,87	1,85	345,5	4520	1284	1970
Бор	B	5	10,82	4,70	3,3 (крист.)	—	—	2150	2550
Ванадий	V	23	50,95	9,1	6,10	—	—	1900	3350
Висмут	Bi	83	209	21,33	9,8	14,10	188	271	1540
Водород	H	1	1,0080	—	$0{,}0835\cdot10^{-3}$ (г)	14	108	—259,2	—252,5
Вольфрам	W	74	183,92	9,53	19,3	44	1179	3380	(6000)
Гелий	He	2	4,003	—	$0{,}1785\cdot10^{-3}$ (г)	—	6	—271,2	—268,9
Железо	Fe	26	55,85	7,10	7,87	65	1595	1534	3070
Золото	Au	79	197,2	10,22	19,30	16,11	445,7	1063	(2950)
Индий	In	49	114,76	15,70	7,31	6,8	483	156,4	(1730)
Иридий	Ir	77	193,1	8,6	22,5	—	—	2450	(5300)
Кадмий	Cd	48	112,41	12,99	8,64	13,17	216	320,8	765
Калий	K	19	39,100	45,5	0,86	14,5	592	63,6	775
Кальций	Ca	20	40,08	25,86	1,54	—	868	850	1482
Кислород	O	8	16,00	—	$1{,}426\cdot10^{-3}$ (г) 1,426 (ж)	3,32	51,0	—219	—183
Кобальт	Co	27	58,94	6,6	8,92	58,38	1240	1495	3550
Кремний	Si	14	28,09	11,7	2,32	337	1262	1412	2610
Литий	Li	3	6,94	13,10	0,534	32,81	2540	180	1370
Магний	Mg	12	24,32	14	1,74	70	1315	651	1108
Марганец	Mn	25	54,93	7,4	7,44	64,8	910	1243	2100
Медь	Cu	29	63,54	7,11	8,9	50,6	858	1083	2600
Молибден	Mo	42	95,95	9,4	10,2	50	1600	2625	(4800)
Мышьяк	As	33	74,91	13,07	5,73	—	56	817 (36 *am*)	616
Натрий	Na	11	22,997	23,7	0,97	27,53	1015	97,8	883
Неон	Ne	10	20,183	—	$0{,}9\cdot10^{-3}$ (г)	2,6	20,6	—249	—246
Никель	Ni	28	58,69	6,64	8,9	73,8	1040	1453	(3000)
Ниобий	Nb	41	92,91	10,8	8,57	—	171,2	2468	(3300)
Олово	Sn	50	118,7	16,23	7,3	14,4	721	231,9	(2200)
Осмий	Os	76	190,2	8,45	22,5	35	—	(2700)	(5500)

Продолжение табл 1

Название элементов	Символ	Атомный номер	Атомный вес	Атомный объем, $см^3/г$	Плотность	Скрытая теплота *кал/г*		Температура °С	
						плавления	испарения	плавления	кипения
Палладий	Pd	46	106,7	8,9	12,02	34,2	—	1552	(3900)
Платина	Pt	78	195,23	9,1	21,45	27,10	635	1769	(4500)
Радий	Ra	88	226,05	45,2	5	—	—	960	1140
Родий	Rh	45	102,91	8,23	12,44	—	—	1966	(4500)
Ртуть	Hg	80	200,61	14,8	13,55	2,66	70,8	—38,89	357
Рубидий	Rb	37	85,48	55,87	1,53	6,10	210,7	38,8	680
Рутений	Ru	44	101,7	8,33	12,2	—	—	2500	~4900
Свинец	Pb	82	207,21	18,3	11,34	6,26	201	327,4	1740
Селен	Se	34	78,96	16,4	4,82	16,4	211,5	217	685
Сера	S	16	32,06	15,46	2,07 (ромб.)	9,3	362	119	444,5
Серебро	Ag	47	107,88	10,27	10,49	24,3	397	960,5	2210
Стронций	Sr	38	87,63	33,7	2,6	25	401	770	1360
Сурьма	Sb	51	121,76	18,39	6,68	40,30	359	630,5	1640
Таллий	Tl	81	204,39	17,24	11,85	7,18	190	303	1460
Тантал	Ta	73	180,88	10,9	16,6	—	123	3000	(5300)
Теллур	Te	52	127,61	20,45	6,24	7,3	300	450	(1390)
Титан	Ti	22	47,9	10,6	4,51	—	1425	1668	(3500)
Торий	Th	90	232,12	20,2	11,7	—	—	(1750)	(4000)
Углерод	C	6	12,01	5,41	2,25 (графит)	—	3837	(5000)	(5000)
Уран	U	92	238,07	12,73	19,05	—	—	1133	3820
Фосфор	P	15	30,975	17	1,82 (желтый)	5,04	287	44,1	280
Хром	Cr	24	52,01	7,29	7,14	31,75	1095	1875	2430
Цезий	Cs	55	132,91	69,25	1,87	3,76	128	29,7	700
Церий	Ce	58	140,13	20,3	6,77	—	—	804	3600
Цинк	Zn	30	65,38	9,16	7,14	28,09	425	419,5	907
Цирконий	Zr	40	91,22	14,3	6,49	—	—	1852	(3600)

Примечание. (г) — газообразный, (ж) — жидкий.

Таблица 2

Физико-химические свойства важнейших элементов [6—9, 12]

Название элементов	Символ	Удельная теплоемкость, *кал/г·град*			Плотность в жидком состоянии		Коэффициент линейного расширения твердого $\alpha \cdot 10^6$	Термическое расширение в жидком состоянии	
		при 20° С	жидкий	парообразный	плотность *г/см³*	температура °С		расширение $\alpha \cdot 10^6$	температура °С
Азот	N	0,2470	—	—	0,808	—195,8	—	6000	—195
Алюминий	Al	0,215	0,308	0,1852	2,38	658	24	113	658—1000
Аргон	Ar	0,1252	—	—	1,402	—185,4	—	4500	—183
Бериллий	Be	0,52	—	—	—	—	12,3	—	—
Бром	Br	0,0703	—	—	3,119	20	—	1100	0—30
Висмут	Bi	0,034	0,0363	—	10,1	271	13,45	122	271—630
Водород	H	3,45	—	—	0,0709	—252,7	—	13000	—255
Вольфрам	W	0,032	—	—	—	—	4	—	—
Железо	Fe	0,11	0,22	—	6,9	1530	11,9	—	—
Золото	Au	0,0308	0,04	—	17	1063	14,4	—	—
Йод	J	0,0523	—	—	4	107	93	800	107—150
Кадмий	Cd	0,0547	0,062	0,0446	8	321	29,8	150	321—540
Калий	K	0,1770	0,23	0,128	0,83	62	83	290	62—150
Кальций	Ca	0,149	—	—	—	—	25	—	—
Кислород	O	0,218	—	—	1,14	—183	—	4100	—195
Кобальт	Co	0,099	0,204	—	—	—	12,08	—	—
Кремний	Si	0,162	—	0,107	—	—	6,95	—	—
Литий	Li	0,790	0,975	0,714	—	—	56	180	186—230

Продолжение табл. 2

Название элементов	Символ	Удельная теплоемкость, *кал/г·град* при 20° С	Удельная теплоемкость, *кал/г·град* жидкий	Удельная теплоемкость, *кал/г·град* парообразный	Плотность в жидком состоянии: плотность *г/см³*	Плотность в жидком состоянии: температура °С	Коэффициент линейного расширения твердого $\alpha \cdot 10^6$	Термическое расширение в жидком состоянии: расширение $\alpha \cdot 10^6$	Термическое расширение в жидком состоянии: температура °С
Магний	Mg	0,249	0,30	0,208	1,57	650	25,7	380	650—800
Марганец	Mn	0,115	0,20	—	—	—	23	—	—
Медь	Cu	0,0918	0,13	—	8,3	1083	16,42	190	1083—1300
Молибден	Mo	0,061	—	—	—	—	5,49	—	—
Мышьяк	As	0,082	—	—	—	—	3,86	—	—
Натрий	Na	0,295	0,33	0,217	0,93	97,5	71	280	100—200
Никель	Ni	0,105	0,16	—	—	—	13,7	—	—
Олово	Sn	0,0540	0,064	0,042	6,98	232	22,4	100	232—1600
Палладий	Pd	0,058	0,09	—	11	1556	11,6	—	—
Платина	Pt	0,0319	0,04	—	19	1775	8,8	—	—
Ртуть	Hg	0,033	0,0333	—	13,546	20	—	182	20
Свинец	Pb	0,031	0,041	—	10,3	327	29,5	120	327—825
Сера (ромб.)	S	0,175	0,199	—	1,8	115	67,48	430	115
Серебро	Ag	0,0558	0,076	0,046	9,4	960	18,9	110	960—1200
Сурьма	Sb	0,049	0,060	0,042	6,55	630	11,29	100	630—1050
Таллий	Tl	0,031	—	—	11	300	28	140	300—350
Теллур	Te	0,017	—	—	—	—	16,8	—	—
Титан	Ti	0,126	—	—	—	—	7,14	—	—
Углерод (графит)	C	0,165	—	0,25	—	—	6,6	—	—
Фосфор	P	0,177	0,204	0,064	1,745	44,5	125	520	50—60
Фтор	F	0,18	—	—	1,11	—187	—	3000	—200
Хлор	Cl	0,116	—	—	1,557	—33,6	11,44	1500	—34
Хром	Cr	0,11	—	—	—	—	8,1	—	—
Цезий	Cs	0,052	—	—	—	—	97	—	—
Цинк	Zn	0,0915	0,138	0,076	6,7	463	32,5	150	419—543
Цирконий	Zr	0,066	—	—	—	—	6,2	—	—

Таблица 3

Физико-химические свойства элементов [6—9, 11, 12]

Наименование металлов	Символ	Удельное электросопротивление *ом·мм²/м*	Температурный коэффициент электросопротивления $\alpha \cdot 10^3$	Электросопротивление в жидком состоянии: электросопротивление *ом·см³* $\cdot 10^6$	Электросопротивление в жидком состоянии: температура °С	Теплопроводность при 20°С *кал/см сек·°С*	Температурный коэффициент теплопроводности $\alpha \cdot 10^4$
Алюминий	Al	0,0265	4,26	20,1	658	0,52	5,35
Бериллий	Be	0,059 (0°С)	6,67	—	—	0,3847	—
Висмут	Bi	1,068 (0°С)	4,46	127	271	0,024	7,35
Ванадий	V	0,26	3,58	—	—	—	—
Вольфрам	W	0,055	4,64	—	—	0,476	—
Железо	Fe	0,097	6,57	—	—	0,174	—2,28
Золото	Au	0,0225	3,98	30,8	1063	0,745	—
Индий	In	0,0845	4,74	29,0	155	0,057	—
Иридий	Ir	0,055	3,93	—	—	0,141	—
Кадмий	Cd	0,073	4,24	34	400	0,234	—7,05
Калий	K	0,0781	5,81	13	62	0,237	0,054
Кальций	Ca	0,034 (0°С)	—	—	—	0,3	—

Продолжение табл. 3

Название металлов	Символ	Удельное электросопротивление, *ом·мм²/м*	Температурный коэффициент электросопротивления $\alpha \cdot 10^3$	Электросопротивление в жидком состоянии		Теплопроводность при 20°С, *кал/см·сек·°С*	Температурный коэффициент теплопроводности $\alpha \cdot 10^4$
				электросопротивление *ом·см³·10⁶*	температура, °С		
Кобальт	Co	0,062	3,66	—	—	0,165	—
Кремний	Si	$1 \cdot 10^5$ (0°С)	От —1,2 до +0,06	—	—	0,20	—
Литий	Li	0,093	4,5	45	230	0,17	—
Магний	Mg	0,047	3,9	—	—	0,38	—
Марганец	Mn	1,85 (α)	—	—	—	0,012	—
Медь	Cu	0,0168	4,33	20,3	1083	0,94	0,51
Молибден	Mo	0,0517 (0°С)	4,35	—	—	0,35	—
Мышьяк	As	0,35 (0°С)	3,89	—	—	0,088	—
Натрий	Na	0,0465	4,34	9,70	100	0,32	—
Никель	Ni	0,0724	5,21	109	1500	0,22	—3,1
Ниобий	Nb	0,131	3,95	—	—	—	—
Олово	Sn	0,115	4,47	49	300	0,156	0,687
Осмий	Os	0,095	4,2	—	—	—	—
Палладий	Pd	0,108	3,77	—	—	0,17	—
Платина	Pt	0,109	3,92	—	—	0,1664	0,51
Рений	Re	0,21	3,11	—	—	—	—
Родий	Rh	0,045	4,43	—	—	0,213	—
Ртуть	Hg	0,975	0,92	95,8	20	0,02	—12,7
Рубидий	Rb	0,125	6,57	—	—	—	—
Рутений	Ru	0,075 (0°С)	—	—	—	—	—
Свинец	Pb	0,2065	4,22	98	400	0,084	—
Серебро	Ag	0,0159	4,1	17	1000	0,974	—1,7
Стронций	Sr	0,247 (0°С)	3,83	—	—	—	—
Сурьма	Sb	0,39 (0°С)	4,73	127	860	0,044	—10,41
Тантал	Ta	0,124	3,47	—	—	0,130	—
Титан	Ti	0,47	4,25	—	—	0,036	—
Хром	Cr	0,15 (0°С)	2,5	—	—	0,165	—
Цезий	Cs	0,188 (0°С)	5,03	36,6	30	—	—
Церий	Ce	0,78 (0°С)	—	—	—	—	—
Цинк	Zn	0,059	4,17	43	440	0,268	—
Цирконий	Zr	0,41	4,4	—	—	0,04	—

Примечание. Переводные коэффициенты: электросопротивление ρ *ом мм²/м* $= 10^{-4}$ *ом·см* $= 10^2$ *мк·ом/см³* электропроводность λ *м/ом·мм²* $= \frac{1}{\rho}$.

Таблица 4

Влияние температуры на удельное электросопротивление металлов [11], *мк ом·см*

Название металлов	Символ	Температура, °С													
		—258	—192	—78	0	20	100	200	300	400	500	800	1000	1300	1600
Алюминий	Al	0,1140	0,5749	1,8087	2,670	2,65	3,7636	4,8599	5,9920	7,1906	—	29,28 (ж)	32,22 (ж)	—	—
Висмут	Bi	24,56	39,175	78,62	110,0	114,05	159,03	227,87	—	130,0 (ж)	—	159,5 (ж)	—	—	—
Вольфрам	W	—	0,860	3,588	5,50	5,5	5,8	10,77	13,64	16,64	19	26,79	33,00	43,01	53,01
Железо	Fe	0,1024	0,9092	5,258	9,065	9,7	15,023	22,414	31,652	42,185	54,762	—	—	—	—
Золото	Au	0,014	0,4904	1,4362	2,065	2,25	2,8873	3,735	4,615	5,534	6,492	—	—	—	—
Иридий	Ir	—	1,375	4,232	6,1	5,5	8,50	10,946	13,399	16,048	18,727	—	—	—	—
Кадмий	Cd	0,166	1,9659	5,3755	7,758	7,3	11,044	—	14,630	—	—	34,12 (ж)	35,78 (ж)	—	—
Калий	K	—	1,856	4,795	7,168	8,80	15,49 (ж)	21,80 (ж)	28,20 (ж)	—	—	—	—	—	—
Кобальт	Co	—	—	1,16	—	6,20	14,26	21,31	30,33	39,25	48,20	—	—	—	—
Литий	Li	0,062	1,149	—	8,55	9,293	12,269	32,09 (ж)	—	—	—	—	—	—	—
Магний	Mg	—	1,233	3,053	4,312	4,7	5,915	7,576	9,536	11,893	—	—	—	—	—
Медь	Cu	0,00908	0,2333	1,0253	1,533	1,672	2,223	2,897	3,5835	4,286	5,008	—	—	22,05 (ж)	—
Молибден	Mo	—	1,041	3,016	4,40	5,67	6,204	8,070	9,99	11,95	13,94	21,93	27,37	36,32	46,2
Натрий	Na	—	0,932	3,23	5,0	—	9,65 (ж)	13,18 ж)	16,17	—	—	—	—	—	—
Никель	Ni	—	3,583	8,043	12,005	—	18,26	26,143	36,523	49,007	54,335	—	—	—	—
Олово	Sn	—	—	—	—	12,0	16,37	—	49,45 (ж)	51,60 (ж)	53,85 (ж)	60,45 (ж)	64,98 (ж)	71,7 (ж)	78,51 (ж)
Палладий	Pd	0,09503	2,0131	7,048	10,219	10,8	14,027	17,598	20,95	24,09	27,0	—	—	—	—
Платина	Pt	0,0618	2,0902	6,7297	9,81	10,90	13,656	17,387	21,005	24,509	27,90	—	—	—	—
Родий	Rh	—	0,761	3,101	—	4,5	6,78	8,945	11,19	13,57	16,05	—	—	—	—
Ртуть	Hg	5,40 (т)	7,38 (т)	18,78 (т)	95,8	97,542	105,27	116,37	130,04	—	—	—	—	—	—
Свинец	Pb	0,5874	5,073	13,311	19,26	20,65	—	27,39	—	—	—	98,00 (ж)	107,2 (ж)	121,1 (ж)	134,1 (ж)
Серебро	Ag	0,00793	0,3040	1,0043	1,468	1,59	2,0696	2,6854	3,321	3,979	4,651	—	19,22 (ж)	22,79 (ж)	—
Сурьма	Sb	—	8,812	24,95	38,99	43,045	59,80	81,0	102,5	125,0	144,0	130,76 (ж)	134,98 (ж)	—	—
Тантал	Ta	—	4,314	10,66	—	12,4	19,68	24,245	28,6	33,0	37,1	—	45,0	66,6	78,5
Таллий	Tl	—	—	11,829	18,0	19,5	—	24,76	—	—	—	—	—	—	—
Титан	Ti	—	16,6	36,5	—	47,0	70,0	88,0	105	—	136	165	—	—	—
Цинк	Zn	0,05981	1,2652	3,9463	5,751	5,9	8,135	10,672	13,461	—	35,45 (ж)	35,70 (ж)	—	—	—

Таблица 5

Физико-химические свойства чистых металлов
[6—9]

Название металлов	Символ	Поверхностное натяжение в точке плавления, *дин/см*	Вязкость, пуаз, при температуре		Удельная магнитная восприимчивость $\chi \cdot 10^6$	Нормальный потенциал, *в*, по отношению к электродам			Термоэлектродвижущая сила, *мв*
			плавления	1100°С		валентность ионов	водородному	каломелевому	
Алюминий	Al	520	—	—	+0,63	Al^{III}	−1,7	—	+0,39
Висмут	Bi	346	0,018	0,0065	−1,35	Bi^{III}	+0,2	−0,1	−7,05
Железо	Fe	581	—	—	—	Fe^{II}	−0,43	−0,71	+0,79
Золото	Au	612	—	—	−0,139	Au^{I}	+1,5	+1,2	—
Кадмий	Cd	630	0,014	—	−0,18	Cd^{II}	−0,4	−0,63	+0,89
Калий	K	411,5	—	—	+0,52	K^{I}	−2,92	−3,2	−0,94
Кальций	Ca	305	—	—	+1,1	Ca^{II}	−2,5	−2,8	—
Кобальт	Co	1175	—	—	—	Co^{II}	−0,29	−0,57	−1,7
Магний	Mg	563	—	—	+0,55	Mg^{II}	−1,55	−1,83	+0,41
Марганец	Mn	1069	—	—	+8,0	Mn^{II}	−1,0	−1,3	—
Медь	Cu	1178	0,038	0,086	−0,086	Cu^{II}	+0,34	+0,06	+0,74
Медь	Cu	—	—	—	—	Cu^{I}	+0,51	+0,24	—
Натрий	Na	293,6	—	—	+0,51	Na^{I}	−2,71	−2,99	−0,21
Никель	Ni	1350	—	—	—	Ni^{II}	−0,22	−0,5	−1,54
Олово	Sn	662	0,020	0,0075	−0,25	Sn^{II}	−0,1	−0,38	+0,42
Ртуть	Hg	447	0,020	—	−0,19	Hg^{II}	+0,86	+0,58	—
Свинец	Pb	434	0,030	0,0105	−0,12	Pb^{II}	−0,12	−0,4	+0,43
Серебро	Ag	858	—	—	−0,20	Ag^{I}	+0,8	+0,52	+0,74
Сурьма	Sb	274	0,015	0,0082	−0,87	Sb^{III}	+0,1	−0,2	+4,7
Хром	Cr	1074	—	—	+3,49	Cr^{II}	−0,6	−0,9	—
Хром	Cr	—	—	—	—	Cr^{III}	−0,5	−0,8	—
Цинк	Zn	755	—	—	−0,157	Zn^{II}	−0,76	−1,04	+0,76

Таблица 6

Кристаллическая структура важнейших элементов

[1, 8, 10 12]

Название элементов	Символ	Тип структуры	Число атомов в элементарной ячейке	Координационное число	Постоянные решетки Å			Межатомное расстояние (ближайшее) Å	Атомный радиус Å
					a	*b*	*c*		
Алюминий	Al	Кубическая гранецентрированная	4	12	4,0490	—	—	2,862	1,43
Барий	Ba	Кубическая объемноцентрированная	2	8	5,025	—	—	4,35	2,24
Бериллий	Be	Гексагональная плотная	2	6,6	2,2854	—	3,5841	2,225	1,13
Бор	B	Тетрагональная игольчатая форма	—	—	8,75	—	5,04	1,75	(0,97)
		Орторомбическая пластинчатая форма	—	—	17,90	8,95	10,15		
Ванадий	V	Кубическая объемноцентрированная	2	8	3,039	—	—	2,632	1,36
Висмут	Bi	Ромбоэдрическая (α=57 14′)	2	3,3	4,7356	—	—	3,111	1,82
Вольфрам	W	Кубическая объемноцентрированная	2	—	3,1648	—	—	2,739	1,41
Железо α (<910°)	Fe	Кубическая объемноцентрированная	2	—	2,8664	—	—	2,481	1,27
Железо γ (910—1390)	Fe	Кубическая гранецентрированная	4	—	3,656	—	—	2,585	—
Железо δ (>1390)	Fe	Кубическая объемноцентрированная	—	—	2,94 (при 1425)	—	—	—	—
Золото	Au	Кубическая гранецентрированная	4	12	4,0783	—	—	2,884	1,44
Индий	In	Тетрагональная гранецентрированная	4	4,8	4,594	—	4,951	3,25	1,57
Иридий	Ir	Кубическая гранецентрированная	4	—	3,8389	—	—	2,714	1,36
Кадмий	Cd	Гексагональная плотная	—	6,6	2,9787	—	5,617	2,979	1,52
Калий	K	Кубическая объемноцентрированная	2	—	5,344	—	—	4,627	2,38
Кальций (<464°)	Ca	Кубическая гранецентрированная	4	12	5,582	—	—	3,94	1,97
Кальций (>464°)	Ca	Кубическая объемноцентрированная	2	—	4,48 (500°)	—	—	—	—
Кобальт ε (<400°)	Co	Гексагональная плотная	2	—	2,507	—	4,069	2,506	1,25
Кобальт α или γ (>400°)	Co	Кубическая гранецентрированная	4	—	3,552	—	—	2,511	—
Кремний	Si	Кубическая (типа алмазной)	8	4	5,4282	—	—	2,351	1,34
Лантан α (<330°)	La	Гексагональная плотная	2	6,6	3,770	—	12,159	3,739	1,88
Лантан β (330—864°)	La	Кубическая гранецентрированная	4	12	5,31	—	—	—	—
Литий	Li	Кубическая объемноцентрированная	2	8	3,5089	—	—	3,039	1,57

Продолжение табл. 6

Название элементов	Символ	Тип структуры	Число атомов в элементарной ячейке	Координационное число	Постоянные решетки Å			Межатомное расстояние (ближайшее) Å	Атомный радиус Å
					a	*b*	*c*		
Магний	Mg	Гексагональная плотная	2	6,6	3,2092	—	5,2103	3,196	1,60
Марганец α (<727°)	Mn	Кубическая сложная	58	—	8,912	—	—	2,24	1,30
Марганец β (727—1095°)	Mn	Кубическая сложная	20	—	6,313	—	—	2,373	—
Марганец γ (1095—1133)	Mn	Тетрагональная гранецентрированная	4	—	3,862 (1095°)	—	—	2,731	—
Марганец δ (>1133°)	Mn	Кубическая объемноцентрированная	—	—	3,080 (1134°)	—	—	—	—
Медь	Cu	Кубическая гранецентрированная	4	12	3,6153	—	—	2,556	1,28
Молибден	Mo	Кубическая объемноцентрированная	—	8	3,1466	—	—	2,725	1,40
Мышьяк	As	Ромбоэдрическая (α = 53 49′)	2	3,3	4,159	—	—	2,51	1,48
Натрий	Na	Кубическая объемноцентрированная	2	8	4,2906	—	—	3,715	1,92
Никель	Ni	Кубическая гранецентрированная	4	—	3,5238	—	—	2,491	1,25
Ниобий	Nb	Кубическая объемноцентрированная	2	8	3,3007	—	—	2,859	1,47
Олово (серое) α (<13°)	Sn	Кубическая (типа алмазной)	8	—	6,491	—	—	2,81	1,58
Олово (белое) β (>13°)	Sn	Тетрагональная объемноцентрированная	4	4,2	5,8311	—	3,1817	3,022	—
Осмий	Os	Гексагональная плотная	2	—	2,733	—	4,319	2,675	1,35
Палладий	Pd	Кубическая гранецентрированная	4	—	3,8902	—	—	2,750	1,37
Платина	Pt	Кубическая гранецентрированная	4	—	3,9237	—	—	2,775	1,39
Рений	Re	Гексагональная плотная	2	—	2,7609	—	4,4583	2,740	1,37
Родий α	Rh	Кубическая	48	—	3,8034	—	—	2,689	1,34
Рубидий	Rb	Кубическая объемноцентрированная	2	8	5,710	—	—	4,996	2,57
Рутений	Ru	Гексагональная плотная	2	—	2,7038	—	4,2816	2,649	1,34
Свинец	Pb	Кубическая гранецентрированная	4	12	4,9495	—	—	3,499	1,75
Селен	Se	Гексагональная	3	2,4	4,3640	—	4,9594	2,32	1,6
Сера (желтая) α	S	Орторомбическая	128	—	10,44	12,84	24,37	2,04	—
Сера β	S	Моноклинная	—	—	—	—	—	—	—
Серебро	Ag	Кубическая гранецентрированная	4	12	4,0856	—	—	2,888	1,44
Стронций α (<215°)	Sr	Кубическая гранецентрированная	—	12	6,085	—	—	4,31	2,15
Стронций β (215—605°)	Sr	Гексагональная плотная	—	—	4,32	—	7,06	—	—
Стронций γ (>605°)	Sr	Кубическая объемноцентрированная	—	—	4,85	—	—	—	—

Продолжение табл. 6

Название элементов	Символ	Тип структуры	Число атомов в элементарной ячейке	Координационное число	Постоянные решетки, Å			Межатомное расстояние (ближайшее) Å	Атомный радиус Å
					a	*b*	*c*		
Сурьма	Sb	Ромбоэдрическая ($\alpha = 57{,}1°$)	—	—	4,5064	—	—	2,903	1,61
Таллий α (<234°)	Tl	Гексагональная плотная	2	6,6	3,4564	—	5,531	3,407	1,71
Таллий β (>234°)	Tl	Кубическая объемноцентрированная	4	12	3,882	—	—	—	—
Тантал	Ta	Кубическая объемноцентрированная	2	8	3,3026	—	—	2,860	1,47
Теллур	Te	Гексагональная	3	2,4	4,4559	—	5,9268	2,87	1,7
Титан α (<882,5°)	Ti	Гексагональная плотная	2	6,6	2,9504	—	4,6833	2,89	1,47
Титан β (>882,5°)	Ti	Кубическая объемноцентрированная	—	—	3,306	—	—	—	—
Торий α (<1400°)	Th	Кубическая гранецентрированная	4	12	5,0843	—	—	3,595	1,8
Торий β (>1400°)	Th	Кубическая объемноцентрированная	—	—	4,12	—	—	—	—
Углерод (алмаз)	C	Кубическая (типа алмазной)	8	4	3,568	—	—	1,544	(0,77)
Углерод (графит) α	C	Гексагональная	4	6	2,4614	—	6,7014	1,42	(0,77)
Углерод (графит) β	C	Ромбоэдрическая	—	—	2,461	—	10,064	—	(0,77)
Уран α (<660°)	U	Орторомбическая	—	—	2,858	5,877	4,955	2,77	—
Уран β (660—775°)	U	Тетрагональная	—	—	10,758	—	5,656	—	—
Фосфор (мет.)	P	Орторомбическая	8	3,3	3,32	4,39	10,52	2,18	1,3
Хром	Cr	Кубическая объемноцентрированная	2	8	2,8850 (78 °K)	—	—	2,498	1,28
Цезий	Cs	Кубическая объемноцентрированная	—	8	6,067	—	—	5,25	2,70
Церий (<730°)	Ce	Кубическая гранецентрированная	—	—	5,1612	—	—	3,65	1,82
Цинк	Zn	Гексагональная плотная	—	6,6	2,664	—	4,945	2,664	1,37
Цирконий α (<865°)	Zr	Гексагональная плотная	—	6,6	3,230	—	5,133	3,17	1,60
Цирконий β (>865°)	Zr	Кубическая объемноцентрированная	—	8	3,62	—	—	—	—

В табл. 7—11 приводятся сведения о давлении паров металлов и растворимости газов в металлах при различных температурах [4—9]. Кроме того, в этих таблицах помещены данные о свойствах некоторых неметаллических и газообразных элементов, играющих весьма важную роль в металлургических и технологических процессах.

Таблица 7

Давление паров важнейших элементов [5]

Название элементов	Давление паров, *мм*									
	1	5	10	20	40	60	100	200	400	760
	Температура, °С									
Азот	—226,1	—221,3	—219,1	—216,8	—214	—212,3	—209,7	—205,6	—200,9	—195,8
Алюминий	1284	1421	1487	1555	1635	1684	1749	1844	1947	2056
Аргон	—218,2	—213,9	—210,9	—207,9	—204,9	—202,9	—200,5	—195,6	—190,6	—185,6
Барий	—	984	1049	1120	1195	1240	1301	1403	1518	1638
Бром	—48,7	—32,8	—25,0	—16,8	—8,0	—0,6	+9,3	24,3	41,0	58,2
Висмут	1021	1099	1136	1177	1217	1240	1271	1319	1370	1420
Водород	—263,3	—261,9	—261,3	—260,4	—259,6	—258,9	—257,9	—256,3	—254,5	—252,5
Вольфрам	3990	4337	4507	4690	4886	5007	5168	5403	5666	5930
Гелий	—271,7	—271,5	—271,3	—271,1	—270,7	—270,6	—270,3	—269,8	—269,3	—268,6
Железо	1787	1957	2039	2128	2224	2283	2360	2475	2605	3000
Золото	1869	2059	2154	2256	2363	2431	2521	2657	2807	2966
Йод	38,7	62,2	73,2	84,7	97,5	105,4	116,5	137,3	159,8	184,0
Кадмий	394	455	484	516	553	578	611	658	711	765
Калий	341	408	443	483	524	550	586	643	708	770
Кальций	—	926	983	1046	1111	1152	1207	1288	1388	1440
Кислород	—219,1	—213,4	—210,6	—207,5	—204,1	—201,9	—198,8	—194,0	—188,8	—183,1
Кремний	1724	1835	1888	1942	2000	2036	2083	2151	2220	2630
Литий	723	828	881	940	1003	1042	1097	1178	1273	1370
Магний	621	702	743	789	838	868	909	967	1034	1110
Марганец	1292	1434	1505	1583	1666	1720	1792	1900	2029	2150
Медь	1628	1795	1879	1970	2067	2127	2207	2325	2465	2600
Молибден	3102	3393	3535	3690	3859	3964	4109	4322	4553	4800
Мышьяк	372	416	437	459	483	498	518	548	579	610
Натрий	439	511	549	589	633	662	701	758	823	892
Никель	1810	1979	2057	2143	2234	2289	2364	2473	2603	2730
Олово	1492	1634	1703	1777	1855	1903	1968	2063	2169	2270
Платина	2730	3007	3146	3302	3469	3574	3714	3923	4169	4410
Ртуть	126,2	164,8	184,0	204,6	228,8	242,0	261,7	290,7	323,0	357,0
Рубидий	297	358	389	422	459	482	514	563	620	680
Свинец	973	1099	1162	1234	1309	1358	1421	1519	1630	1740
Селен	356	413	442	473	506	527	554	594	637	680
Сера	183,8	223	243,8	264,7	288,3	305,5	327,2	359,7	399,6	444,6
Серебро	1357	1500	1575	1658	1743	1795	1865	1971	2090	2210
Стронций	—	847	898	953	1018	1057	1111	1192	1285	1380
Сурьма	886	984	1033	1084	1141	1176	1223	1288	1364	1440
Таллий	825	931	983	1040	1103	1143	1196	1274	1364	1460
Теллур	520	605	650	697	753	789	838	910	997	1090
Углерод	3586	3828	3946	4069	4196	4273	4373	4516	4660	4830
Фосфор:										
желтый	76,6	111,2	128,0	146,2	166,7	179,8	197,3	222,7	251,0	280,0
фиолетовый	237	271	287	306	323	334	349	370	391	417
черный	290	323	338	354	371	381	393	413	432	453
Фтор	—223	—216,9	—214,1	—211,0	—207,7	—205,5	—202,7	—198,3	—193,2	—187,9
Хлор	—118	—106,7	—101,6	—93,3	—84,5	—79,0	—71,7	—60,2	—47,3	—34,7
Хром	1616	1768	1845	1928	2013	2067	2139	2243	2361	2500
Цезий	279	341	375	409	449	474	509	561	624	690
Цинк	487	558	593	632	673	700	736	788	844	907

Таблица 8

Растворимость водорода в металлах, образующих с водородом истинные твердые растворы в зависимости от температуры [4, 6—9]

Температура, °С	Растворимость, *см*³ на 100 *г* металла при 1 *ат*								
	алюминия	железа	кобальта	меди	молибдена	никеля	платины	серебра	хрома
200	—	—	—	—	—	1,70	—	—	—
300	—	0,16	—	—	—	2,35	—	—	—
400	—	0,35	—	0,06	0,165	3,15	0,065	0,055	—
500	—	0,75	—	0,16	0,175	4,10	—	0,110	—
600	—	1,20	0,89	0,30	0,185	5,25	0,075	0,176	0,5
700	0,15	1,85	1,22	0,49	0,21	6,50	—	0,232	—
800	0,49	2,45	1,85	0,72	0,25	7,75	0,095	0,334	1,0
900	1,48	3,0 (α) 4,0 (γ)	2,52	1,08	0,29	9,10	0,135	0,427	2,0
1000	3,0	5,50	3,21	1,58	0,50	9,80	0,20	—	3,0
1100	—	7,00	4,33	6,3 (ж)	0,62	12,15	0,35	—	4,2
1200	—	8,25	5,44	8,1	—	14,25	0,52	—	—
1300	—	10,10	—	10,0	—	14,7	0,77	—	—
1400	—	10,5 (γ) 10,1 (δ)	—	11,8	—	16,2	1,15	—	—
1500	—	—	—	13,6	—	41 (ж)	—	—	—
1535	—	14 (δ) 25 (ж)	—	—	—	—	—	—	—
1600	—	28	—	—	—	43,1	—	—	—
1650	—	31	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Водород практически не растворим в золоте, кадмии, индии, таллии и цинке.

Таблица 9

Растворимость водорода в металлах, образующих с водородом псевдогидриды, в зависимости от температуры [4, 7—9]

Температура, °С	Растворимость, *см*³ на 100 *г* металла при 1 *ат*								
	ванадия	лантана	ниобия	палладия	тантала	титана	тория	церия	циркония
20	15 000	22 300	5 500	6 000	4600	40 740	14 800	20 500	23 550
300	6 500	19 200	4 440	330	3 300	—	—	18 400	—
400	3 800	18 200	3 680	230	2 500	38 770	—	17 600	—
500	1 900	17 200	2 270	190	1 400	36 600	—	16 800	—
600	1 000	16 300	988	180	700	33 470	9 100	16 000	18 400
700	640	15 300	511	170	420	18 390	8 800	15 200	17 600
800	440	14 300	330	162	250	14 090	8 100	14 500	16 500
900	320	13 400	217	157	180	9 820	7 700	13 800	13 800
1 000	250	12 300	163	155	140	6 610	2 600	13 000	7 800
1 100	210	11 100	—	154	110	4 590	1 900	11 300	4 700
1 200	—	4 100	—	—	100	—	1 750	5 300	3 200

Таблица 10

Растворимость кислорода в металлах в зависимости от температуры [4, 7—9]

Температура °С	Растворимость *см*³ на 100 *г* металла при 1 *ат*	Температура °С	Растворимость *см*³ на 100 *г* металла при 1 *ат*	Температура °С	Растворимость *см*³ на 100 *г* металла при 1 *ат*
Серебро		1075	193,9	*Никель*	
200	1,3	1125	184,9	1450	168
300	0,924				
400	0,828				
500	0,905	*Кобальт*		*Медь*	
600	1,26	600	4,2	600	5,0
700	1,84	700	6,3	800	6,6
800	3,37	810	11,2	945	7,0
923	5,43	875	7,0	1000	10,9
973 (ж)	213,5	945	4,9		
1024	205,0	1000	5,6		
		1200	9,1	*Железо*	
				1530	147
				1730	386

Таблица 11

Растворимость азота в чистых металлах в зависимости от температуры [4, 7—9]

Растворимость, *см*³ на 100 *г* металла при давлении, *мм* рт. ст.											
760		758		754		744		760		760	
Температура, °С	Железо	Температура, °С	Железо	Температура, °С	Железо	Температура, °С	Железо	Температура, °С	Молибден	Температура, °С	Вольфрам
750	0,32	805	1,1	1200	19,2	1310	17,4	1200	0,84	1200	0,001
890	1,60	840	4,6	1300	18,2	1380	17,1	1600	3,44	1600	0,015
900	20,0	920	9,3	1390	17,2	1440	8,8	2000	8,4	2000	0,088
1540	24,6	1070	19,0	1400	13,9	1460	10,5	2400	16,0	2400	0,304
1560	27	1300	16,8	1450	9,3	1500	9,7	—	—	—	—
—	—	1390	16,6	—	—	1540	24,6	—	—	—	—
—	—	1400	10,6	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	1420	8,1	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	1460	8,5	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Азот практически не растворим в золоте, серебре, меди и кобальте. В алюминии в расплавленном состоянии растворимость азота достигает 1 *см*³ на 100 *г* алюминия.

В табл. 12—14 содержатся сведения, характеризующие механические свойства важнейших чистых металлов при высоких и низких температурах [2, 3, 6—12].

Таблица 12

Механические свойства чистых металлов при комнатной температуре [3, 7—9, 12]

Название металла	Символ	Предел прочности при растяжении, *кг/мм²*	Предел упругости, *кг/мм²*	Предел текучести, *кг/мм²*	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Модуль нормальной упругости, *кг/мм²*	Числа твердости по		
								Бринелю, *кг/мм²*	Шору	Моосу
Алюминий	Al	8—11	3,0	3—7	40	85	7 200	20—35	4,5	2,9
Бериллий	Be	19	6	10	0,0	—	25 000	100	—	6,5
Висмут	Bi	0,5—2,0	—	—	0,0	0,0	3 200	9	—	2
Вольфрам	W	100—120	—	75	0	—	40 000	350	—	7
Железо	Fe	25—33	12	12,5	25—55	70—85	21 000	50	8	4,5
Золото	Au	14	1—2	3—4	30—50	90	7 900	18	3,5	2,5
Индий	In	1—1,5	—	0,5	50	95	1 070	1	—	1,2
Иридий	Ir	23	—	—	2	—	52 000	170	—	6,5
Кадмий	Cd	6,4	0,3	1	20	50	5 300	20	6	2
Кальций	Ca	6	0,4	3,8	50	—	2 600	20—30	—	2,3
Кобальт	Co	24	—	—	5	—	20 750	125	—	5
Кремний	Si	—	—	—	0	0	11 450	240	—	6,5
Магний	Mg	17—20	1,2	2—6	15	20	4 360	25	—	2
Медь	Cu	22	1,5	6—8	60	75	13 200	35	7	3
Молибден	Mo	70	—	—	30	—	33 000	125	—	8,5
Никель	Ni	40—50	8	12	40	70	20 500	60—80	10	5
Ниобий	Nb	30	—	20	28	80	10 500	—	120	6
Олово	Sn	1,5—2	0,15	0,9—1,5	40	75	5 500	5	—	1,8
Осмий	Os	—	—	—	—	—	56 700	400	—	7
Палладий	Pd	20	—	—	55	90	12 360	30	—	4,8
Платина	Pt	15	—	—	50	90	17 000	25	10	4,3
Родий	Rh	50	—	—	7	—	38 000	130	—	6
Свинец	Pb	1,5	0,25	0,5—1	50	100	1 700	4—6	2	1,5
Серебро	Ag	18	3	3,5	50	90	8 100	25	4	2,7
Сурьма	Sb	0,5—1	—	—	0	0	800	30—60	—	3
Таллий	Tl	0,9	—	—	35	100	810	3	—	1,2
Тантал	Ta	35—45	—	25	25—50	—	19 000	70	—	7
Теллур	Te	0,9	—	—	35	100	4 000	3	—	2,3
Торий	Th	56	—	—	—	—	7 970	70	—	—
Титан	Ti	40—45	—	30—40	30—40	50—70	10 500	130—150	—	—
Хром	Cr	25—30	—	20	10	—	25 200	70—100	—	4,5
Церий	Ce	8,5	0,25	—	—	—	—	21	—	2,5
Цинк	Zn	11—15	—	9—10	5—20	—	9 400	30—42	8	2,5
Цирконий	Zr	30—50	—	20—30	15—30	—	7 700	120	30	6,5

Таблица 13

Механические свойства чистых металлов при высоких температурах [2, 6—9, 11]

Название металлов	Температура испытания °С	Истинное напряжение при растяжении *кг/мм²*	Предел прочности при растяжении, *кг/мм²*	Относительное удлинение %	Относительное сужение %	Твердость по Бринелю *кг/мм²*
Алюминий, деформированный и отожженный при 350°С	20	14,30	11,00	20—40	85	37
	75	13,10	10,60	24	83	34
	135	11,30	7,65	32	88	31
	310	4,25	2,60	39	97	13
	400	2,15	1,25	42	99	6,4
	510	1,00	0,55	45	99	3,5
	600	0,60	0,35	42	100	1,6

Продолжение табл. 13

Название металлов	Температура испытания °С	Истинное напряжение при растяжении *кг/мм²*	Предел прочности при растяжении, *кг/мм²*	Относительное удлинение %	Относительное сужение %	Твердость по Бринелю *кг/мм²*
Железо, деформированное и отожженное при 900°С	20	42,50	33,40	21,00	68	—
	225	45,00	43,00	4,00	57	—
	275	48,00	44,50	7,00	51	—
	335	45,10	37,10	18,00	61	—
	400	34,00	27,00	21,00	68	—
	620	13,80	7,60	45,00	95	—
	800	3,75	2,30	39,00	89	—
	835	3,60	2,20	39,00	88	—
	1000	—	2,90	—	—	—
	1100	—	2,70	—	—	—
	1200	—	1,30	—	—	—
Кадмий, деформированный и отожженный при 100°С	20	7,75	6,40	20	50	20
	130	3,70	2,45	34	59	6,5
	237	1,00	0,55	45	44	2,7
Магний, деформированный и отожженный при 350°С	20	17,00	17,00	—	—	—
	83	14,80	13,40	10	13	—
	175	10,40	6,75	35	45	—
	273	5,45	2,95	46	76	—
	355	3,20	1,60	50	87	—
	550	0,5	0,3	40	100	—
Медь, деформированная и отожженная при 600°С	20	33,50	22,00	32—60	65—75	41
	160	26,60	18,40	32	71	—
	300	18,70	13,20	30	50	37
	410	10,50	8,50	19	24	—
	500	—	—	—	—	35
	555	5,65	4,85	—	—	—
	650	3,90	3,30	—	—	—
	790	2,20	1,90	—	—	—
	970	0,85	0,80	—	—	—
Никель, деформированный и отожженный при 900°С	20	66,50	49,30	26—40	70	60
	195	60,20	44,80	26	66	—
	300	64,60	44,80	31	67	—
	455	37,70	30,20	—	—	—
	593	24,40	20,60	—	—	—
	800	10,30	9,20	—	—	—
	1000	4,50	4,00	—	—	—
	1100	2,80	2,50	—	—	—
Олово, деформированное и отожженное при 50°С	20	4,55	2,75	40	74	7,6
	50	3,20	1,75	45	72	6,0
	100	1,90	1,05	45	82	4,1
	150	1,10	0,65	41	97	2,5
	180	0,50	0,45	10	12	1,8
	207	0,25	0,25	0	0	1,4
Свинец, деформированный и отожженный при 00 С	20	1,95	1,35—1,80	35—50	100	5,00
	82	1,05	0,80	24	100	3,00
	150	0,75	0,50	33	100	1,44
	195	0,50	0,40	20	100	1,20
	265	0,25	0,20	20	100	0,70
Цинк, деформированный и отожженный при 200°С	20	11,90	11,30	—	—	42,0
	112	7,85	7,25	—	—	25,0
	150	5,35	5,00	—	—	—
	247	2,40	2,25	—	—	6,7
	330	1,35	1,25	—	—	2,2
	405	~0,03	~0,03	—	—	1,4

Таблица 14

Механические свойства чистых металлов при низких температурах [2, 7—9]

Название металлов	Температура испытания, °С	Предел прочности при растяжении кг/мм²	Предел текучести, кг/мм²	Предел пропорциональности кг/мм²	Относительное удлинение, %	Относительное сужение %	Ударная вязкость кг·м/см²	Твердость по Бринелю кг/мм²
Алюминий, отожженный при 380°С	+20	8—11	3,60	3,0	45,4	89,3	9,30	31—37
	—40	7,90	4,10	3,5	43,0	89,3	10,71	32
	—70	8,90	4,20	3,7	42,2	87,0	11,54	35
	—100	—	—	—	—	—	13,72	—
	—195	21,00	—	—	42,0	75,0	16,29	—
	—253	35,00	—	—	45,0	66,0	—	—
Железо-армко	+20	30—33	16,0	—	21—46	65—74	21—24	80—120
	—40	—	—	—	—	—	8,0	—
	—70	33,0	23,0	—	45,0	72	2,0	77
	—100	—	—	—	—	—	1,0	—
	—195	63,0	58,0	—	16,0	53	0	259
Кадмий отожженный	+20	3,4—6,0	—	—	20—46	50	10,40	20
	—40	6,30	—	—	42,6	—	7,49	—
	—70	7,50	—	—	37,9	—	—	—
	—100	—	—	—	—	—	3,83	—
	—195	—	—	—	—	—	0,84	—
Медь, деформированная	+20	30,0	29,3	24,7	18,2	70,6	10,95	89
	—40	33,5	31,6	28,8	23,3	68,5	12,33	96
	—70	43,5	32,2	28,8	23,7	69,2	12,73	100
	—100	—	—	—	—	—	14,03	—
	—183	41,3	35,0	—	63,5	—	15,20	105
	—253	46,0	—	—	48,0	74	12,80	—
Никель, электролитический, отожженный	+20	50	19,5	15	26—40	70	18—32	100
	—183	88	—	—	42	62	22,70	159
	—253	79	—	—	48	69	22,10	—
Олово литое	+17	3,6	—	—	29	91	—	—
	—196	7,1	—	—	4	4	—	—
	—253	7,3	—	—	0,6	0	—	—
Свинец отожженный	+20	1,8—2,1	—	—	33—50	100	0,6—2,3	4,3—5,0
	—183	4,4	—	—	40,3	—	3,7	9,0
	—253	7,1	—	—	36,0	—	4,4	—
Цинк деформированный	+20	11—13	10,6	8,9	5—9	14,2	0,53	42
	—40	14,2	12,8	11,1	1,8	5,8	0,22	—
	—70	15,0	13,2	11,7	2,0	—	0,16	—
	—100	—	—	—	—	—	0,16	—
	—195	—	—	—	—	—	0,12	—

ЛИТЕРАТУРА

1. Ч. С Барретт. Структура металлов, Металлургиздат, 1948.
2. С. Е. Беляев Механические свойства авиационных материалов при низких температурах, Оборонгиз, 1940
3. А. Буркхардт. Механические и технические свойства чистых металлов, ГОНТИ, 1941.
4. С. Дэшман. Научные основы вакуумной техники, Изд-во иностр. лит., 1950.
5. Д. Кэй и Т Лэби. Справочник физика-экспериментатора, ИЛ, Изд-во иностр. лит. 1949
6. М. П. Славинский Физико-химические свойства элементов, Металлургиздат, 1952.
7. Справочник машиностроителя. Т. II гл. II. Свойства чистых металлов. Машгиз, 1955.
8. Машиностроение Энциклопедический справочник. Т. III, гл. V. Физико-химические и механические свойства чистых металлов, Машгиз, 1947.
9. А. П. Смирягин. Промышленные цветные металлы и сплавы, Металлургиздат, 1956.
10. Справочник по рентгеноструктурному анализу. под ред. А. И. Китайгородского, Гостехиздат, 1940.
11. W. Guertler. Metall Techn. Taschenbuch, Leipzig, 1939.
12. Metals Handbook. ASM, Cleveland, Ohio, 1948.

ГЛАВА II

МЕДЬ И МЕДНЫЕ СПЛАВЫ

§ 1. МЕДЬ ТЕХНИЧЕСКАЯ

1. Общая характеристика

Техническая медь обладает высокими электропроводностью, теплопроводностью, коррозионной стойкостью; отлично переносит обработку давлением в горячем и холодном состоянии (прокатку, прессовку, ковку, штамповку, волочение), что обусловливает широкое распространение меди во всех областях промышленности как в чистом виде, так и в виде разнообразных сплавов.

2. Влияние примесей на свойства меди

Чистота меди, применяемой для технических целей, имеет весьма большое значение. Примеси (даже в ничтожных количествах) резко снижают электрические свойства меди, делая её не пригодной для изготовления проводников тока и ухудшая технологические свойства. Влияние примесей, обычно встречающихся в технической меди, а также добавок некоторых элементов на электропроводность и теплопроводность меди показано на рис. 1—3.

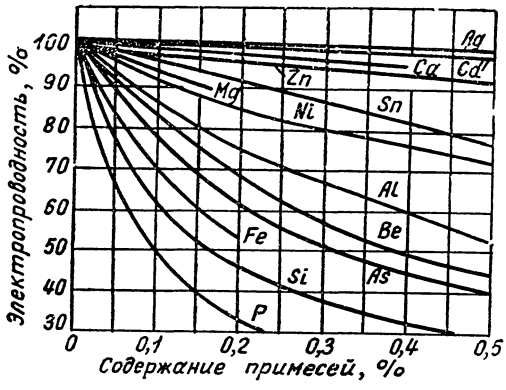


Рис. 1. Влияние примесей на электропроводность меди

Алюминий в стандартных марках технической меди не встречается и попадает в последнюю лишь при нерациональном использовании вторичных металлов. Алюминий неограниченно растворим в расплавленной меди; в твердом состоянии растворимость его равна 9,8% На механические свойства меди и обработку давлением примесь алюминия заметного влияния не оказывает. Алюминий повышает коррозионную устойчивость меди и резко уменьшает окисляе-

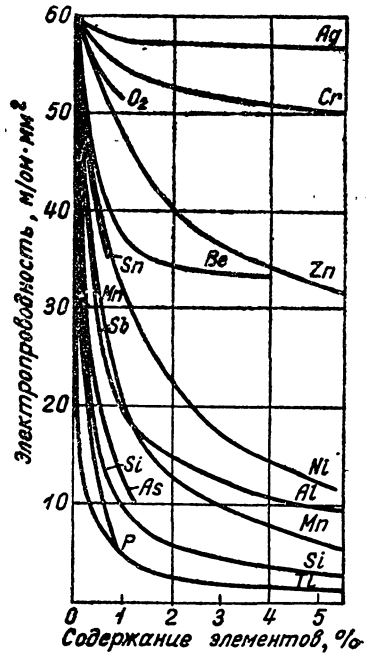


Рис. 2. Влияние некоторых элементов на электропроводность меди

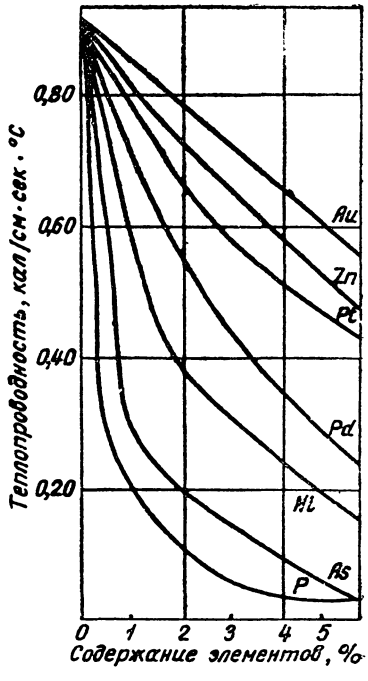


Рис. 3. Влияние некоторых элементов на теплопроводность меди

мость при нормальной и повышенной температурах.

Алюминий оказывает отрицательное действие при пайке и лужении медных изделий а также сильно понижает электропроводность и теплопроводность меди.

Бериллий несколько понижает электропроводность меди и как раскислитель положительно влияет на медь, повышая механические свойства и резко уменьшая окисление меди при повышенных температурах.

Висмут практически не растворим в меди в твердом состоянии. Под влиянием небольших количеств висмута (0,005%) медь легко разрушается при горячей обработке давлением. При повышенном содержании висмута медь делается хрупкой и в холодном состоянии, вследствие чего висмут является весьма вредной примесью, хотя на электропроводность меди заметного влияния не оказывает.

Железо весьма незначительно растворимо в меди в твердом состоянии. При 1050° до 3,5% железа входит в твердый раствор, а при 635° растворимость его падает до 0,15%. Под влиянием железа измельчается структура и задерживается рекристаллизация меди, что связано с повышением ее механических свойств.

Электропроводность и теплопроводность меди под действием железа резко снижаются, а также заметно понижается и коррозионная устойчивость. Под влиянием железа медь приобретает магнитные свойства.

Кислород очень мало растворим в меди в твердом состоянии. С увеличением содержания кислорода в меди последний при затвердевании выделяется в виде эвтектики медь — закись меди, располагающейся по границам кристаллитов пропорционально содержанию кислорода в меди. Поэтому содержание кислорода в литой и деформированной меди с большой точностью определяется микроскопическим методом по эталонам (см. ГОСТ 635—52. Медь. Методы анализа).

Под микроскопом закись меди выявляется в форме голубоватых включений. В поляризованном свете закись меди принимает рубиново-красную окраску, что является характерной особенностью для закиси меди, так как другие составляющие, например сульфиды и фосфиды, в этих условиях не дают вышеуказанной цветной реакции.

Кислород является вредной примесью, так как при повышенном его содержании заметно понижаются механические, технологические и коррозионные свойства меди, а также затрудняются технологические процессы пайки, лужения и плакировки. Кислород значительно влияет и на рекристаллизацию меди.

Рекристаллизация деформированной меди в зависимости от содержания в ней кислорода протекает при 180—230°. Между тем в чистой бескислородной меди рекристаллизация легко протекает при 100°, а в такой же меди, но с величиной зерна 0,008 *мм* и деформированной на 95%, спонтанная рекристаллизация протекает при комнатной температуре.

Водород оказывает весьма значительное влияние на медь. Растворимость водорода в меди в зависимости от температуры приведена в табл. 8.

Особенно разрушительное действие водород оказывает на медь, содержащую кислород. Такая медь после отжига в водороде или восстановительной атмосфере, содержащей водород, делается хрупкой и растрескивается, что в промышленности известно под названием «водородной болезни». Сущность этого явления заключается в том, что водород, легко проникающий в медь при повышенных температурах, реагирует с кислородом закиси меди с образованием водяных паров. При этом получается весьма значительное количество водяных паров. Так, например, при содержании в меди 0,01% кислорода после отжига ее в водороде образуется 14 $см^3$ водяных паров на 100 *г* меди. Образовавшиеся водяные пары не диффундируют и не диссоциируют при этих условиях и, имея очень высокое давление, легко разрушают медь.

Явление водородной болезни в меди легко устанавливается путем испытания механических свойств образцов на изгиб или кручение, а также микроскопическим методом. В такой меди после полировки отчетливо видны характерные темные включения пор и трещин.

В меди, содержащей кислорода менее 0,005% и отожженной в атмосфере водорода при 800°, водородную болезнь можно обнаружить под микроскопом, однако механические свойства при этом изменяются настолько незначительно, что водородную хрупкость в такой меди установить указанным методом не удается.

Мышьяк растворим в меди в твердом состоянии до 7,5%. Незначительные количества мышьяка не оказывают заметного влияния на механические и технологические свойства меди, но сильно понижают электропроводность и теплопроводность. Мышьяк значительно нейтрализует вредное действие примесей висмута, сурьмы и кислорода и заметно повышает температуру рекристаллизации меди. Вследствие малой скорости диффузии мышьяк вызывает в меди появление дендритной структуры. Под влиянием мышьяка закись меди легко коагулирует в сфероиды.

Мышьяк значительно повышает жаростойкость меди и заметно парализует вредное действие кислорода, поэтому мышьяковистая медь с содержанием мышьяка 0,3—0,5% применяется для изготовления распорных болтов к паровозным топкам и других деталей специального назначения, работающих при повышенных температурах в условиях восстановительной атмосферы. При высокотемпературном отжиге медь под влиянием мышьяка окисляется интенсивнее, однако при низких температурах наблюдается обратное явление.

Свинец практически не растворяется в меди в твердом состоянии. Заметного влияния на электропроводность и теплопроводность меди свинец не оказывает, но значительно

улучшает ее обрабатываемость резанием. При горячей обработке давлением медь под действием свинца легко разрушается, поэтому он является весьма вредной примесью.

Серебро при незначительном содержании (в качестве примеси) не оказывает заметного влияния на технические свойства меди и мало влияет на ее электропроводность и теплопроводность. Под влиянием серебра повышается температура рекристаллизации меди. В частности, при содержании серебра в меди ~0,24% температура рекристаллизации последней повышается более чем на 100°.

Сурьма растворима в меди в твердом состоянии при температуре эвтектики 645° до 9,5%. Однако с понижением температуры растворимость сурьмы в меди резко уменьшается, чем в значительной мере объясняется отрицательное действие сурьмы при горячей прокатке меди. В этом случае не следует допускать, чтобы содержание сурьмы в меди было выше 0,06%.

При штамповке изделий из меди вредное влияние сурьмы сказывается значительно слабее и содержание ее в меди в этом случае можно допустить до 0,2%.

Сурьма весьма сильно понижает электропроводность и теплопроводность меди, поэтому в марках меди, применяемых для изготовления проводников тока, не следует допускать содержания сурьмы выше 0,002%.

Сера растворяется в расплавленной меди, а при затвердевании ее растворимость снижается до нуля. Взаимодействие между сернистым газом и медью протекает, по-видимому, по следующей реакции:

$$6Cu + SO_2 \rightleftarrows 2Cu_2O + Cu_2S,$$

так как под микроскопом часто можно наблюдать совместное присутствие включений сернистой меди и закиси меди.

Сера незначительно влияет на электропроводность и теплопроводность меди, но заметно снижает пластичность при горячей и холодной обработке давлением. Под влиянием серы значительно улучшается обрабатываемость меди резанием.

Селен как аналог серы действует на медь подобно последней. Селен очень мало растворим в меди в твердом состоянии (менее 0,1%) и выделяется при затвердевании в виде соединения Se_2O. При содержании 2,2% селен образует с медью эвтектику, плавящуюся при 1063°. На электропроводность и теплопроводность меди селен влияет весьма незначительно, но резко снижает ее пластичность. В литературе отмечается положительное влияние селена на медь при обработке резанием.

Теллур весьма незначительно растворим в меди в твердом состоянии (около 0,01%). На электропроводность меди теллур влияет незначительно.

Фосфор ограниченно растворим в меди в твердом состоянии; предел насыщения твердого α-раствора при температуре 700° достигает 1,3% фосфора, а при 200° он снижается до 0,4%.

Фосфор весьма сильно понижает электропроводность и теплопроводность меди, но положительно влияет на ее механические свойства и повышает жидкотекучесть. Фосфор оказывает положительное влияние при сварке меди и широко применяется в литейном деле в качестве раскислителя.

3. Хрупкость меди при повышенных температурах

Явление хрупкости (зона хрупкости), наблюдаемое при повышенных температурах как в меди, так и в большинстве цветных металлов и сплавов, обусловливается влиянием вредных примесей. К числу таких примесей относятся: свинец, висмут и другие металлы, мало растворимые или практически не растворимые в меди и имеющие низкую температуру плавления.

Свинец, например, как и висмут, весьма незначительно растворим в меди в твердом состоянии, а потому в твердой меди находится в виде включений элементарного свинца С повышением температуры он переходит в жидкое состояние и, располагаясь по границам кристаллитов, нарушает связь между ними. Очевидно, вредное действие свинца связано не только с его количеством, но главным образом с характером распределения его в меди Наиболее вредное действие свинец оказывает в том случае, если он распределен по границам зерен в виде тонких прослоек. Рекристаллизация деформированной меди марки М3 при 350—400° протекает сравнительно медленно. При мелком зерне свинец, расположенный в меди в виде отдельных мелких включений, не оказывает отрицательного действия, поэтому на медных трубах, содержащих до 0,03% свинца, при температурах до 400° хрупкого разрушения не обнаруживается. Значительный рост зерна происходит при 500—600° и выше. В процессе рекристаллизации меди мелкие включения свинца концентрируются по границам кристаллитов, вызывая хрупкое разрушение медных труб при указанных температурах.

При температурах 800° и выше в связи с повышением растворимости свинца в меди происходит диффузия свинца в медь до исчезновения жидкой фазы и при этих температурах не наблюдается разрушения медных образцов, содержащих около 0,03% свинца Указанное объяснение распространяется и на другие легкоплавкие и не растворимые в меди примеси, образующие легкоплавкое и хрупкое межкристаллическое вещество. Такое объяснение красноломкости меди основывается на том, что, например, чистая (без примесей) бескислородная медь не имеет зоны хрупкого разрушения. Вместе с тем добавки к меди кальция, церия, циркония, образующие со свинцом и висмутом тугоплавкие химические соединения, парализуют вредное действие указанных примесей.

4. Анизотропия

Анизотропия свойств кристаллов представляет собой явление, заключающееся в

том, что кристаллы обладают неодинаковыми механическими, химическими и физическими свойствами в различных направлениях.

При обработке давлением и особенно при штамповке изделий из меди, алюминия, латуни, мельхиора и других металлов и сплавов явление анизотропии нередко приводит к образованию значительного количества брака по «фестонистости».

В поликристаллических телах с бессистемной ориентировкой кристаллитов явление анизотропии не должно иметь места, однако в практике оно наблюдается на поликристаллах в резко выраженной форме и обусловливается главным образом технологическими факторами.

Механизм данного явления можно объяснить таким образом: в процессе деформации отдельные кристаллы укладываются своими осями по направлению течения металла, т. е. поворачиваются в плоскость наибольшего сопротивления сдвигу, которую можно представить себе в качестве плоскости симметрии.

Поэтому образцы с одинарной текстурой, т. е. с ориентировкой граней куба (100) в плоскости прокатки, обнаруживают наиболее резко выраженную анизотропию свойств. При этом максимальная прочность достигается в направлении, поперечном прокатке, а минимальная — под углом 45°. Наблюдаемая при этом полосчатость, расположенная перпендикулярно прокатке, свидетельствует о вторичном механизме деформации, обусловливающем указанную направленность кристаллов при прокатке. Отжиг таких образцов не исправляет положения, так как разрушенные кристаллы сохраняют свою индивидуальность даже после деформации на 90%.

Анизотропия свойств меди наблюдается в резко выраженной форме в том случае, когда последняя холодная прокатка связана с сильной деформацией, а отжиг перед последней прокаткой производят при пониженных температурах. Последний отжиг при любых температурах не устраняет анизотропии, так как в этом случае вместо текстуры деформации появляется текстура рекристаллизации. Анизотропию свойств возможно ослабить до минимума, применяя рациональную технологию.

Необходимо отметить, что на явление анизотропии свойств значительное влияние оказывают примеси, присутствующие в металле. В частности, примесь сурьмы, по данным Д. И. Лайнера, в значительной мере уменьшает явление анизотропии свойств меди, а примесь марганца в мельхиоре вызывает обратное действие.

5. Коррозионные свойства меди

Медь весьма устойчива против атмосферной коррозии вследствие образования на ее поверхности тонкой защитной пленки, состоящей главным образом из основной серномедной соли $CuSO_4 \cdot 3Cu(OH)_2$, весьма устойчивой против воздействия атмосферы.

Чистая пресная вода на медь действует весьма незначительно. Конденсат при отсутствии CO_2 и кислорода практически на медь не действует. Скорость коррозии меди в морской воде также незначительна и составляет 0,05 *мм/год*.

По отношению к растворам неокислительных солей медь весьма устойчива, однако в присутствии окисных солей железа (рудничные воды), олова, ртути и других скорость коррозии меди значительно возрастает. Сухие газы (галогены) оказывают незначительное влияние на медь. Медь плохо сопротивляется воздействию аммиака, хлористого аммония, щелочных цианистых соединений и весьма сильно корродирует в окислительных минеральных кислотах. Органические кислоты (уксусная, лимонная, молочная, жирные кислоты), спирты и фенольные смолы оказывают незначительное действие, поэтому медь применяется в промышленности для изготовления перегонных кубов, испарителей, холодильников и трубопроводов.

Изменение механических свойств меди марки М0 (без кислорода) в зависимости от степени деформации, температуры отжига и величины зерна дано на рис. 4 и 5.

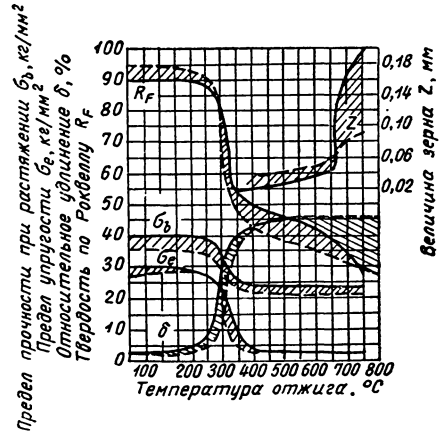


Рис. 4 Изменение механических свойств меди М0 (без кислорода) в зависимости от температуры отжига и величины зерна. Продолжительность отжига 1 час Исходный материал листы толщиной 1 *мм* с величиной зерна 0,015 и 0,04 *мм*, деформированные на 50%; ——— материал с зерном 0,015 *мм*; — — — — то же, с зерном 0,04 *мм*

Изменение механических свойств бескислородной меди и меди, содержащей 0,04% кислорода, при высоких температурах приведено на рис. 6 и 7.

Изменение механических свойств меди, раскисленной фосфором, при высоких температурах дано на рис. 8.

Диаграмма рекристаллизации меди приведена на рис. 9.

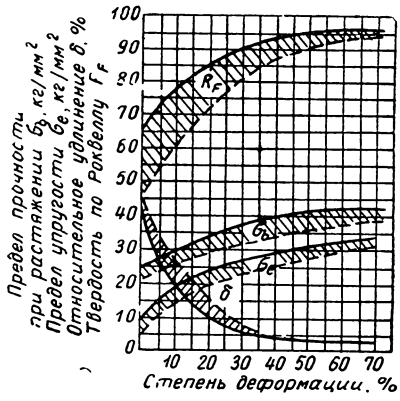


Рис. 5. Изменение механических свойств меди М0 (без кислорода) в зависимости от степени деформации и величины зерна. Исходный материал: листы отожженные толщиной 1 *мм* с величиной зерна: — 0,015 *мм*; — — 0,04 *мм*

Технологические характеристики технической меди

Температура литья, °С	1150—1200
Температура горячей обработки, °С	900—1050
Температура отжига, °С	500—700
Температура начала рекристаллизации наклепанной меди, °С	200—300
Жидкотекучесть, *см*	35
Линейная усадка, %	2,1
Атмосфера при плавлении	Восстановительная
Покровный материал	Сухой древесный уголь
Смазка для изложниц	Керосин 90%, сажа 10%

Таблица 15

Химический состав технической меди по ГОСТ 859—41

Марка меди	Химический состав, %												Примерное назначение
	медь (не менее)	примеси (не более)											
		висмут	сурьма	мышьяк	железо	никель	свинец	олово	сера	кислород	цинк	всего	
М0	99,95	0,002	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	0,02	0,005	0,05	Для проводников тока и сплавов высокой чистоты
М1	99,90	0,002	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	0,08	0,005	0,1	Для проводников тока, проката и высококачественных бронз, не содержащих олова
М2	99,7	0,002	0,005	0,01	0,05	0,2	0,01	0,05	0,01	0,1	—	0,3	Для высококачественных полуфабрикатов и сплавов на медной основе, обрабатываемых давлением
М3	99,5	0,003	0,05	0,05	0,05	0,2	0,05	0,05	0,01	0,1	—	0,5	Для проката сплавов на медной основе обычного качества и прочих литейных сплавов
М4	99,0	0,005	0,2	0,2	0,1	—	0,3	—	0,02	0,15	—	1,0	Для литейных бронз и различных неответственных сплавов
М3С	99,5	0,003	0,05	0,05	0,05	0,2	0,01	0,05	0,01	0,01	Фосфор 0,04	0,5	Для труб разных размеров в морском судостроении по ГОСТ 617—53

Таблица 16

Химический состав различных марок меди по техническим условиям

Марка меди	Химический состав, %													
	Основные компоненты		примеси (не более)											
	медь (не менее)	марганец	висмут	сурьма	мышьяк	железо	никель	свинец	олово	цинк	сера	фосфор	углерод	всего
Медь бескислородная сорт «А» по ЦМТУ 3302—53, 3303—53, 3304—53	99,97	—	0,002	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,003	0,005	0,003	—	—
Медь бескислородная сорт «Б» по ЦМТУ 3302—53, 3303—53, 3304—53	99,95	—	0,002	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,003	0,005	0,003	—	—
Медь вакуумная по ЦМТУ 3205—52, 3206—52	99,99	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,01
Медь, раскисленная марганцем, по ЦМТУ 3204—52	99,96	0,1—0,3	0,002	0,002	0,002	0,05	0,005	0,007	0,002	0,007	0,005	0,003	0,002	,100

Таблица 17

Физические и механические свойства меди

Показатели	Значение	Состояние материала
Атомный вес	63,54	—
Плотность при 20°	8,94	—
Температура плавления, °С	1083	—
Скрытая теплота плавления, *кал/г*	50,6	—
Температура кипения, °С	2595	—
Скрытая теплота парообразования, *кал/г*	1290	—
Удельная теплоемкость при 20°, *кал/г·°С*	0,092	—
Теплопроводность при 20°, *кал/см·сек·°С*	0,92	—
Коэффициент линейного расширения α_{20-100}	$16{,}5 \cdot 10^{-6}$	—
Удельное электросопротивление при 20° ρ, *ом · мм²/м*	0,0178	—
Температурный коэффициент электросопротивления	0,00433	—
Поверхностное натяжение при 1200°. *дин/см*	1178	—
Вязкость при 1145°, *г/см/сек*	0,0341	—
Стандартный электродный потенциал, *в*	0,34	—

Продолжение табл. 17

Показатели	Значение	Состояние материала
Электрохимический эквивалент для Cu^{II}, *г/а-ч*	1,186	—
Модуль нормальной упругости, *кг/мм²*	11500	—
Модуль сдвига, *кг/мм²*	4240	—
Предел упругости, *кг/мм²*	30	Деформированный
То же	2,5	Отожженный
Предел текучести, *кг/мм²*	38	Деформированный
То же	7	Отожженный
Предел усталости при переменно-изгибающих напряжениях на базе 10^8 циклов, *кг/мм²*	11	Деформированный
То же	6,7	Отожженный
Предел ползучести *кг/мм²*, при температуре, °С:		
20	7	—
200	5	—
400	1,4	—
Предел прочности при растяжении, *кг/мм²*	40—50	Деформированный
То же	20—24	Отожженный
Относительное удлинение, %	4—6	Деформированный
То же	45—50	Отожженный
Предел прочности при сжатии, *кг/мм²*	157	Литой
Осадка при сжатии, %	65	»
Относительное сужение, %	35—45	Деформированный
То же	65—75	Отожженный
Сопротивление срезу, *кг/мм²*	19	»
Твердость по Бринелю, *кг/мм²*	110—130	Деформированный
То же	35—45	Отожженный
Ударная вязкость при 20°, *кгм/см²*	16—18	Литой

Таблица 18

Механические свойства полуфабрикатов из меди

Вид изделий	Состояние материала	Механические свойства		ГОСТ или ТУ
		σ_b, *кг/мм²*	δ, %	
		не менее		
Листы холоднокатаные	Мягкие	20	30	ГОСТ 495—50
	Твердые	30	3	
Листы горячекатаные	—	20	30	
Листы и ленты	Мягкие	21	30	ГОСТ 1173—49
	Твердые	30	3	
Прутки тянутые диам. 5—40 *мм*	Мягкие	20	38	ГОСТ 1535—48
	Твердые	27	6	
Прутки прессованные диам. 14—20 *мм*	—	20	30	
Прутки катаные диам. 35—100 *мм*	—	25	8	
Проволока для заклепок	—	24	15	ЦТУ 18—58
Трубы	Мягкие	21	35	ГОСТ 617—53, ЦМТУ 3279—53
Трубы тянутые	Твердые	30	3,5	ЦМТУ 3341—53
Ленты толщиной 0,35 *мм* и выше	Мягкие	20	30	ГОСТ 1018—54

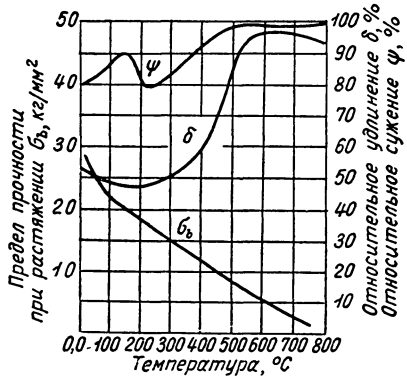


Рис. 6. Изменение механических свойств бескислородной меди при высоких температурах Исходный материал: полоса, деформированная на 6%

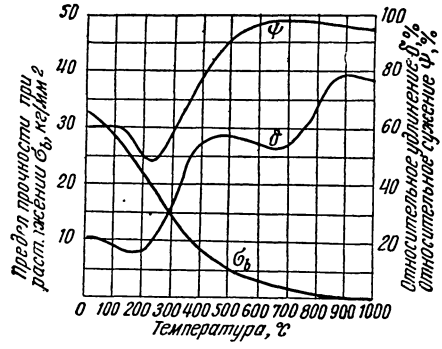


Рис. 7. Изменение механических свойств меди, содержащей 0.04% кислорода и 99.93% меди при высоких температурах. Исходный материал: прутки диаметром 25 *мм*, деформированные на 25%

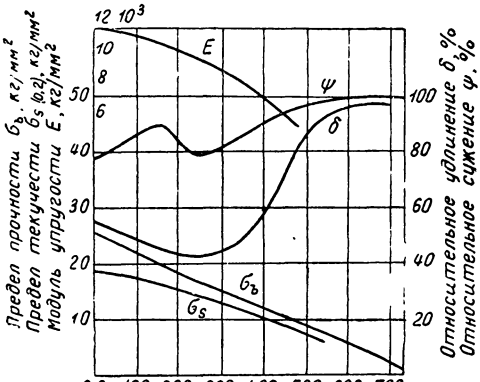


Рис. 8. Изменение механических свойств меди, раскисленной фосфором, при высоких температурах. Исходный материал: полосы холоднокатаные

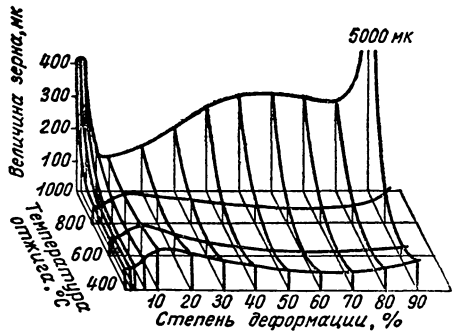


Рис. 9. Рекристаллизация меди

§ 2. ОЛОВЯННЫЕ БРОНЗЫ

Оловянными бронзами называются сплавы меди с оловом. Однако практическое значение имеют оловянные бронзы более сложного состава с добавками фосфора, цинка, свинца, никеля и других элементов.

Оловянные бронзы обладают достаточно хорошими механическими, антифрикционными, литейными и технологическими свойствами и отличаются высокой коррозионной стойкостью.

Из диаграммы состояния системы медь—олово, показанной на рис. 10, видно, что граница насыщения области твердого α-раствора при 540° простирается до 16% (вес.) олова. В противоположность диаграмме медь—цинк γ-фаза в системе медь—олово образуется не из жидкой фазы, а выделяется в твердом состоянии по перитектической реакции.

δ-фаза ($Cu_{31}Sn_8$ с решеткой γ-фазы) является продуктом эвтектоидного распада γ-фазы (или β^1) при 520°, которая при 350° распадается на α + Cu_3Sn (ε-решетка).

Характерной особенностью для данной системы является то, что β- и γ-фазы устойчивы лишь при высоких температурах. С понижением температуры указанные фазы быстро распадаются, а потому в обычных условиях их практически обнаружить весьма затруднительно.

Вместе с тем, дальнейший распад δ-фазы ($Cu_{31}Sn_8$) протекает настолько медленно, что в сплавах, содержащих даже до 20% олова, ε-фаза практически отсутствует.

Таким образом, при рассмотрении оловянных бронз под микроскопом практически наблюдаются следующие структуры:

а) в литых сплавах видна резко выраженная дендритная структура, что объясняется широким интервалом затвердевания этих сплавов:

б) сплавы с пониженным содержанием олова, например бронзы марок Бр.ОФ4-0,15 и Бр.ОЦ4-3, после деформации и отжига состоят из однородных кристаллов твердого α-раствора;

в) сплавы с повышенным содержанием олова состоят из кристаллов твердого α-раствора и эвтектоида α + δ.

β-фаза в горячем состоянии довольно пластична, а в холодном состоянии тверда и хрупка, поэтому при определенных условиях можно катать в горячем состоянии сплавы с содержанием олова до 20%, которые в холодном состоянии весьма хрупки.

Для обработки давлением применяют сплавы с содержанием олова до 8% и чаще с добавками фосфора, цинка или свинца. Оловянноцинковая бронза марки Бр.ОЦ4-3 хорошо переносит горячую и холодную обработку давлением. Оловянно-фосфористая бронза марки Бр.ОФ4-0,15 обрабатывается в горячем (прессовка) и холодном состоянии (прокатка и волочение). Наконец бронза марки Бр.ОЦС4-4-2,5 обрабатывается лишь в холодном состоянии.

Оловянные бронзы мало чувствительны к перегреву и газам, отлично воспринимают сварку и пайку, не дают искры при ударах, немагнитны, морозостойки и обладают весьма высокими антифрикционными свойствами.

Отрицательным свойством оловянных бронз является их склонность к «обратной ликвации», заключающейся в том, что при застывании отливок легкоплавкая составляющая, обогащенная оловом, под влиянием объемных изменений и выделяющихся газов перемещается от центра к периферии, что связано с появлением мелкой пористости в отливках и неравномерности их химического состава. При резко выраженной обратной ликвации на поверхности отливок наблюдается появление так называемого «оловянного пота» в виде белых пятен или выделений. Указанные выделения весьма хрупки, содержат 15—18% олова и состоят в основном из кристаллов δ-фазы. Это обстоятельство весьма отрицательно влияет на качество отливок из оловянных бронз, но не всегда проявляется в такой резкой форме.

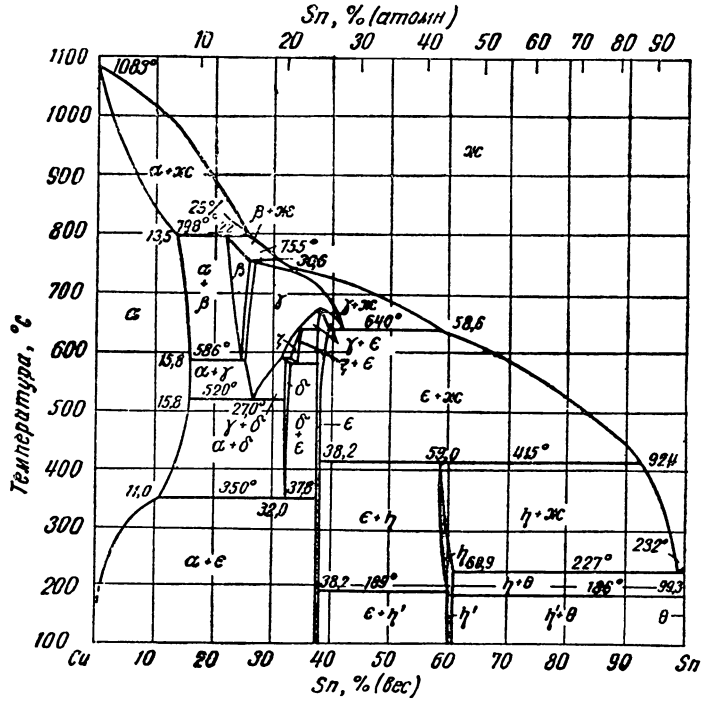


Рис. 10. Диаграмма состояния системы медь—олово

Процесс диффузии в оловянистых бронзах протекает крайне медленно и дендритная структура исчезает лишь после многократной механической и термической обработки, что также затрудняет технологический процесс обработки давлением этих сплавов.

1. Влияние компонентов и примесей на оловянные бронзы

Фосфор. Диаграмма состояния системы медь—олово—фосфор показана на рис. 11, откуда видно, что фосфор незначительно растворим в этих сплавах, причем с увеличением содержания олова и с понижением температуры область твердого раствора резко сдвигается в сторону медного угла.

С медью фосфор дает химическое соединение Cu_3P (14,1% фосфора, точка плавления 707°), образующее с оловянной бронзой тройную эвтектику (медь 80,7%, олово 14,8%, фосфор 4,5%), плавящуюся при 628°. При содержании в оловянных бронзах фосфора свыше 0,3% последний выделяется

в виде хорошо видных под микроскопом голубоватых включений фосфидной эвтектики, которые в отличие от эвтектоида α + δ не травятся 50%-ным раствором азотной кислоты и не дают цветной реакции в поляризованном свете в отличие от закиси меди.

Фосфор значительно влияет на механические свойства оловянных бронз. В сплавах,

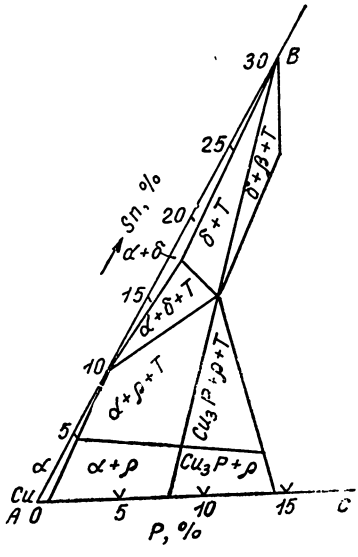


Рис. 11. Диаграмма состояния тройной системы медь—олово—фосфор. Медный угол

обрабатываемых давлением, фосфор содержится не свыше 0,5%. При таком соотношении оловянные бронзы обладают оптимальными механическими и технологическими свойствами и имеют повышенные предел упругости, модуль упругости и предел усталости, достигающий 25—28 *кг/мм*² при 100 млн. циклов. При повышенном содержании фосфора (более 0,5%) оловянные бронзы не поддаются горячей обработке давлением и легко разрушаются, так как при температуре горячей прокатки фосфидная эвтектика находится в жидком состоянии и действие ее аналогично действию свинца или висмута на однофазные сплавы при обработке их в горячем состоянии. Фосфор значительно повышает антифрикционные свойства оловянных бронз.

Никель при содержании его около 1% положительно влияет на двойные оловянные бронзы, повышая механические и коррозионные свойства и способствуя образованию более мелкой структуры этих сплавов. При повышенном содержании никеля эти сплавы облагораживаются. На оловяннофосфористые бронзы никель оказывает весьма сильное влияние. Никель при содержании его до 0,25% положительно влияет на оловяннофосфористые бронзы, способствуя образованию более мелких зерен и несколько повышая механические свойства. Повышенное содержание никеля ухудшает технологические свойства этих сплавов при обработке давлением вследствие появления в структуре новой хрупкой фазы.

На оловянноцинковые бронзы никель не оказывает заметного влияния; при содержании его 0,5—1% структура и свойства этих сплавов практически не изменяются.

На оловянносвинцовые сплавы никель влияет положительно, способствуя образованию более мелких зерен и более равномерному распределению свинца в отливках.

Свинец в оловянной бронзе практически не растворим. При затвердевании сплава свинец выделяется как самостоятельная фаза, располагаясь между дендритами в виде темных включений. Механические свойства оловянных бронз под влиянием свинца заметно понижаются, но при этом резко возрастает способность этих сплавов к обработке резанием и повышаются антифрикционные свойства.

Цинк не оказывает заметного влияния на структуру и свойства оловянных бронз. На оловяннофосфористые бронзы, обрабатываемые давлением, цинк при содержании его до 2% не оказывает отрицательного влияния.

Железо незначительно (не более 0,01%), растворимо в оловянных бронзах. На оловяннофосфористые бронзы железо оказывает весьма сильное влияние: повышает механические свойства этих сплавов, способствует образованию более мелкой структуры и резко задерживает рекристаллизацию. Поэтому железо при содержании до 0,03% является полезным. При повышении содержания железа резко снижаются коррозионные и технологические свойства оловянных бронз.

Алюминий, кремний и *магний* весьма отрицательно влияют на оловянные бронзы. Эти элементы входят в твердый раствор, однако, энергично окисляясь при плавке и литье, образуют тугоплавкие окислы, которые при затвердевании металла располагаются по границам кристаллитов, нарушая связь между ними.

Висмут, сурьма, мышьяк и *сера* в оловянных бронзах также являются весьма вредными примесями, так как сообщают этим сплавам хрупкость.

Светлый отжиг полуфабрикатов из оловянистых бронз возможно производить в следующих средах: в техническом водороде, в азоте, содержащем 2—3% водорода, генераторном газе и парах воды.

2. Коррозионные свойства оловянных бронз

Оловянные бронзы весьма стойки в атмосферных условиях. Скорость коррозии оловянных бронз, содержащих 5—8% олова, в атмосфере сельской местности равна

0,00015—0,0008 *мм/год,* в атмосфере приморского района 0,0010—0,0020 *мм/год,* в атмосфере городской местности (промышленные районы) 0,0015—0,0018 *мм/год.* В сухом и влажном водяном паре (при малых скоростях пара) оловянные бронзы весьма устойчивы: скорость коррозии <0,0025 *мм/год.* В паре, перегретом до 250°, и при давлении не выше 20 *ат* оловянные бронзы также достаточно стойки. Оловянные бронзы устойчивы в пресной и морской воде; причем в этих средах данные сплавы более стойки, чем медь и латуни. Рудничные воды, содержащие соли-окислители, например сернокислое окисное железо, быстро разрушают эти сплавы.

Скорость коррозии в фосфорной и уксусной кислотах при 20° достигает 0,025—0,6 *мм/год.* Жирные кислоты в этом отношении являются более агрессивными. В растворах аммиака оловянные бронзы корродируют довольно быстро, со скоростью 1,27—2,54 *мм/год.* Сухие газы (хлор, бром, фтор, а также угольный ангидрид) на оловянные бронзы практически не действуют, однако при высоких температурах коррозия этих сплавов в присутствии хлора, брома и йода резко возрастает вследствие образования летучих соединений олова.

Кислород при комнатной температуре не оказывает заметного влияния на оловянные бронзы, а потому эти сплавы применяются для изготовления арматуры для кислорода и сжатого воздуха. Сухой сернистый газ весьма мало влияет на оловянные бронзы, но в присутствии влаги скорость коррозии этих сплавов сильно возрастает, достигая 2,5 *мм/год.*

В табл. 19—23 приведены состав и свойства стандартных оловянных бронз, обрабатываемых давлением, а на диаграммах рис. 12—22 показано изменение свойств в зависимости от механической и термической обработки.

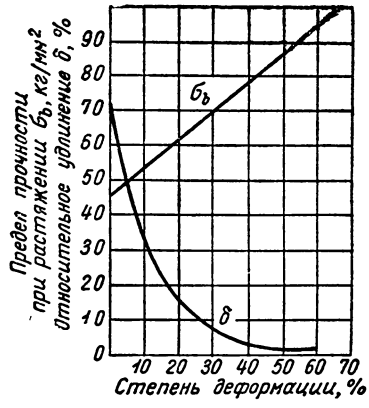


Рис. 12 Изменение механических свойств бронзы Бр. ОФ6,5-0.4 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: прутки мягкие диаметром 4 *мм*

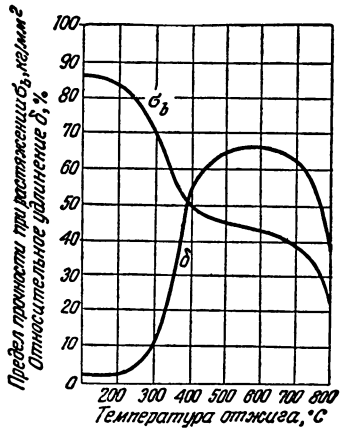


Рис. 13 Изменение механических свойств бронзы Бр.ОФ6,5-0,4 в зависимости от температуры отжига Продолжительность отжига 1 час Исходный материал: прутки твердые диаметром 4 *мм*

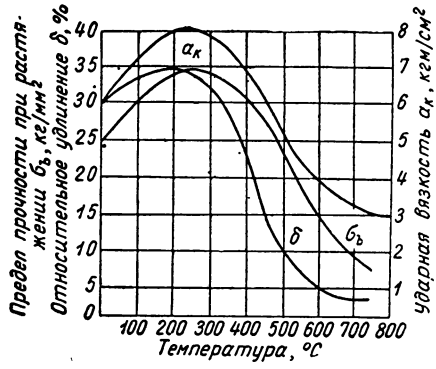


Рис. 14. Изменение механических свойств бронзы Бр.ОФ6,5-0,4 при высоких температурах

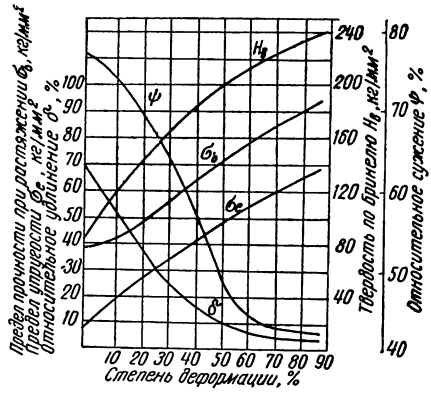


Рис. 15. Изменение механических свойств бронзы Бр ОФ6,5-0,2 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: лента мягкая

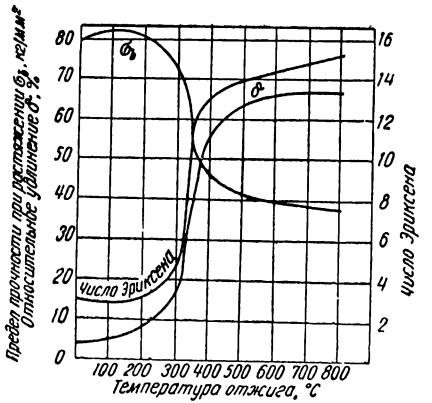


Рис. 16. Изменение механических свойств бронзы Бр.ОФ6.5-0.2 в зависимости от температуры отжига. Исходный материал: лента твердая

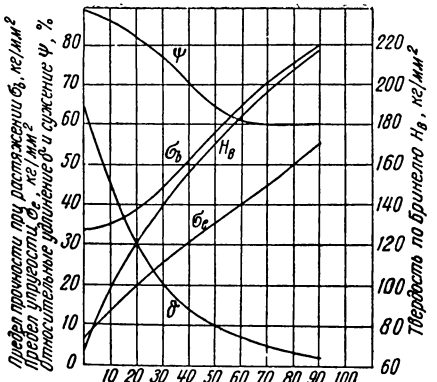


Рис. 17. Изменение механических свойств бронзы Бр.ОФ4-0,2 в зависимости от степени деформации

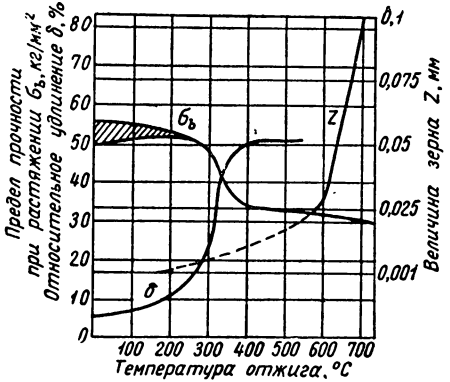


Рис. 18 Изменение механических свойств и величины зерна в бронзе БрОФ4-0,25 в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: трубки твердые манометрические размером 7,5×5 — 0,6 *мм*

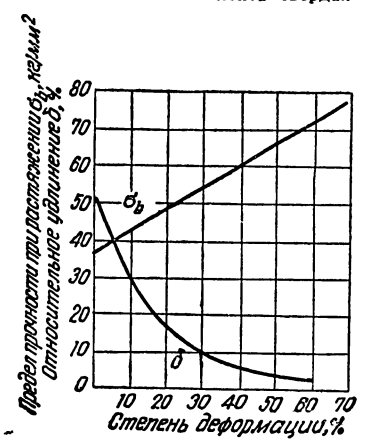


Рис. 19 Изменение механических свойств бронзы БрОЦ4-3 в зависимости от степени деформации Исходный материал: полосы мягкие толщиной 4 *мм*

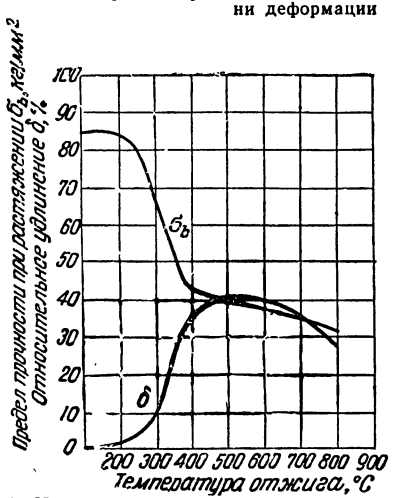


Рис. 20. Изменение механических свойств бронзы БрОЦ4-3 в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 1 час Исходный материал: полосы твердые толщиной 4 *мм*

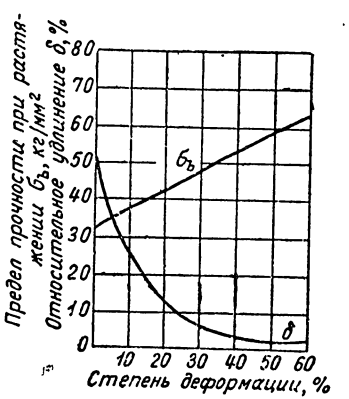


Рис. 21. Изменение механических свойств бронзы Бр. ОЦС4-4-2,5 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: полосы мягкие толщиной 4 *мм*

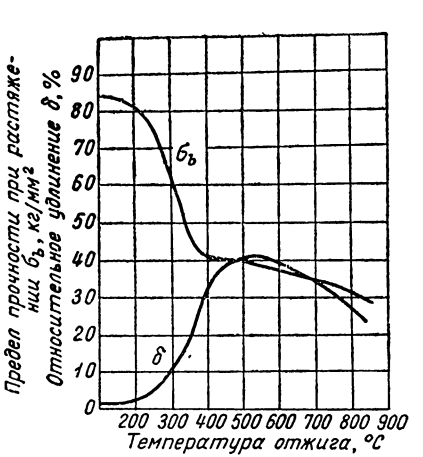


Рис. 22. Изменение механических свойств бронзы Бр.ОЦС4-4-2,5 в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: полосы твердые толщиной 4 *мм*

Таблица 19

Химический состав и примерное назначение оловянных бронз, обрабатываемых давлением, по ГОСТ 5017—49

Наименование	Марка	Химический состав, %												Примерное назначение
		основные компоненты					примеси (не более)							
		олово	фосфор	цинк	свинец	медь	железо	свинец	сурьма	висмут	алюминий	кремний	фосфор	всего
Бронза оловянно-фосфористая	Бр.ОФ6,5-0,15	6—7	0,1—0,25	—	—	Ост.	0,02	0,02	0,002	0,002	0,002	0,002	—	0,1	Ленты, полосы, прутки, проволока для пружин, подшипниковые детали
	Бр.ОФ6,5-0,4	6—7	0,3—0,4	—	—	»	0,02	0,02	0,002	0,002	0,002	0,002	—	0,1	Проволока для сеток бумагоделательных машин
	Бр.ОФ4-0,25	3,5—4,0	0,15—0,25	—	—	»	0,02	0,02	0,002	0,002	0,002	0,002	—	0,1	Трубки, применяемые в аппаратостроении и для контрольно-измерительных приборов
Бронза оловянно-цинковая	Бр.ОЦ4-3	3,5—4,0	—	2,7—3,3	—	»	0,05	0,02	0,002	0,002	0,002	0,002	0,03	0,2	Ленты, полосы, прутки, проволока для пружин и для аппаратуры химической промышленности
Бронза оловянно-цинкосвинцовая	Бр.ОЦС4-4-2,5	3—5	—	3—5	1,5—3,5	»	0,05	—	0,002	0,002	0,002	0,002	0,03	0,2	Ленты и полосы для прокладок во втулках и подшипниках
	Бр.ОЦС4-4-4	3—5	—	3—5	3,5—4,5	»	0,05	—	0,002	0,002	0,002	0,002	0,03	0,2	То же

Примечания: 1. В бронзах марок Бр.ОФ 6,5-0,15, Бр.ОФ 6,5-0,4 и Бр.СФ4-0,25 может содержаться за счет меди: цинка до 0,3%, никеля до 0,2%.
2. Для антимагнитных деталей содержание железа в бронзе марки Бр ОЦ4-3 не должно превышать 0,02%.
3. Примеси, не указанные в таблице, учитываются в общей сумме примесей.
4. Содержание примеси серы и магния допускается не более 0,002% каждой.

Таблица 20

Физические свойства оловянных бронз, обрабатываемых давлением

Марка сплава	Температура плавления °С	Плотность *г/см³*	Коэффициент линейного расширения $\alpha_{20} \cdot 10^6$	Теплопроводность *кал/см сек* °С	Коэффициент теплопроводности	Удельное электросопротивление при 20°С *ом мм²/м*
Бр ОФ6,5-0,15	995	8,8	17,2	0,14	0,0023	0,128
Бр ОФ6,5-0,4	995	8,8	19,1	0,12	0,0009	0,176
Бр.ОФ4 0,25	1060	8,9	17,6	0,20	0,0016	0,091
Бр.ОЦ4-3	1045	8,8	18,0	0,20	—	0,087
Бр.ОЦС4-4-2,5 и Бр.ОЦС4-4-4	1018	9,0	18,2	0,20	—	0,087

Таблица 21

Механические свойства оловянных бронз, обрабатываемых давлением

Марка сплава	Модуль нормальной упругости, *кг/мм²*	Предел прочности при растяжении, *кг/мм²*	Предел текучести, *кг/мм²*	Предел пропорциональности (деформация на 50%), *кг/мм²*	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость (литой), *кгм/см²*	Твердость по Бринелю, *кг/мм²*	Коэффициент трения		Коррозионная стойкость, потеря в весе *г/м²·сутки*	
								со смазкой	без смазки	в морской воде	в 10%-ном растворе H_2SO_4
Бр.ОФ6,5-0,15 и Бр.ОФ6,5-0,4	11200	35—45 / 70—80	20—25 / 59—65	45	60—70 / 7,5—12	5—6	70—90 / 160—200	0,01	0,12	1,0	5,1
Бр.ОФ4-0,25	10000	34 / 60	— / 54	35	52 / 8	—	55—70 / 160—170	—	—	—	—
Бр.ОЦ4-3	8500	35 / 55	—	—	40 / 4	4	60 / 160	—	—	0,53	4,8
Бр ОЦС4-4-2,5 и Бр ОЦС4-4-4	7500	30—35 / 55—65	13 / 28	5,6 (отожжена при 650°)	35—45 / 2—4	2,5	60 / 160—180	0,016	0,26	0,67	4,9

Примечание. В числителе даны цифры, относящиеся к бронзе, отожженной при 650°; в знаменателе — к бронзе, деформированной на 50%

Таблица 22

Технологические характеристики оловянных бронз, обрабатываемых давлением

Марка сплава	Температура литья, °С	Температура горячей обработки (прессования) °С	Температура отжига, °С	Обрабатываемость резанием %	Линейная усадка %
Бр.ОФ6,5-0,15	1200—1300	750—770	600—650	20	1,45
Бр.ОФ6,5-0,4	1200—1300	750—770	600—650	20	1,45
Бр ОФ4-0,25	1250—1300	750—780	600—650	20	1,45
Бр ОЦ4-3	1250—1270	750	600		1,45
Бр.ОЦС4-4-2,5	1250—1300	Вгорячую не обрабатывается	600	90	1,5—1,6
Бр.ОЦС4-4-4	1250—1300	То же	600	90	1,5—1,6

Примечание. За 100% взята обрабатываемость резанием латуни ЛС63-3.

Таблица 23

Механические свойства полуфабрикатов из оловянных бронз, обрабатываемых давлением

Наименование	Марка	Изделие	Состояние	Механические свойства		ГОСТ или ТУ
				σ_b кг/мм²	δ, %	
				не менее		
Бронза оловянно-фосфористая	Бр.ОФ6,5-0,15	Полосы	Мягкие	30	38	ГОСТ 1761—50
			Твердые	50	3	
			Особотвердые	60	1	
		Ленты	Мягкие	30	38	
			Твердые	55	5	
			Особотвердые	65	2	
	Бр.ОФ6,5-0,4	Проволока	Твердая	90	0,5	ЦМТУ 3352—53
		Ленты	Твердые	70—80	Не более 5	ЦМТУ 3383—53
	Бр ОФ4-0,25	Трубки манометрические	Мягкие	33	40	ГОСТ 2622—44
			Твердые	50	2	
			Мягкие	33	40	ЦМТУ 315—41
			Твердые	60	1,5	ЦМТУ 302—41
Бронза оловянно-цинковая	Бр.ОЦ4-3	Ленты	Мягкие	30	38	ГОСТ 1761—50
			Твердые	55	5	
			Особотвердые	65	2	
		Полосы	Мягкие	30	38	
			Твердые	50	3	
			Особотвердые	60	1	

Продолжение табл. 23

Наименование	Марка	Изделие	Состояние	Механические свойства		ГОСТ или ТУ
				σ_b кг/мм²	δ, %	
				не менее		
Бронза оловянноцинковосвинцовая	Бр ОЦС4-4-2,5	Прутки диам., мм:	Тянутые			
		5—12		44	10	ГОСТ 6511—53
		13—25		38	15	
		27—35		34	16	
		38—40		32	16	
		Проволока диам., мм:	Твердая			
		0,1—2,5		90	0,5	ГОСТ 5221—50
		2,8—4,0		85	1,0	
		4,5—8		83	1,0	
		8,5—12		78	2,0	
		Ленты и полосы	Мягкие	30	35	ЦМТУ 512—41
			Полутвердые	43—49	10	
			Твердые	55	5	

§ 3. СПЕЦИАЛЬНЫЕ БРОНЗЫ

Специальные бронзы — это двойные или более сложные сплавы на медной основе, содержащие в качестве добавок алюминий (алюминиевые бронзы), бериллий (бериллиевые бронзы), никель, кремний, марганец, хром и др.

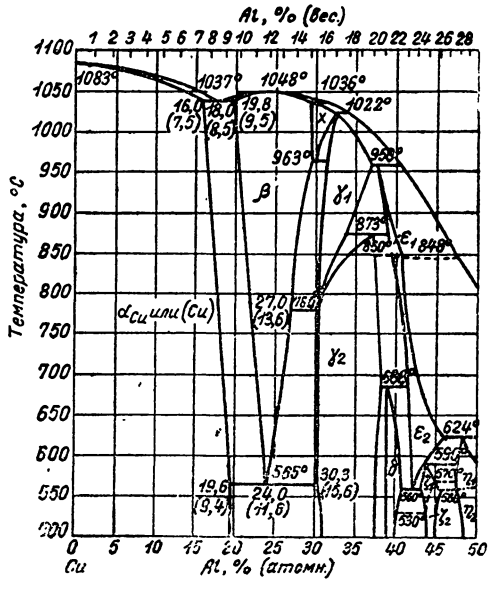
Специальные бронзы, применяемые для обработки давлением, отличаются высокими механическими свойствами и высокой коррозионной стойкостью.

Эти сплавы в большинстве случаев отлично переносят горячую и холодную обработку давлением и широко распространены в промышленности.

1. Алюминиевые бронзы

На рис. 23 показана диаграмма состояния системы медь—алюминий, из которой видно, что область твердого α-раствора при 570° простирается до 9,4% концентрации алюминия. Однофазные сплавы отличаются высокой пластичностью и отличной обрабатываемостью давлением. Двухфазные сплавы (с повышенным содержанием алюминия) отличаются повышенной прочностью и твердостью, но имеют пониженную вязкость в холодном состоянии. Алюминиевые бронзы весьма жидкотекучи и не склонны к ликвации. Они морозостойки, немагнитны и не дают искры при ударах.

Отрицательными свойствами этих сплавов является то, что они трудно поддаются пайке и лужению мягкими и твердыми припоями, недостаточно устойчивы в условиях перегретого пара и имеют повышенную объемную усадку.


Al, % (вес.)
Температура, °С
Al, % (атомн.)
Cu
1083°
1037°
1048°
1036°
1022°
963°
958°
873°
850°
848°
1565°
624°
559°
548°
548°
548

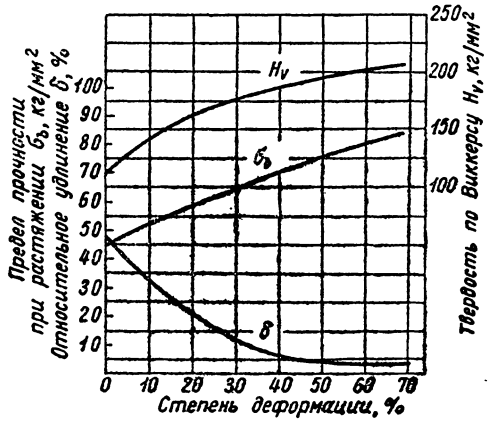


Рис 24 Изменение механических свойств бронзы Бр А5 в зависимости от степени деформации Исходный материал: лента мягкая, толщиной 1 *мм*

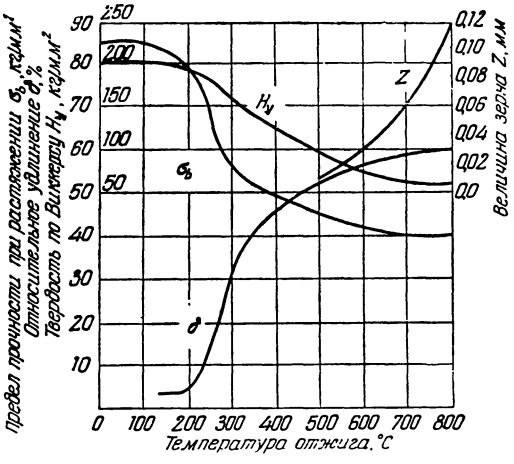
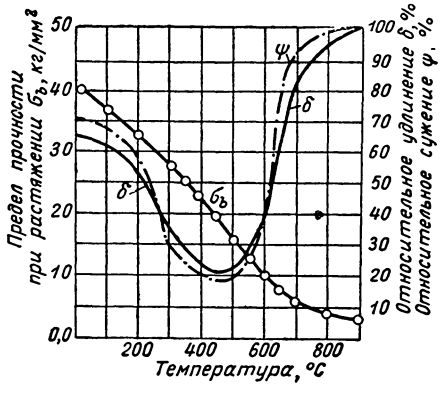


Рис. 25. Изменение механических свойств бронзы Бр.А5 в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: лента твердая толщиной 0,5 *мм*



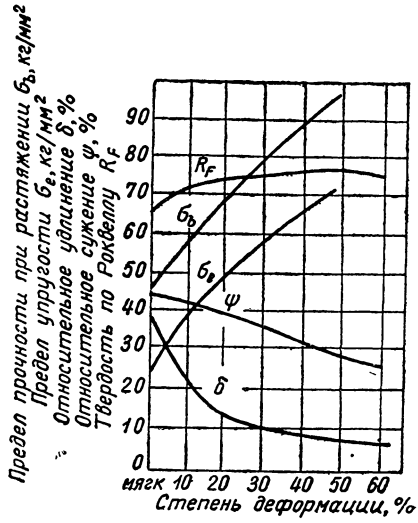


Рис 27. Изменение механических свойств бронзы Бр.А7 в зависимости от степени деформации Исходный материал: прутки мягкие диаметром 25 *мм* с величиной зерна 0,07 *мм*

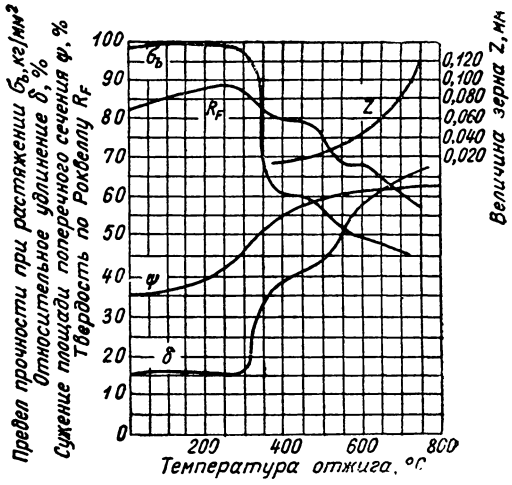


Рис 28 Изменение механических свойств бронзы Бр.А7 в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 1 час Исходный материал: прутки диаметром 25 *мм* с величиной зерна 0,07 *мм*, деформированные на 50%

Рис. 26. Изменение механических свойств бронзы Бр.А5 при высоких температурах

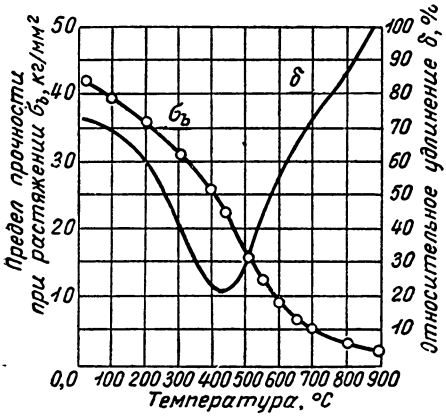


Рис 29. Механические свойства бронзы БрА7 при высоких температурах

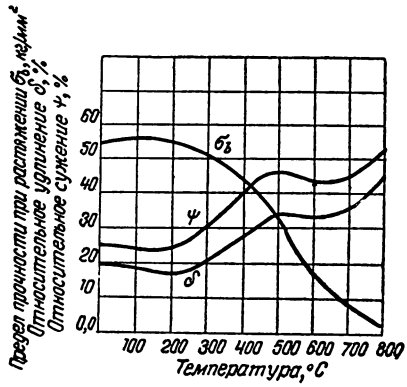


Рис 32 Изменение механических свойств бронзы Бр.АЖ9-4 при высоких температурах

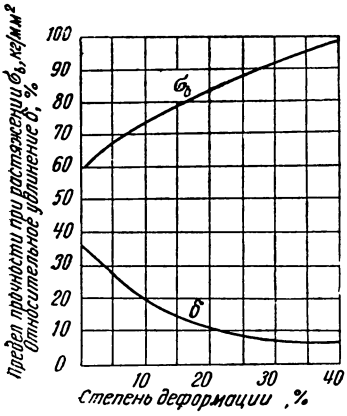


Рис 30 Изменение механических свойств бронзы Бр.АЖ9-4 в зависимости от степени деформации Исходный материал, полосы толщиной 3 *мм* холоднокатаные и отожженные при 800° в течение 1 часа

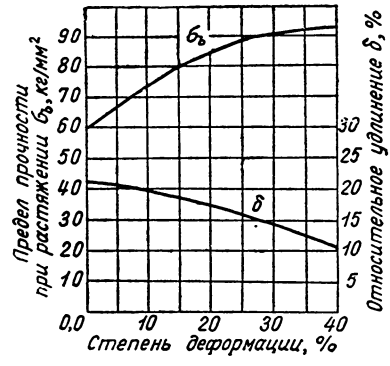


Рис. 33. Изменение механических свойств бронзы Бр АЖМц 10-3-1,5 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: полосы горячекатаные толщиной 3 *мм*

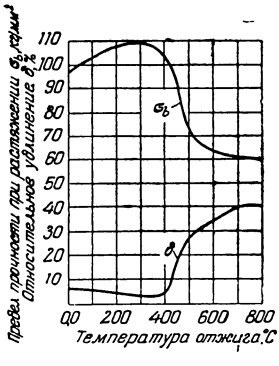


Рис 31. Изменение механических свойств бронзы Бр АЖ9-4 в зависимости от температуры отжига Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: полосы мягкие толщиной 3 *мм*, деформированные на 40%

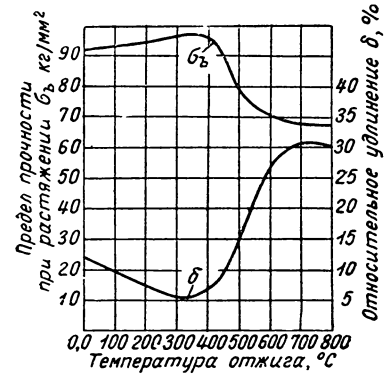


Рис 34 Изменение механических свойств бронзы Бр.АЖМц10-3-1,5 в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: полосы толщиной 3 *мм*, деформированные на 40%

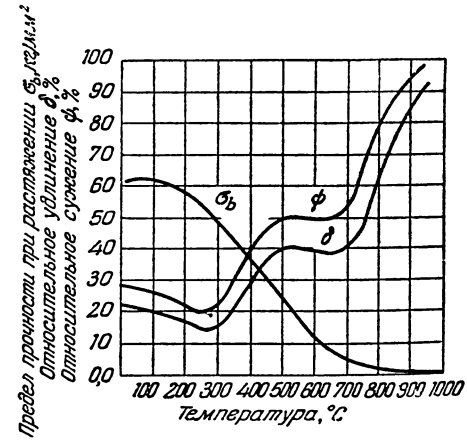


Рис. 35. Изменение механических свойств бронзы Бр.АЖМц10-3-1,5 при высоких температурах

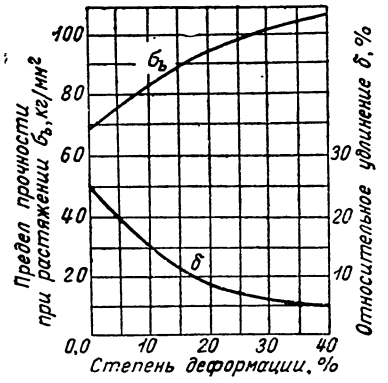


Рис. 36 Изменение механических свойств бронзы Бр АЖН10-4-4 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: полосы толщиной 3 *мм*, отожженные при 800° в течение 1 часа

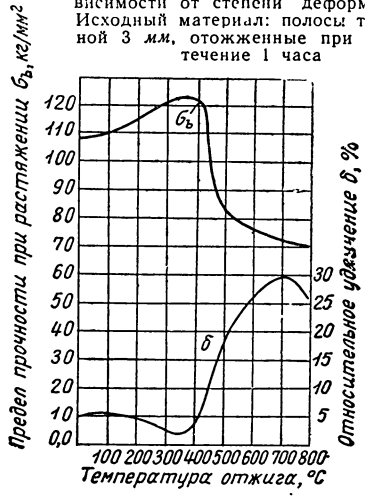


Рис. 37 Изменение механических свойств бронзы Бр АЖН10-4-4 в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал· полосы толщиной 3 *мм*, деформированные на 40%

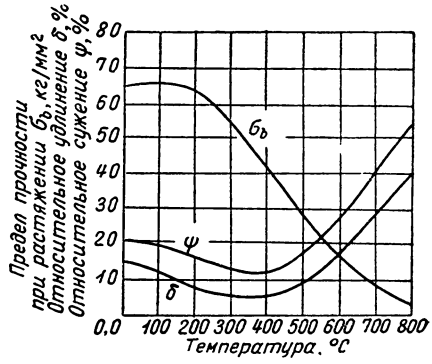


Рис 38. Изменение механических свойств бронзы Бр.АЖН10-4-4 при высоких температурах

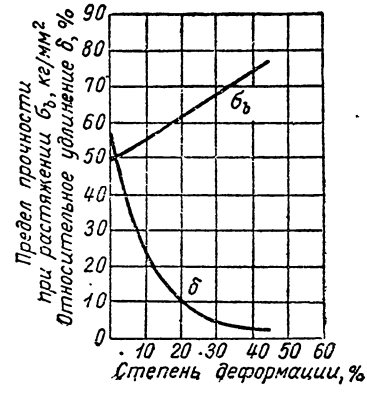


Рис 39. Изменение механических свойств бронзы Бр. А Мц9 2 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: прутки мягкие диаметром 25 *мм*

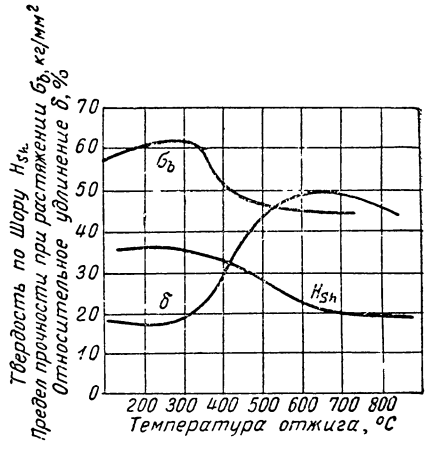


Рис 40. Изменение механических свойств бронзы Бр АМц9-2 в зависимости от температуры отжига Продолжительность отжига 1 час Исходный материал прутки диаметром 25 *мм*, деформированные на 15%

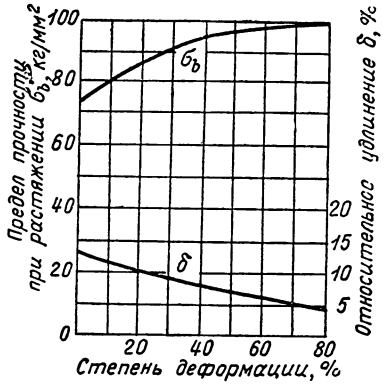


Рис. 41. Изменение механических свойств сплава МНА13-3 (Куниаль А) в зависимости от степени деформации. Исходный материал: полосы горячекатаные

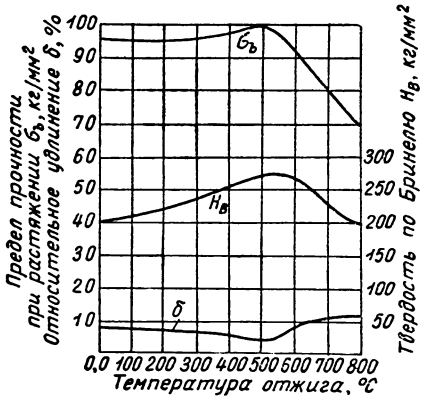


Рис. 42. Изменение механических свойств сплава МНА13-3 (Куниаль А) в зависимости от температуры отжига Продолжительность отжига 1 час Исходный материал: полосы, деформированные на 40%

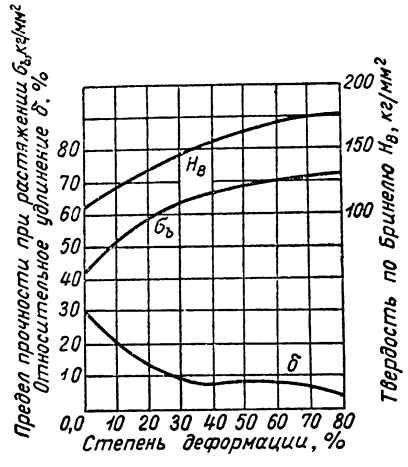


Рис. 43 Изменение механических свойств сплава МНА6-1,5 (Куниаль Б) в зависимости от степени деформации. Исходный материал: полосы горячекатаные

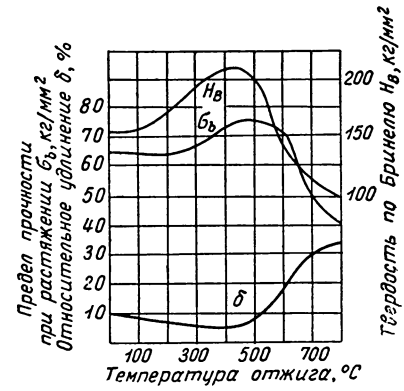


Рис. 44. Изменение механических свойств сплава МНА6-1,5 (Куниаль Б) в зависимости от температуры отжига Продолжительность отжига 1 час Исходный материал: полосы толщиной 3 *мм*, деформированные на 40%

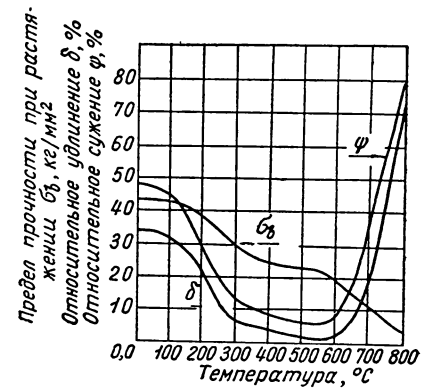


Рис. 45. Изменение механических свойств сплава МНА6-1,5 (Куниаль Б) при высоких температурах

Влияние третьего компонента и примесей

Железо незначительно растворимо в алюминиевых бронзах в твердом состоянии. При повышенном содержании железа, оно выделяется в виде самостоятельной фазы, отвечающей по химическому составу соединению Al_3Fe. Железо положительно влияет на алюминиевые бронзы, способствуя образованию более мелкой структуры и значительно повышая механические свойства. Железо в алюминиевых бронзах парализует явление «самопроизвольного отжига», вызывающего повышенную хрупкость сплава.

Никель ограниченно растворим в алюминиевых бронзах в твердом состоянии. С понижением температуры область твердого α-раствора этой системы под влиянием никеля резко сдвигается в сторону медного угла и поэтому указанные сплавы (куниали) поддаются облагораживанию. Никель весьма значительно повышает прочность, твердость, жаростойкость и коррозионную устойчивость алюминиевых бронз.

Эти бронзы удовлетворительно переносят технологическую обработку давлением и как сплавы высокой прочности широко применяются для изготовления деталей ответственного назначения.

Марганец значительно растворим в алюминиевых бронзах в твердом состоянии.

Марганец оказывает положительное влияние на алюминиевые бронзы, повышая их коррозионную устойчивость. Эти бронзы морозостойки и отлично переносят обработку давлением в горячем и холодном состоянии.

Примеси висмута, сурьмы, мышьяка, свинца, фосфора и серы отрицательно влияют на алюминиевые бронзы, понижая их механические и технологические свойства.

Цинк также отрицательно влияет на алюминиевые бронзы, понижая их технологические и антифрикционные свойства.

Коррозионные свойства алюминиевых бронз

В отношении общей коррозии в атмосферных условиях, морской воде, углекислых растворах, а также в растворах большинством органических кислот (лимонной, уксусной, молочной и др.) алюминиевые бронзы весьма устойчивы и значительно превосходят по коррозионной устойчивости сплавы меди с цинком и оловом.

В растворах сернокислых солей, едких щелочей, виннокаменной соли более устойчивыми являются однофазные алюминиевые бронзы с пониженным содержанием алюминия. Концентрированные минеральные кислоты действуют на такие бронзы весьма значительно. Под влиянием алюминия, электропроводность и теплопроводность этих сплавов понижаются, но при этом заметно возрастает жаростойкость, так как окисная пленка, образующаяся на поверхности, предохраняет сплавы от дальнейшего окисления и от воздействия различных коррозионных сред, не оказывающих влияния на окисную пленку.

2. Бериллиевые бронзы

Бериллиевые бронзы обладают рядом весьма ценных свойств, а потому в технике эти сплавы играют большую роль.

Бериллиевые бронзы имеют высокие пределы прочности, упругости, текучести и усталости; отличаются высокой электропроводностью, теплопроводностью, твердостью, износоустойчивостью и обладают высоким

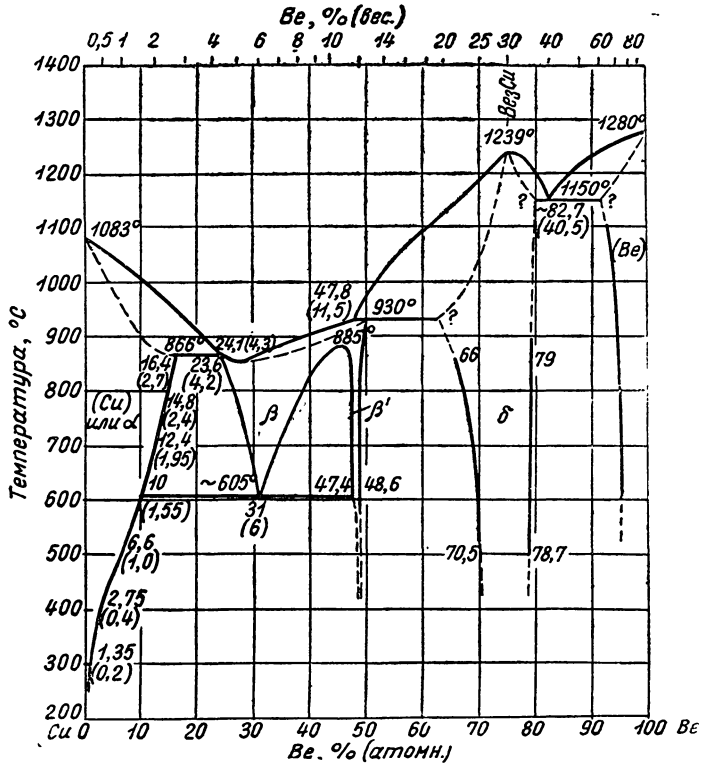


Рис. 46 Диаграмма состояния системы медь—бериллий

сопротивлением ползучести, высокой циклической прочностью при минимальном гистерезисе и высоким сопротивлением коррозии и коррозионной усталости. Эти бронзы являются морозостойкими, они не магнитны и не дают искры при ударах. Поэтому бериллиевые бронзы широко применяют-

ся для изготовления пружин и пружинящих деталей ответственного назначения.

На рис. 46 дана диаграмма состояния системы медь—бериллий со стороны меди. Из диаграммы видно, что медь с бериллием образует ряд твердых растворов. Область твердого α-раствора при 864° достигает

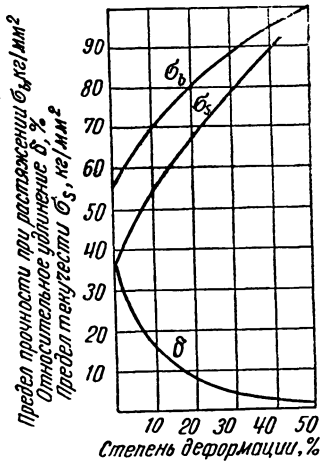


Рис. 47. Изменение механических свойств бериллиевой бронзы Бр.Б2 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: прутки мягкие диаметром 6 *мм*

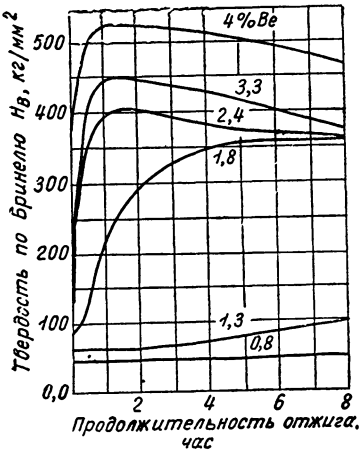


Рис 48 Изменение твердости бериллиевых бронз в зависимости от содержания бериллия и продолжительности отжига при 350°. Исходный материал: полосы холоднодеформированные и закаленные с 780° в воде

2,1% (вес.). По другим источникам, растворимость бериллия в меди при этой температуре достигает 2,75%. С понижением температуры граница растворимости области α-раствора довольно резко сдвигается в сторону меди, что указывает на возможность облагораживания этих сплавов.

Из диаграммы также видно, что в этих сплавах при дисперсионном твердении наиболее эффективную роль бериллий будет играть при содержании его 2,1%.

Фазовые превращения, протекающие в бериллиевой бронзе при термической обработке, сопровождаются значительными объемными изменениями, достигающими 3—9%; это не исключает возможности образования в максимально напряженных местах микротрещин, которые, как и литейные пороки и дефекты при прокатке, могут послужить очагами для образования газовых пузырей при нагреве полуфабрикатов из бериллиевой бронзы под закалку в атмосфере не полностью диссоциированного аммиака, т. е. в присутствии атомного водорода. При повышенных температурах нагрева (~810° и выше) наблюдается характерный брак по пузырям. Поэтому необходимо вести весьма тщательно контроль температуры нагрева под закалку и контроль восстановительной атмосферы печи.

Изменение механических свойств бериллиевой бронзы в зависимости от степени деформации и изменение твердости в зависимости от содержания бериллия и продолжительности отжига приведены на рис. 47 и 48.

Влияние добавок и примесей

Добавки никеля и кобальта к бериллиевой бронзе полезны. Бериллиевые бронзы отличаются тем, что фазовые превращения в них протекают чрезвычайно быстро, поэтому брак бериллиевой бронзы по механическим свойствам часто происходит вследствие недостаточно резкой закалки. Никель заметно замедляет процесс фазовых превращений, что значительно облегчает технологические процессы закалки и облагораживания, так как при этом отпадает необходимость в крайне высоких скоростях охлаждения. Это обстоятельство приобретает особо важное значение при термической обработке более крупных деталей из бериллиевой бронзы, при которой невозможно осуществить мгновенную закалку. Кроме того, никель задерживает рекристаллизацию бериллиевой бронзы и способствует до некоторой степени получению более однородной структуры с достаточно равномерным распределением β-фазы.

Однако содержание никеля в бериллиевой бронзе необходимо строго дозировать (допуская в пределах 0,15—0,30%), так как повышенное содержание никеля оказывает отрицательное влияние на бериллиевую бронзу: никель смещает границу растворимости области твердого α-раствора в системе медь—бериллий в сторону меди. Кроме того, никель связывает часть бериллия, образуя с ним соединения (бериллиды), что уменьшает эффективность добавки бериллия к сплаву.

Примеси железа, алюминия и кремния, а также фосфора и магния оказывают отрицательное влияние на свойства бериллиевой бронзы. Примеси свинца, висмута и сурьмы являются весьма вредными.

Коррозионные свойства бериллиевой бронзы

Бериллиевая бронза является весьма устойчивой в различных атмосферных условиях. При высоких температурах бериллиевая бронза окисляется в меньшей степени, чем медь и сплавы на медной основе. Бериллиевая бронза весьма устойчива в пресной и морской воде и более стойка, чем медь, против ударной коррозии.

Бериллиевая бронза мало склонна к межкристаллитной коррозии, однако в напряженном состоянии при воздействии влажного аммиака и воздуха она подвергается коррозионному растрескиванию. Газы (галогены) при повышенных температурах вызывают избирательную коррозию бериллиевой бронзы, окисляя главным образом составляющую, обогащенную бериллием.

3. Кремнистые бронзы

Наиболее распространенными являются кремнистые бронзы с добавками марганца и никеля. Эти сплавы имеют высокие механические, коррозионные и антифрикционные

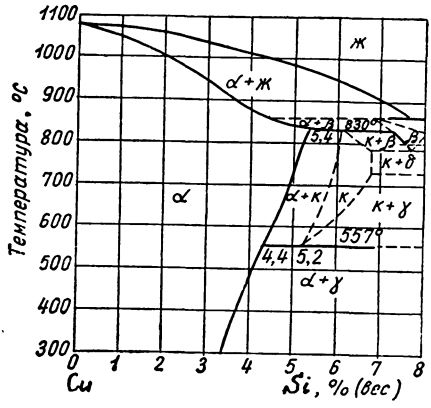


Рис. 49. Диаграмма состояния системы медь — кремний. Сторона меди (А. П. Смирягин, 1945 г.)

свойства, отлично свариваются и паяются, немагнитны, не дают искры при ударах и не теряют своих свойств при низких температурах.

Кремнистые бронзы отлично переносят обработку давлением как в горячем, так и в холодном состоянии.

На рис. 49 показана диаграмма состояния системы медь—кремний со стороны меди. Из диаграммы видно, что граница области твердого α-раствора при 830° достигает 5,4% (вес.) кремния и с понижением температуры заметно сдвигается в сторону меди. α-фаза имеет кубическую гранецентрированную решетку с параметром $a = [3{,}6077 + 0{,}00065 \times A]$ Å, где A — концентрация кремния, % (атомн.). Правее границы насыщения α-фазы появляется новая κ-фаза, кристаллы которой имеют гексагональную структуру, с плотной упаковкой атомов и постоянной решетки $a \sim 2{,}5550$ Å и $c \approx 1{,}6344$ Å. Отличительной особенностью κ-фазы является то, что она поляризуется, т. е. в поляризованном свете при вращении предметного столика микроскопа она резко изменяет окраску от светлого до темно-коричневого цвета. При 557° происходит фазовое превращение по реакции $\kappa \rightarrow \alpha + \gamma$. Характер диаграммы указывает на возможность облагораживания ряда сплавов этой

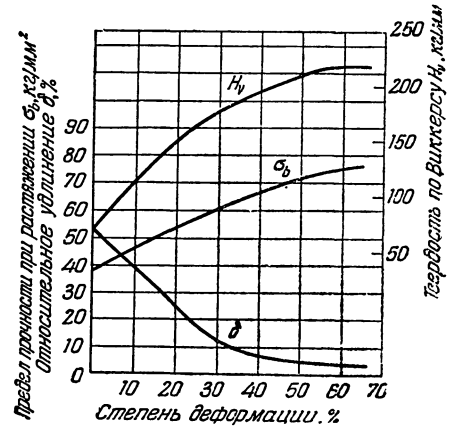


Рис. 50. Изменение механических свойств бронзы Бр КМц3-1 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: лента мягкая толщиной 1 *мм*

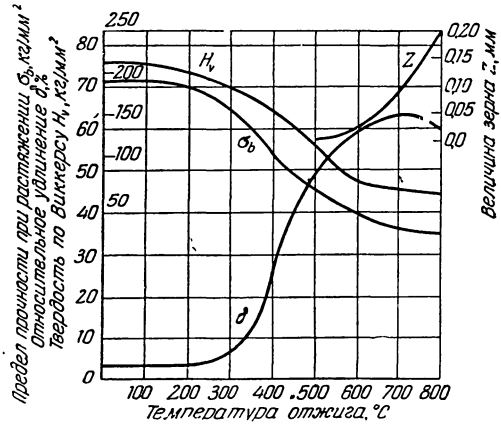


Рис. 51. Изменение механических свойств бронзы Бр.КМц3-1 в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: лента толщиной 1 *мм*, деформированная на 50%

системы, однако эффект дисперсионного твердения в этих сплавах, например в бронзе Бр.КЗ, выражен настолько слабо, что не получил практического применения.

На диаграммах рис. 50—56 показаны механические свойства кремнистых бронз в различных состояниях.

Влияние добавок и примесей

Марганец является полезной добавкой, так как он улучшает механические, технологические и коррозионные свойства крем-

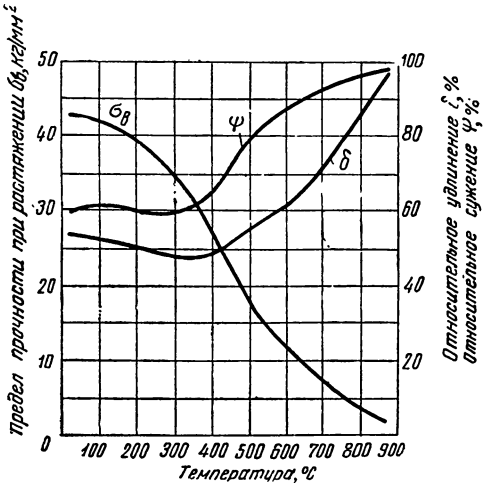


Рис. 52. Изменение механических свойств бронзы Бр.КМц3-1 при высоких температурах. Исходный материал: прутки мягкие диаметром 12 *мм*

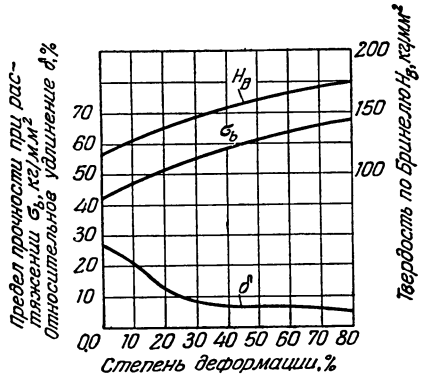


Рис. 53. Изменение механических свойств бронзы Бр.КН1-3 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: полосы горячекатаные

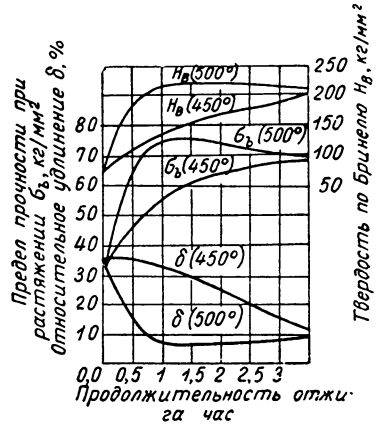


Рис. 54. Изменение механических свойств бронзы Бр КН1-3 в зависимости от продолжительности отжига при 450 и 500°. Исходный материал: прутки прессованные и закаленные с 860° в воде

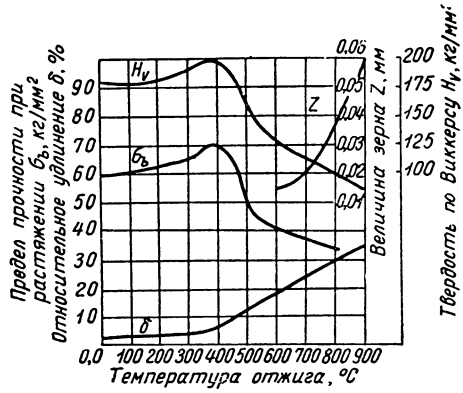


Рис. 55. Изменение механических свойств бронзы Бр.КН1-3 в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: полосы мягкие толщиной 2 *мм*, деформированные на 70%

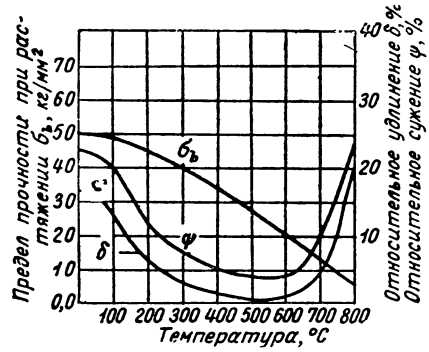


Рис. 56. Изменение механических свойств бронзы Бр.КН1-3 при высоких температурах

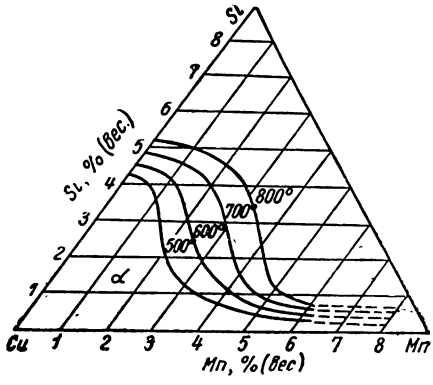


Рис. 57. Диаграмма состояния тройной системы медь — кремний — марганец. Изотермы насыщения области твердого раствора медного угла (А. П. Смирягин)

нистых бронз. На рис. 57 показана диаграмма состояния тройной системы Cu—Si—Mn со стороны медного угла.

Из диаграммы видно, что α-фаза при высоких температурах занимает довольно большую область. С понижением температуры граница области α довольно резко

сдвигается в сторону медного угла за счет выделения новой фазы — Mn_2Si. Однако эффект облагораживания здесь, как и в двойных сплавах меди с кремнием, выражен крайне слабо, а потому промышленные кремнистомарганцевые бронзы, например бронзу Бр.КМц3-1, не подвергают облагораживанию, так как оно не имеет практического значения.

Никель является весьма полезной добавкой, так как под его влиянием весьма сильно повышаются механические свойства кремнистых бронз.

На рис. 58 показан псевдобинарный разрез Cu—Ni_2Si тройной диаграммы Cu—Ni—Si. Из диаграммы видно, что кремний с

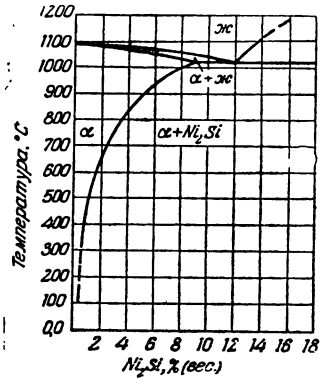


Рис. 58 Псевдобинарный разрез Cu—Ni_2Si тройной системы медь—никель—кремний. Границы области твердого α раствора

никелем образует интерметаллическое соединение Ni_2Si — силицид никеля, растворимость которого при температуре эвтектики достигает ~9%. С понижением температуры граница растворимости α-области сдвигается в сторону меди почти до нуля одновременно с выделением дисперсных силицидов никеля, обусловливающих упрочнение этих сплавов.

Кобальт и хром влияют на кремнистые бронзы в том же направлении, как и никель, однако эффект упрочнения под влиянием силицидов кобальта и хрома в этом случае получается значительно слабее, вследствие чего данные сплавы не получили широкого распространения.

Олово при содержании его до 0,5% заметно повышает коррозионные свойства кремнистых бронз, что указывает на рациональность применения таких сплавов.

Железо отрицательно влияет на кремнистые бронзы. Содержание железа в кремнистых бронзах, обрабатываемых давлением, не следует допускать выше 0,2—0,3%, так как при повышенном содержании железа последнее выделяется в виде самостоятельной фазы, что заметно снижает коррозионную стойкость данных сплавов.

Цинк оказывает положительное влияние и допускается в кремнистых бронзах в количестве от 0,5 до 1%, так как в присутствии цинка значительно облегчается процесс изготовления (при плавке) этих сплавов.

Свинец является весьма вредной примесью: под влиянием свинца кремнистые бронзы легко разрушаются при горячей обработке давлением. Поэтому в однофазных кремнистых бронзах, подвергающихся обработке давлением, содержание свинца не должно превышать 0,01%.

Примеси висмута, мышьяка, сурьмы, серы и фосфора являются весьма вредными, и содержание их в кремнистых бронзах должно быть весьма ограниченным (0,002%).

Коррозионные свойства кремнистых бронз

Кремнистые бронзы весьма устойчивы в естественных пресных водах вследствие образования на поверхности прочных защитных пленок. Скорость коррозии увеличивается при повышении температуры (выше 60°) и если в воде присутствуют углекислый газ и кислород. В морской воде кремнистые бронзы весьма устойчивы при скорости потока воды не более 1,5 *м/сек*.

Кислые рудничные воды, содержащие в растворе сернокислую окисную соль железа, являются весьма агрессивными, так как $Fe_2(SO_4)_3$ действует как катодный деполяризатор. Кремнистые бронзы также быстро корродируют в растворах солей хромовых кислот, хлорного железа и др. Эти сплавы удовлетворительно сопротивляются воздействию щелочей за исключением растворов высокой концентрации и при высоких температурах.

Кремнистые бронзы достаточно устойчивы в атмосфере сухих газов: хлора, брома, фтора, фтористого водорода, сероводорода, хлористого водорода, сернистого газа, аммиака и менее устойчивы в этих средах в присутствии влаги.

Светлый отжиг кремнистых бронз рационально производить в парах воды с последующим охлаждением в них же. Тонкие окисные пленки, образующиеся при этом на поверхности полуфабрикатов, легко и быстро удаляются при травлении в 5%-ном водном растворе серной кислоты при комнатной температуре.

Марганцевая и хромовая бронзы

Марганцевая бронза марки Бр.Мц5 обладает достаточно хорошими механическими свойствами и хорошо обрабатывается давлением. Эта бронза достаточно устойчива в коррозионном отношении и отличается повышенной жаропрочностью, поэтому успешно применяется для изготовления деталей, работающих при повышенных температурах.

На диаграммах рис. 59—60 показаны изменения механических свойств марганцевых бронз в зависимости от содержания марганца, степени деформации и температуры отжига.

Хромовая бронза марки Бр.Х0,5, помимо высоких механических и технологических свойств, имеет высокую электропроводность и теплопроводность, а также повышенную

температуру рекристаллизации и размягчения. В связи с указанным эта бронза применяется для изготовления контактов электросварочных аппаратов, коллекторов электродвигателей и всевозможных деталей, работающих при повышенных температурах, где требуется высокая прочность, твердость, электропроводность и теплопроводность.

Из диаграммы состояния системы медь — хром (рис. 61), видно, что хром весьма ограниченно растворим в меди в твердом состоянии.

При температуре эвтектики (1072°) растворимость хрома достигает 0,65%. С понижением температуры граница растворимости твердого α-раствора резко сдвигается в сторону меди и при 400° она равна 0,02%. По характеру диаграммы состояния эти сплавы можно отнести к дисперсионно твердеющим.

Наиболее распространенной является хромовая бронза, содержащая 0,4—1,0% хрома и остальное медь (ЦМТУ 3299—53).

На диаграммах рис. 62—67 показаны изменения механических свойств хромовых

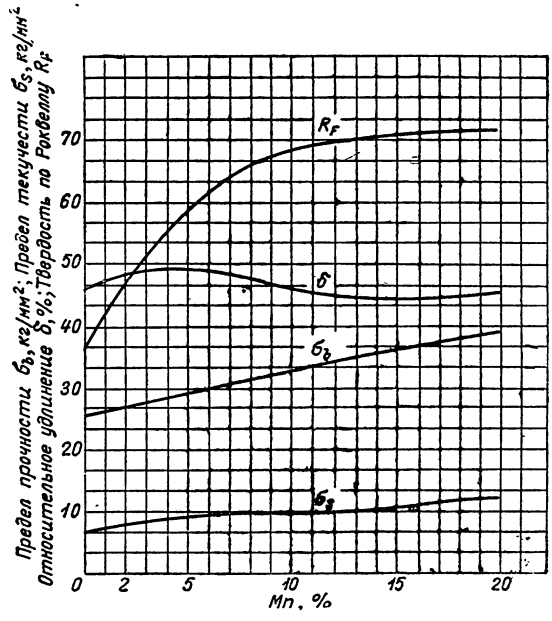


Рис. 59. Изменение механических свойств марганцевых бронз в зависимости от содержания марганца. Исходный материал: листы толщиной 1,5 *мм* деформированные на 60% и отожженные при 650° в течение 1 часа

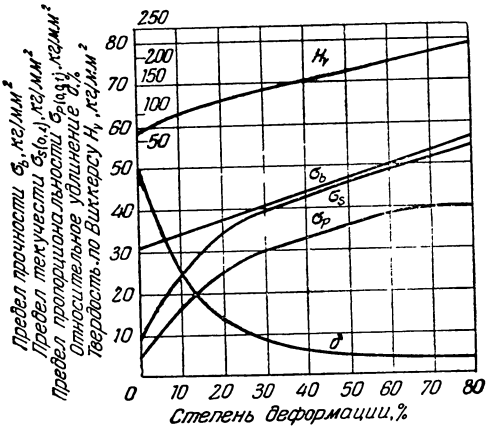


Рис 60. Изменение механических свойств бронзы Бр Мц5 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: полосы толщиной 1,5 *мм*, деформированные на 60% и отожженные при 650° в течение 1 часа

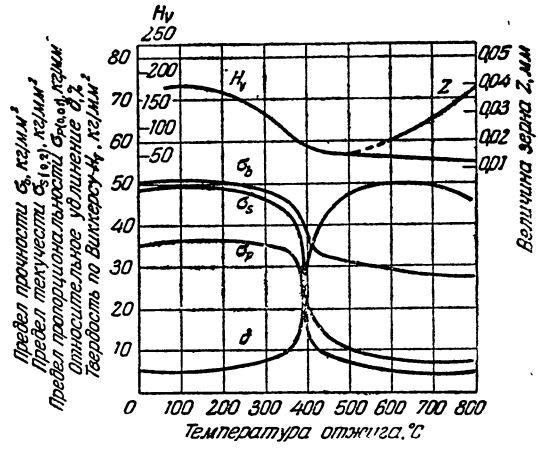


Рис. 60а. Изменение механических свойств бронзы Бр Мц5 в зависимости от температуры отжига. Исходный материал: полосы толщиной 1,5 *мм*, деформированные на 60%

Примеси серебра в количестве около 0,2% благоприятно влияют на хромовые бронзы, заметно повышая температуру их размягчения, но не оказывают влияния на механические свойства.

Примеси свинца, висмута и сурьмы являются вредными, так как резко снижают технологические свойства этих сплавов.

бронз и электропроводности в зависимости от состояния.

В табл. 24—27 приведены состав, механические, физико-химические и технологические свойства специальных бронз.

В табл. 28—31 приведены механические свойства полуфабрикатов из специальных бронз.

Химический состав и примерное назначение специальных

Наименование	Марка	Химический								
		основные компоненты								
		алюминий	железо	марганец	никель	кремний	бериллий	хром	кадмий	медь
Бронза алюминиевая	БрА5	4÷6	—	—	—	—	—	—	—	Ост
Бронза алюминиевая	БрА7	6—8	—	—	—	—	—	—	—	»
Бронза алюминиевомарганцевая	БрАМц 9-2	8—10	—	1,5—2,5	—	—	—	—	—	»
Бронза алюминиевожелезная	БрАЖ 9-4	8—10	2—4	—	—	—	—	—	—	»
Бронза алюминиевожелезомарганцевая	БрАЖМц 10-3-1,5	9—11	2—4	1—2	—	—	—	—	—	»
Бронза алюминиевожелезоникелевая	БрАЖН 10-4-4	9,5—11	3,5—5,5	—	3,5—5,5	—	—	—	—	»
Бронза алюминиевоникелевая (куниаль А)	МНА13-3	2,3—3,0	—	—	12,0—15,0	—	—	—	—	»
Бронза алюминиевоникелевая (куниаль Б	МНА6-1,5	1,2—1,8	—	—	5,5—6,5	—	—	—	—	»
Бронза марганцевая	БрМц5	—	—	4,5—5,5	—	—	—	—	—	»
Бронза никелевожелезная	МНЖ5-1	—	1,0—1,4	0,3—0,8	5—6,5	—	—	—	—	»
Бронза кремниевомарганцевая	БрКМц 3-1	—	—	1—1,5	—	2,75—3,5	—	—	—	»
Бронза кремниевоникелевая	БрКН1-3	—	—	0,1—0,4	2,4—3,4	0,6—1,1	—	—	—	»
Бронза бериллиевая	БрБ2	—	—	—	0,2—0,5	—	1,9—2,2	—	—	»
Бронза бериллиевая	БрБ2,5	—	—	—	0,2—0,5	—	2,3—2,6	—	—	»
Бронза кадмиевая	БрКд1	—	—	—	—	—	—	—	0,9—1,2	»
Бронза хромовая	БрХ0,5	—	—	—	—	—	—	0,4—1,0	—	»

Примечания: 1. В бронзе марки Бр.А5, идущей для изготовления монетной ленты, пределы по содержанию алюминия устанавливаются 4,5—5,5%

2. Допускается в бронзе марки Бр.АЖН10-4-4, обрабатываемой давлением, содержание алюминия до 11,5%, при этом содержание железа и никеля должно быть не менее 4% каждого.

3. Химический состав куниалей А и Б дан по ГОСТ 492—52.

4. Химический состав бронзы МНЖ5-1 дан по ТУЦМО 1159—57.

Таблица 24

бронз обрабатываемых давлением, по ГОСТ 493—54

состав, %												
примеси (не более)												Примерное назначение
мышьяк	сурьма	олово	кремний	алюминий	никель	свинец	фосфор	железо	цинк	марганец	всего	
0,01	0,002	0,1	0,1	—	0,5	0,03	0,01	0,5	0,5	0,5	1,6	Ленты, полосы
0,01	0,002	0,1	0,1	—	0,5	0,03	0,01	,5	0,5	0,5	1,6	Ленты, полосы
0,01	0,002	0,1	0,1	—	0,5	0,03	0,01	0,5	1,0	—	1,7	Прутки, полосы, ленты
0,01	0,002	0,1	0,1	—	0,5	0,02	0,01	—	1,0	0,5	1,7	Прутки, поковки
0,01	0,002	0,1	0,1	—	0,5	0,03	0,01	—	0,5	—	0,75	Прутки, трубы, поковки
0,01	0,002	0,1	0,1	—	—	0,02	0,01	—	0,3	0,3	0,8	Прутки, трубы, поковки
—	—	—	—	—	—	0,002	—	1,0	—	0,5	1,9	Прутки (по ГОСТ 492—52)
—	—	—	—	—	—	0,002	—	0,5	—	0,2	1,1	Полосы (по ГОСТ 492—52)
0,01	0,002	0,1	0,1	—	0,5	0,03	0,01	0,35	0,4	—	0,9	Листы, поковки
—	—	—	—	—	Цинк 0,5	0,005	—	—	Углерод 0,03	—	0,7	Листы, трубы
0,002	0,002	0,25	—	—	0,2	0,03	0,05	0,3	0,5	—	1,1	Проволока, полосы, ленты, прутки
—	—	0,1	—	0,02	—	0,05	0,01	0,1	0,1	—	0,4	Прутки, поковки
—	—	—	0,15	0,15	—	0,005	—	0,15	—	—	0,5	Ленты, полосы, прутки, проволока
—	—	—	0,15	0,15	—	0,005	—	0,15	—	—	0,5	Ленты, полосы, прутки, проволока
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Прутки, полосы
—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,01	—	0,3	Прутки, полосы

5. Химический состав бронзы кадмиевой дан по ГОСТ 4134—48.

6. Химический состав бронзы хромовой дан по ЦМТУ 3299—53.

7. Примеси, не перечисленные в этой таблице, учитываются в общей сумме примесей.

8. Содержание цинка в сплаве Бр.АЖМц10-3-1,5 допускается до 1%, когда данный сплав не применяется как антифрикционный, причем общая сумма примесей в этом случае допускается до 1,25%.

Таблица 25

Физические свойства специальных бронз, обрабатываемых давлением

Марка сплава	Верхняя критическая точка, °С	Плотность	Коэффициент линейного расширения $\alpha_{20-100^\circ} \cdot 10^6$	Теплопроводность, *кал/см сек °С*	Удельное электрическое сопротивление, *ом мм²/м*	Температурный коэффициент электросопротивления α_{20-100°
БрА5	1060	8,2	18,0	0,25	0,10	0,0016
БрА7	1040	7,8	17,8	0,19	0,11	0,001
БрАМц9-2	1060	7,6	17,0	0,17	0,11	—
БрАЖ9-4	1040	7,5	16,2	0,14	0,12	—
БрАЖМц10-3-1,5	1045	7,5	16,1	0,14	0,189	—
БрАЖН10-4-4	1084	7,46	17,1	0,18	0,193	—
Куниаль А (МНА13-3)	1183	8,5	—	—	—	—
Куниаль Б (МНА6-1,5)	1140	8,7	—	—	—	—
БрМц5	1047	8,6	20,4	0,26	0,197	0,0003
БрКМц3-1	1025	8,4	15,8	0,11	0,15	—
БрКН1-3	1084	8,85	18,0	—	0,046	—
БрБ2 и БрБ2,5	955	8,23	16,6	0,20*—0,25²*	0,1*—0.068²*	—
БрКд1	1076	8,9	17,6	0,82	0,0207	0,0031
БрХ0,5	1080	8,9	17,6	0,80²*	0,03³*— 0,019²*	0,0023³*— 0,0033²*

* Закаленный.
²* Облагороженный.
³* Деформированный.

Таблица 26

Технологические характеристики специальных бронз, обрабатываемых давлением

Марка сплава	Температура литья °С	Температура горячей обработки °С	Температура отжига °С	Обрабатываемость резанием %	Жидкотекучесть *см*	Линейная усадка %
БрА5	1150—1190	830—880	600—700	20	101	2,49
БрА7	1140—1160	830—880	650—750	20	80	—
БрАМц9-2	1120—1150	800—850	650—750	20	48	1,7
БрАЖ9-4	1120—1150	750—850	700—750	20	70	2,49
БрАЖМц 10-3-1,5	1120—1150	775—825	650—750	20	70	2,4
БрАЖН10-4-4	1120—1200	850—900	700—750	20	66—85	1,8
Куниаль А (МНА13-3)	1250—1300	900—1000	900 (закалка) 500 (отпуск)	—	—	—
Куниаль Б (МНА6-1,5)	1200—1250	850—900	900 (закалка) 500 (отпуск)	—	—	—
БрМц5	1110—1130	800—850	700—750	20	25	1,96
БрКМц3-1	1080—1100	800—850	700—750	30	—	1,6
БрКН1-3	1170—1200	890—910	850 (закалка) 450 (отпуск)	—	—	—
БрБ-2 и БрБ-2,5	1050—1160	760—800	780 (закалка) 320 (отпуск)	20 (не термообработанный)	—	—
БрКд1	1150	780—800	—	20	—	—
БрХ0,5	1120—1150	900—950	950—1000 (закалка) 400—450 (отпуск)	20	—	—

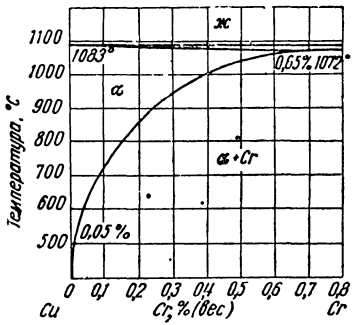


Рис. 61. Граница твердого α раствора в системе медь—хром

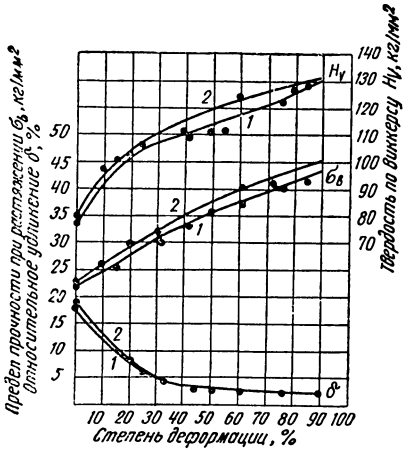


Рис. 62. Изменение механических свойств хромовых бронз в зависимости от степени деформации:
1 — 0,43% Cr, Cu — ост.; *2* — 0,44% Cr, 0,16% Ag, остальное Cu

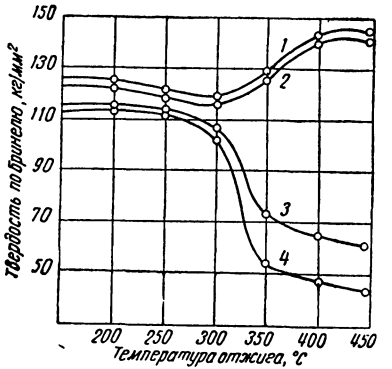


Рис. 63. Изменение твердости хромовых бронз в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 2 час. Исходный материал: полосы, деформированные на 75%:
1 — 0,44% Cr, 0,16% Ag, остальное Cu; *2* — 0,43% Cr, остальное Cu: *3* — 1% Cd, остальное Cu; *4* — медь **М1**

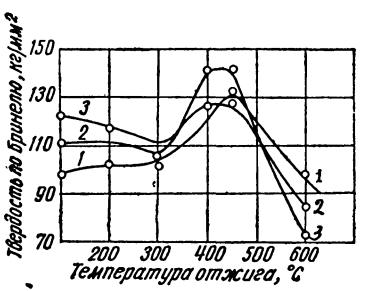


Рис. 64. Изменение твердости хромовых бронз (0,52% Cr) в зависимости от температуры отжига и степени деформации: *1* — степень деформации 25%; *2* — то же, 50%; *3* — то же, 75%

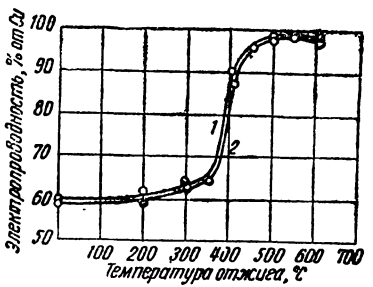


Рис. 65. Изменение электропроводности хромовых бронз в зависимости от температуры отжига:
1 — 0,52% Cr, остальное Cu; *2* — 0,40% Cr, 0,18% Ag, остальное Cu

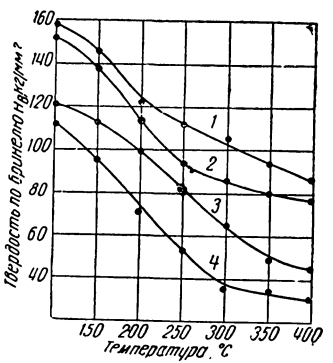


Рис. 66. Изменение твердости хромовых бронз при повышенных температурах:
1 — бронза хромовая (0,57% Cr, 0,2% Ag); *2* — бронза, хромовая (0,58% Cr, остальное Cu); *3* — бронза кадмиевая (1% Cd, остальное Cu); *4* — медь коллекторная М1

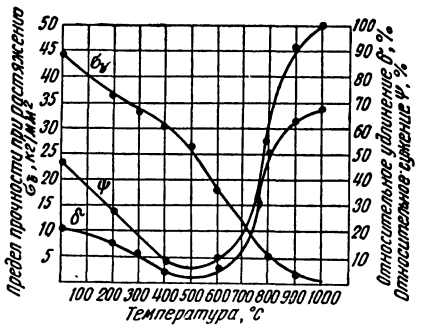


Рис. 67. Изменение механических свойств хромовой бронзы (0,57% Cr, 0,2% Ag, остальное Cu) при высоких температурах

Механические свойства специальных

Марка сплава	Модуль нормальной упругости *кг/мм²*	Предел прочности при растяжении *кг/мм²*	Предел текучести *кг/мм²*	Предел упругости *кг/мм²*	Относительное удлинение %
БрА5	12000	38 / 75	16 / 54	13 / 50	65 / 5
БрА7	12000	47 / 98	25 / —	10 / 70	70 / 3
БрАМц9-2	9200	45 / 60—80	— / 30—50	—	20—40 / 4—5
БрАЖ9-4	11600	50—60 / 80—100	20 / 35	11 / —	40 / 5
БрАЖМц10-3-1,5	10000	50—60 / 70—90	21 / —	—	20—30 / 9—12
БрАЖН10-4-4	11500	60—70 / 90—110	33 / 55—60	—	35—45 / 9—15
Куниаль А (МНА13-3)	—	38 / 90—95	—	—	—
Куниаль Б (МНА6-1,5)	—	36—45 / 65—75	8 / —	—	30—40 / 4
БрМц5	10500	30 / 50—60	8 / 45	5 / 35	40 / 2
БрМН95-5	—	23 / 42	— / 37	—	55 / 7
БрКМц3-1	10500	35—40 / 65—75	14 / 65	12 / 6	50—60 / 1—5
БрКН1-3	—	— / 60	— / 52	— / 45	— / 8
БрБ2	13000	50 / 125	25 / 115	16—18 / 70	35 / 2—4
БрБ2,5	13500	58 / 135	30 / 120	19 / 75	25 / 1—2
БрКд1	12600	25—28 / 40—60	8 / 35	—	40—55 / 1,5—6
БрХ0,5	11900—13800	23 / 48	— / 40	—	30 / 11

Примечание. В числителе даны цифры, относящиеся к мягкому состоянию (для МНА6-1,5 В знаменателе — к твердому (после деформации на 50%).

Для куниалей А и Б, бериллиевых бронз БрБ2 и БрБ2,5 и хромовой бронзы цифры

Таблица 27

бронз, обрабатываемых давлением

Относительное сужение (мягкая) %	Ударная вязкость с надрезом (мягкая) *кгм/см²*	Твердость по Бринелю *кг/мм²*	Коэффициент трения		Коррозионная стойкость (потеря в весе) *г/м²·сутки*	
			со смазкой	без смазки	в морской воде	в 10%-ном растворе H_2SO_4
75	11,0	60 / 200	0,007	0,30	0,55	1,2
75	15	70 / —	0,012	—	—	—
35	9	80—100 / 160—180	0,006	0,18	0,25	—
30	6—7	110 / 160—200	0,004	0,18	0,25	0,40
55	6—8	125—140 / 160—200	0,012	0,21	0,2—0,25	0,7
45	3—4	140 / 180—200	0,011	0,23	0,18	0,58
—	5,5	75 / 220	—	—	—	—
80	12	70—90 / 200	—	—	—	—
50	20	80 / 160	0,013	0,7	—	3,0
70	—	40 / 115	—	—	—	—
75	13—17	80 / 180	0,013	0,4	—	—
28	4—10	— / 150—200	0,017	0,45	—	—
—	14,3	100 / 330	0,016—0,05	—	0,22	—
—	7,2	130 / 360	—	—	0,22	—
—	—	60 / 95—115	—	—	—	—
40	—	50—70 / 130—150	—	—	—	—

МНА13-3, КН1-3, Б2 и Б2,5 — после закалки; для прочих сплавов — после отжига. См. табл. 26).

в знаменателе относятся к состоянию после облагораживания.

Таблица 28.

Механические свойства полуфабрикатов из специальных бронз

Наименование	Марка	Вид изделия	Состояние материала	Предел прочности при растяжении, кг/мм² (не менее)	Относительное удлинение, % (не менее)	Твердость по Бринелю, кг/мм²	ГОСТ или ТУ
Бронза алюминиевая	Бр. А5	Ленты	Твердые	60	2,5	—	ЦМТУ 4531—54
	Бр. А7	Ленты	Твердые	65	5	—	ГОСТ 1048—49
			Термически обработанные	60	10	—	ГОСТ 1048—49
Бронза алюминиевомарганцевая	Бр. АМц9-2	Полосы и ленты	Холоднокатанные: мягкие	45	18	—	ГОСТ 1595—47
			твердые	60	5	—	ГОСТ 1595—47
			Горячекатаные	45	15	—	—
		Прутки диам., мм: 25—45	Прессованные	50	15	—	ГОСТ 1628—48
		50—120		48	20		ГОСТ 1628—48
		Прутки диам., мм: 5—22	Тянутые	55	12	—	ГОСТ 1628—48
		25—30		55	15		ГОСТ 1628—48
Бронза алюминиевожелезная	Бр. АЖ9-4	Прутки диам. 16—120 мм	Прессованные	55	15	110—180	ГОСТ 1628—48
Бронза алюминиевожелезомарганцевая	Бр. АЖМц 10-3-1,5	Прутки диам. 16—120 мм	Прессованные	60	12	129—171	ГОСТ 1628—48
		Трубы		60	12	129—171	ГОСТ 1208—54
Бронза алюминиевожелезоникелевая	Бр. АЖН 10-4-4	Прутки диам. 30—120 мм	Прессованные	65	5	170—220	ГОСТ 1628—48
		Трубы		65	5	170—220	ГОСТ 1208—54
		Прутки		65	5	160	ЦМТУ 3008—51
Куниаль А	МНА13-3	Прутки	Прессованные	70	7	—	ЦМТУ 3443—53
Куниаль Б	МНА6-1,5	Ленты и полосы	Твердые	55	3	—	МПТУ 4146—53
Бронза никелевая	Бр.МНЖ5-1	Трубы	Тянутые мягкие	26	30	—	ТУ 962-3449—57 КВ 105—57

Продолжение табл. 28

Наименование	Марка	Вид изделия	Состояние материала	Предел прочности при растяжении, *кг/мм²* (не менее)	Относительное удлинение, % (не менее)	Твердость по Бринелю, *кг/мм²*	ГОСТ или ТУ
Бронза кремнистомарганцевая	Бр. КМц3-1	Полосы	Мягкие	35	45	—	ГОСТ 4748—49
			Твердые	65	5	—	
			Особотвердые	70	2	—	
		Ленты	Мягкие	38	45	—	ГОСТ 4748—49
			Твердые	65	5	—	
			Особотвердые	75	2	—	
		Прутки диам., *мм*:	Тянутые				ГОСТ 1628—48
		5—12		50	10	—	
		14—30		48	15	—	
		Прутки диам. 30—100 *мм*	Катаные	40	15	—	
		Проволока диам., *мм*:	Твердая				ГОСТ 5222—50
		0,1— 2,6		90	0,5	—	
		2,8— 4,2		85	1,0	—	
		4,5— 8,0		83	1,5	—	
		8,5—10,0		78	2,0	—	

Таблица 29

Механические свойства полос и лент из бериллиевой бронзы марки Бр. Б2,5 (по ГОСТ 1789—50

Толщина изделия *мм*	Состояние материала	Предел прочности при растяжении *кг/мм²* (не менее)	Относительное удлинение % (не менее)	Суппер роквелл, шкала 15 *T*	Суппер роквелл, шкала 15 *N* (не менее)	Глубина выдавливания по Эриксену *мм* (не менее)
0,15—0,25	Мягкие	—	—	—	—	6
0,30—1,65	»	40—60	25	Не более 83	—	7
0,15—0,25	Твердые	—	—	—	—	3
0,30—1,65	»	70	1,5	Не менее 86	—	3
0,30—0,50	Облагороженные	120	1,0	—	76,5	—
0,55—1,65	То же	120	1,0	—	79	—

Таблица 30

Механические свойства полуфабрикатов из бериллиевой бронзы марки Бр.Б2

Вид изделия	Состояние материала	Предел прочности при растяжении *кг/мм²*	Относительное удлинение (не менее), %	Твердость: Супер-роквелл, шкала 15 *T*	Твердость: Роквелл, шкала *B*	Твердость: Бринель *кг/мм²*	Глубина выдавливания, *мм*, при радиусе пуансона 10 *мм* (не менее)	Электросопротивление, *ом · мм²/м*	ГОСТ или ТУ
Полосы и ленты толщиной, *мм*:	Мягкие								
0,10—0,50		—	—	—	—	—	6	—	ГОСТ 1789—50
0,55—6,0		30—60	30	Не более 79,5	Не более 55	Не более 100	7	—	
Полосы и ленты толщиной, *мм*:	Твердые								
0,10—0,50		—	—	—	—	—	3	—	
0,55—6,0		Не менее 66	2	Не менее 85	Не менее 74	Не менее 135	3	—	
Прутки	Мягкие	40—60	30	—	—	100	—	—	ЦМТУ 274—41
	Твердые	75—100	1,0	—	—	150	—	—	
	Облагороженные	130—135	0,5	—	—	340—370	—	—	
Проволока диам. *мм*:	Твердая								
0,1—1,0		Не менее 75	—	—	—	—	—	—	ЦТУ 19—58
1,1—2,5		Не менее 75	—	—	—	—	—	—	
2,6—12		Не менее 75	—	—	—	—	—	—	
Проволока диам., *мм*:	Мягкая								
0,1—1,0		40	12	—	—	—	—	—	
1,1—2,5		40	25	—	—	—	—	—	
2,6—12		40	30	—	—	—	—	—	

Таблица 31

Механические свойства полуфабрикатов из специальных бронз

Наименование	Марка	Вид изделия	Состояние материала	Предел прочности при растяжении, *кг/мм²* (не менее)	Относительное удлинение, % (не менее)	Твердость по Бринелю, *кг/мм²*	ГОСТ или ТУ
Бронза кремниево-никелевая	Бр. КН1-3	Прутки диам. 20—80 *мм*	Прессованные	45	12	—	ГОСТ 1628—48
Бронза кадмиевая	Бр. Кд1	Полосы профильные	—	—	—	95	ГОСТ 4134—48
		Прутки	Тянутые	40	—	100	ВТУ ГЦМО 378—48

Продолжение табл. 31

Наименование	Марка	Вид изделия	Состояние материал	Предел прочности при растяжении, кг/мм² (не менее)	Относительное удлинение, % (не менее)	Твердость по Бринелю, кг/мм²	ГОСТ или ТУ
Бронза хромовая	Бр. Х0,5	Прутки диам. 5—20 мм	То же	40	—	55	ЦМТУ 3299—53
		Прутки диам. 30—100 мм	Прессованные	40	—	55	То же
		Полосы	То же	—	—	110	МПТУ 4372—54
Бронза никелевая	МНЖ 5-1	Листы	Катаные	26	30	—	ТУ ЦМО 1159—57

§ 4. МЕДНОЦИНКОВЫЕ СПЛАВЫ (ЛАТУНИ)

Двойные и многокомпонентные латуни из цветных сплавов наиболее распространены в современной промышленности. Эти сплавы обладают достаточно хорошими механическими и технологическими свойствами и высокой стойкостью в отношении общей коррозии.

1. Двойные медноцинковые сплавы

Из диаграммы состояния системы медь — цинк, показанной на рис. 68, видно, что область твердого α-раствора в этой системе при 455° простирается до содержания цинка 39%. С повышением и понижением температуры граница этой области заметно сдвигается в сторону меди.

Все сплавы этой области весьма пластичны и отлично обрабатываются давлением как в горячем, так и в холодном состоянии. Латуни, содержащие более 39% цинка имеют двухфазную структуру α + β или однофазную β-структуру. Такие сплавы имеют повышенную твердость, менее пластичны в холодном состоянии и отлично обрабатываются давлением в горячем состоянии.

В кристаллах твердого α-раствора атомы меди в некоторых узловых точках замещены атомами цинка. Кристаллы α-фазы имеют кубическую гранецентрированную структуру с постоянной решетки $a = 3{,}608$—$3{,}693$ Å.

Кристаллы фазы β и β′ имеют кубическую объемноцентрированную структуру с постоянной решетки $a = 2{,}94$ Å.

Кристаллы γ-фазы имеют кубическую объемноцентрированную структуру с параметром решетки $a = 8{,}83$—$8{,}85$ Å. Наконец кристаллы ε- и η-фаз имеют гексагональную структуру с плотной упаковкой атомов.

Технологические особенности латуней

При изготовлении полуфабрикатов и изделий из латуней необходимо учитывать ряд особенностей, свойственных этим сплавам. При технологических процессах обработки латуней давлением большую роль играет структура сплавов, т. е. величина и форма зерна и состав фаз.

При прокатке, волочении и штамповке с

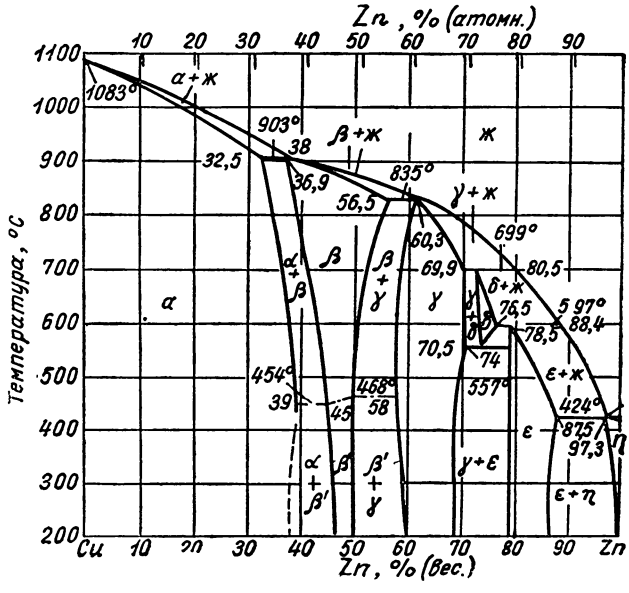


Рис. 68 Диаграмма состояния системы медь — цинк

глубокой вытяжкой предпочтительна мелкокристаллическая структура с величиной зерна менее 0,05 *мм*. Обработка давлением двухфазных латуней протекает с оптимальным эффектом, если α-фаза имеет игольчатую структуру. Латуни же с зернистой структурой α-фазы непригодны к глубоким деформациям. Влияние величины зерна особенно сильно сказывается при обработке латунных листов толщиной менее 0,4 *мм*.

Величина зерна, а следовательно, и свойства латуней находятся в прямой зависимости от температуры и продолжительности отжига и степени деформации. Чем выше температура и продолжительнее время отжига, тем быстрее протекает процесс рекристаллизации и крупнее получается зерно. В то же время, чем выше степень предшествующей холодной деформации, тем мельче получается структура и тем ниже температура начала рекристаллизации. В частности, для получения мелкого зерна в деформированных α-латунях требуется температура отжига 350—450°.

Скорость рекристаллизации в значительной мере зависит от химического состава латуней, т. е. от состава фаз. При отжиге, например, сильно деформированной двухфазной латуни рекристаллизация α-фазы начинается при 300°. Однако β-фаза в этих условиях совершенно не изменяется, и рекристаллизация ее происходит при более высокой температуре. Между тем неполная рекристаллизация отрицательно влияет на пластичность латуней.

Рекристаллизация зависит от характера деформации, в частности, в штампованных изделиях процесс рекристаллизации более сложен.

Особенно сильное влияние на рекристаллизацию латуней оказывают примеси. Примеси железа, никеля и других элементов сильно задерживают скорость рекристаллизации латуней.

Величина зерна в латунях является настолько важным фактором, что контроль качества латунных полуфабрикатов возможно осуществлять только по структуре.

Горячую прокатку латуней, являющихся двухфазными при пониженных температурах и однофазными при высоких, следует вести в зоне температур гомогенной области β-фазы.

При горячем прессовании прутков или труб из латуни часто наблюдается резкое различие в свойствах переднего и заднего концов изделий. Передний конец имеет преимущественно мелкую игольчатую структуру и хорошие механические свойства, а задний конец, вследствие более низкой температуры прессования, — зернистую структуру и пониженные свойства. Неоднородность свойств в прессованных полуфабрикатах, выраженная в резкой форме, может послужить причиной для забраковки.

При прессовании латуней и других сплавов, например алюминиевых бронз, всегда наблюдается одно неприятное явление — прессутяжка, зависящее от характера истечения металла при прессовке и значительно снижающее выход годного. В этом случае для повышения выхода годного наиболее действенными мероприятиями являются: а) применение удлиненных слитков и б) рациональный температурный режим, в частности равномерный прогрев слитков по всему объему перед прессованием. Перегрев слитков во всех случаях весьма вреден, так как при этом резко понижаются механические свойства, нарушается связь между кристаллитами и слитки, вследствие пережога, легко разрушаются при горячей обработке давлением.

Режим термической обработки латуней также играет весьма важную роль. Быстрое охлаждение двухфазных латуней после отжига ведет к получению вторичных выделений β-фазы и к образованию строчечной структуры, где β-фаза расположена в направлении прокатки в форме сомкнутых цепей, что является весьма неблагоприятным фактором.

В латунях, как и у большинства технических цветных металлов и сплавов, в зоне средних температур (при 200—600°, в зависимости от состава) наблюдается явление хрупкости. Это происходит главным образом под влиянием примесей (свинца, сурьмы, висмута и др.), образующих в этих условиях хрупкие межкристаллические прослойки. С повышением температуры пластичность латуней вновь резко возрастает, что указывает на растворимость этих примесей при высоких температурах.

Коррозионные свойства латуней

В атмосферных условиях латуни корродируют весьма медленно. Скорость коррозии латуней в атмосфере сельской местности равна ~ 0,00075 *мм/год*, а в атмосфере городской местности и морского района ~ 0,0013—0,0038 *мм/год*.

Сухой пар при малых скоростях на латуни влияет весьма незначительно (менее 0,00025 *мм/год*). Однако скорость коррозии латуней резко возрастает, если в паровом конденсате присутствует кислород, двууглекислый газ или аммиак.

Скорость коррозии латуней в пресной воде незначительна и равна ~0,0025—0,025, а в морской воде ~ 0,0075—0,1 *мм/год*. С повышением температуры скорость коррозии латуней в этих средах резко возрастает.

Латуни весьма сильно корродируют в рудничных водах, особенно в присутствии $Fe_2(SO_4)_3$.

Присутствующие в воде фтористые соли влияют на латуни незначительно, хлористые — заметно сильнее, а йодистые — очень сильно. Также весьма сильно действуют на латуни окисляющие растворы ($K_2Cr_2O_7 \cdot H_2CrO_4$ и др.). Минеральные кислоты — азотная и соляная — действуют на латуни очень сильно, серная — значительно мед-

леннее, однако в присутствии солей-окислителей ($Fe_2(SO_4)_3$, $K_2Cr_2O_7$) скорость коррозии латуней увеличивается в 200—250 раз.

Сухие газы (фтор, бром, хлор, а также хлористый водород, фтористый водород, угольный ангидрид, окись углерода и азот) при температуре 20° и ниже практически не действуют на латуни, однако в присутствии влаги действие галогенов на латуни резко возрастает.

Сернистый ангидрид вызывает коррозию латуней при концентрации его в воздухе ~ 1% и влажности воздуха выше 70%.

Сероводород значительно действует на латуни при всех условиях, однако латуни с повышенным содержанием цинка (Zn > > 30%) более устойчивы, чем медь и латуни с низким содержанием цинка. Во влажных парах сероводорода при 100° скорость коррозии латуней марок ЛС59-1, ЛО70-1 равна 0,05—0,075 *мм/год*, а латуни марки Л85 и меди 1,22—1,6 *мм/год*.

В растворах чистой фосфорной кислоты латуни корродируют со скоростью ~ 0,5 *мм/год*.

В уксусной кислоте в спокойном состоянии скорость коррозии латуней равна 0,025—0,75 *мм/год* и резко возрастает (в 100 раз) с повышением температуры и аэрации.

Жирные кислоты весьма сильно действуют на латуни (0,25—1,3 *мм/год*). Но чистая олеиновая кислота при отсутствии кислорода на латуни практически не действует.

В растворах едких щелочей латуни корродируют со скоростью ~ 0,5 *мм/год*, а в присутствии воздуха и при повышенных температурах — со скоростью до 1,8 *мм/год*. В растворах аммиака скорость коррозии значительно больше, чем в щелочах (NaOH), и достигает 6 *мм/год*.

Антифризы (незамерзающие растворы в радиаторах) — метанол, этанол, этиленгликоль — оказывают незначительное влияние на латуни (0,005—0,06 *мм/год*). Сухой четыреххлористый углерод не вызывает коррозии латуней, однако в присутствии влаги действие его довольно значительно.

Хлористый этил, хлористый метил, а также бромозамещенные соединения при отсутствии влаги действуют на латуни весьма незначительно (менее 0,03 *мм/год*), поэтому латуни широко применяются при обработке этих соединений.

Фторированные органические соединения, например фреон-12 (CF_2Cl_2), практически на латуни не действуют, а потому латуни широко применяются в конструкциях холодильного оборудования.

Латуни в контакте с железом, алюминием и цинком применять не следует вследствие быстрого разрушения последних. Однако указанные металлы или сплавы на их основе с успехом применяются в качестве протекторов для защиты, например, латунных конденсаторных трубок.

Наиболее распространенными формами коррозии латуни, наносящими огромный ущерб промышленности, являются обесцинкование и коррозионное, или так называемое «сезонное», растрескивание.

При обесцинковании вначале происходит растворение латуни. В дальнейшем же медь, в результате обменной реакции с латунью, осаждается из раствора в виде губчатой медной пленки. Эта пленка, создавая пару с латунью ускоряет коррозионный процесс. Быстрее обесцинковываются латуни с повышенным содержанием цинка (Л59, Л62), так как в двухфазных латунях наблюдается преимущественное растворение β-фазы, являющейся анодом, а α-фаза в этом случае играет роль катода. Латуни с пониженным содержанием цинка (Л90, Л85) и латуни с добавкой мышьяка до 0,05% в этом отношении более устойчивы. Процесс обесцинкования резко возрастает с повышением температуры и увеличением скорости движения воды.

Основными факторами, вызывающими коррозионное растрескивание латуней являются растягивающие напряжения в металле и неблагоприятная коррозионная среда, содержащая влагу и кислород, следы аммиака и сернистого газа, амины и ртутные соли. Склонность латуней к коррозионному растрескиванию сильно возрастает с повышением содержания цинка и с увеличением до известного предела растягивающих напряжений.

Латуни, содержащие менее 7% цинка, мало чувствительны к коррозионному растрескиванию. В латунях марок Л90, Л80, и Л70, если внутренние напряжения меньше 6 *кг/мм*^{2}, явление коррозионного растрескивания наблюдается сравнительно редко.

Латуни марок Л68, Л65 и Л62 наиболее чувствительны к коррозионному растрескиванию (больше, чем латунь марки Л60). Эти латуни сравнительно устойчивы, если напряжения в них меньше 1,0 *кг/мм*^{2}. Во избежание растрескивания все изделия и полуфабрикаты из латуней необходимо отжигать при температуре ~ 270°. При таком отжиге основные внутренние напряжения снимаются без заметного снижения механических свойств сплавов и устойчивость латуней в отношении коррозионного растрескивания значительно повышается. Однако при таком отжиге остаточные напряжения полностью не снимаются, и в некоторых агрессивных средах они являются достаточно опасными. В частности, латунные трубы, применяемые, например, в сахарной промышленности, достаточно устойчивы лишь после отжига их при температуре 560°.

Состав и свойства двойных латуней приведены в табл. 32—36.

Изменения механических свойств двойных латуней в различных состояниях показаны на диаграммах (рис. 69—93).

Таблица 32

Химический состав и назначение двойных латуней по ГОСТ 1019—47

Наименование	Марка	Химический состав, %								Примерное назначение
		компоненты		примеси (не более)						
		медь	цинк	свинец	железо	сурьма	висмут	фосфор	всего	
Томпак	Л96	95,0—97,0	Ост.	0,03	0,10	0,005	0,002	0,01	0,2	Радиаторные трубки
	Л90	88,0—91,0	»	0,03	0,10	0,005	0,002	0,01	0,2	Листы и ленты для плакировки
Полутомпак	Л85	84,0—86,0	»	0,03	0,10	0,005	0,002	0,01	0,3	Трубы гофрированные
	Л80	79,0—81,0	»	0,03	0,10	0,005	0,002	0,01	0,3	Листы, ленты и проволока
Латунь	Л70	69,0—72,0	»	0,03	0,07	0,002	0,002	0,005	0,2	Полосы и ленты специального назначения
	Л68	67,0—70,0	»	0,03	0,10	0,005	0,002	0,01	0,3	Полосы, листы, ленты, трубы и проволока
	Л62	60,5—63,5	»	0,08	0,15	0,005	0,002	0,01	0,5	Полосы, листы, ленты, трубки, прутки и проволока

Примечания: 1. Для антимагнитных сплавов содержание железа не должно превышать 0,03%.
2. Примеси, не указанные в таблице, учитываются в общей сумме примесей.
3. В латуни марки Л70 содержание примесей не должно превышать 0,005% As, 0,005% Sn, 0,002% S.
4. В латуни марки Л68, предназначенной для изделий специального назначения, содержание примесей не должно превышать 0,07% Fe, 0,002% Sb, 0,005% P, 0,005% As, 0,002% S, сумма примесей 0,2%.
5. В латунях всех марок, кроме Л70 и Л68, примесь никеля в количестве до 0,5% считается допустимой (за счет содержания меди).

Таблица 33

Физические свойства двойных латуней, обрабатываемых давлением

Марка сплава	Верхняя критическая точка, °С	Нижняя критическая точка, °С	Температура кипения при давлении 760 мм, °С	Плотность, г/см³	Коэффициент линейного расширения $\alpha_{25-300°} \cdot 10^6$	Теплопроводность при 20 °С кал/см · сек · °С	Удельное электросопротивление		Температурный коэффициент электросопротивления $\alpha_{20-100°}$
							в твердом состоянии ом · мм²/м	в жидком состоянии при 1100 °С ом · мм²/м	
Л96	1070	1050	~1600	8,85	18,1	0,58	0,031	0,24	0,0027
Л90	1045	1020	~1400	8,80	18,2	0,40	0,039	0,27	0,0018
Л85	1025	990	~1300	8,75	18,7	0,36	0,047	0,29	0,0016
Л80	1000	965	~1240	8,65	19,1	0,34	0,054	0,33	0,0015
Л70	955	915	~1150	8,53	19,9	0,29	0,062	0,39	0,0014
Л68	938	909	—	8,50	19,9	0,28	0,068	—	0,0015
Л62	905	898	—	8,43	20,6	0,26	0,071	—	0,0017

Таблица 34

Механические свойства двойных латуней, обрабатываемых давлением

Марка сплава	Модуль упругости, кг/мм²	Предел прочности при растяжении, кг/мм²	Предел текучести при остаточной деформации 0,1% кг/мм²	Предел упругости, кг/мм²	Предел выносливости в мягком состоянии, кг/мм²	Относительное удлинение, %	Относительное сужение в мягком состоянии, %	Ударная вязкость с надрезом после отжига при 600° кгм/см²	Твердость		Коэффициент трения		Коррозионная стойкость, (потеря в весе) г/м² · сутки	
									Бринель, кг/мм²	Роквелл шкала F	со смазкой	без смазки	в морской воде	в 10%-ном растворе H_2SO_4
Л96	11 400	24 / 45	— / 39	3,5 / 36	—	50 / 2	—	22	—	50 / 95	—	—	0,20	—
Л90	11 000	26 / 48	12 / 40	4 / 38	12,6	45 / 4	80	18	53 / 130	55 / 102	0,074	0,44	0,50	—
Л85	10 600	28 / 55	10 / 45	4 / 45	14	45 / 4	85	—	54 / 126	57 / 106	—	—	—	—
Л80	10 600	32 / 64	12 / 52	8 / 42	—	52 / 5	70	16	53 / 145	60 / 108	0,015	0,71	0,43	—
Л70 и Л68	10 600	32 / 66	9,0 / 52	7 / 50	12	55 / 3	70	17	— / 150	62 / 107	—	—	0,48	1,75
Л62	10 000	33 / 60	11 / 50	8 / 42	12	49 / 3	66	14	56 / 164	63 / 106	0,012	0,39	0,61	1,46

Примечание. В числителе — данные для латуней, деформированных на 50%, в знаменателе — для латуней, отожженных при 600°.

Таблица 35

Технологические характеристики двойных латуней

Марка сплава	Температура литья, °С	Температура горячей обработки °С	Температура отжига °С	Низкотемпературный отжиг для снятия внутренних напряжений °С	Обрабатываемость резанием %	Жидкотекучесть см	Линейна усадка %
Л96	1160—1200	775—850	540—600	—	20	—	—
Л90	1160—1200	850—950	650—720	200	20	65	2,0
Л85	1160—1180	830—900	650—720	160—200	30	—	—
Л80	1160—1180	820—870	600—700	260	30	48	2,0
Л70	1100—1160	750—830	520—650	260—270	30	63	1,9
Л68	1100—1160	750—830	520—650	260—270	30	63	1,9
Л62	1060—1100	650—850	600—700	270—300	40	65	1,77

Примечание. В качестве покровного флюса для всех сплавов применяется древесный уголь. За 100% берется обрабатываемость резанием латуни марки ЛС63-3.

Таблица 36

Механические свойства полуфабрикатов из двойных латуней, обрабатываемых давлением

Наименование сплава и марка	Вид изделий	Состояние материала	Механические свойства		ГОСТ или ТУ
			предел прочности при растяжении σ_b кг/мм²	относительное удлинение σ, %	
			не менее		
Томпак Л96	Трубки радиаторные	Жесткие	35—60	—	ГОСТ 2644—44, ГОСТ 2936—56
	Ленты и полосы	Мягкие	25	35	ЦМТУ 3381—53
Томпак Л90	Профили фасонные	—	33—43	7	ЦМТУ 513—41
	Ленты и полосы	Мягкие	27	35	ЦМТУ 2079—49
		Полутвердые	34	7	ЦМТУ 2678—50
		Твердые	40	—	То же
	Ленты	Мягкие	26	38	ГОСТ 8036—56
Полутомпак Л85	Трубы	Мягкие	25	30	ТУЦМО 1512—53
Полутомпак Л80	Ленты	Мягкие	27	50	—
	Проволока	Мягкая	34	29	—
Латунь Л68	Листы и полосы	Мягкие	30	40	ГОСТ 931—52
		Полутвердые	35	25	
		Твердые	40	15	
	Ленты	Мягкие	30	40	ГОСТ 2208—49
		Полутвердые	35	25	
		Твердые	40	15	
		Особотвердые	50	4	
	Проволока диам. 1,1—12 мм	Мягкая	30	40	ГОСТ 1066—50
		Полутвердая	35	15	
		Твердая	50	5	
	Трубы	Тянутые:			ГОСТ 494—52
		мягкие	30	38	
		полутвердые	35	30	
Латунь Л62	Лист	Мягкие	30	40	ГОСТ 931—52
	лосы	Полутвердые	35	20	
		Твердые	42	10	
		Особотвердые	60	2,5	
	Ленты	Мягкие	30	35	ГОСТ 2208—49
		Полутвердые	38	20	
		Твердые	42	10	
		Особотвердые	60	2,5	
	Прутки	Тянутые	38	15	ГОСТ 2060—48
		Прессованные	30	30	
		Катаные	38	15	

Продолжение табл. 36

Наименование сплава и марка	Вид изделий	Состояние материала	Механические свойства: предел прочности при растяжении σ_b кг/мм²	Механические свойства: относительное удлинение σ, %	ГОСТ или ТУ
			не менее		
	Трубы	Тянутые: мягкие	30	38	ГОСТ 494—52
		полутвердые	34	30	
		прессованные	30	38	
	Проволока диам., *мм*; 0,55—1,0	Мягкая	35	26	ГОСТ 1066—50
	1,1—4,8		35	30	
	Проволока диам., *мм*: 0,55—1,0	Полутвердая	45	5	
	1,1—4,8		40	10	
	Проволока диам., *мм*: 0,55—1,0	Твердая	55	1	
	1,1—4,8		45	2	
	Проволока для заклепок	Полутвердая	38	18	ТУ 20—50

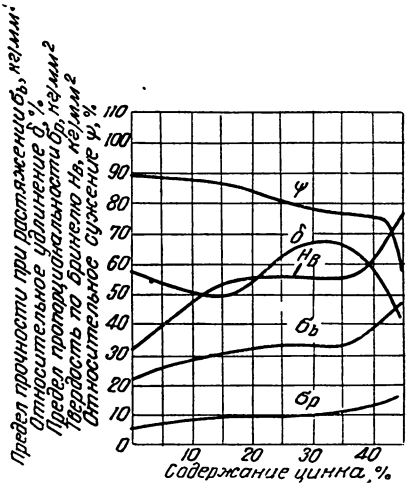


Рис. 69. Изменение механических свойств медноцинковых сплавов в зависимости от содержания цинка

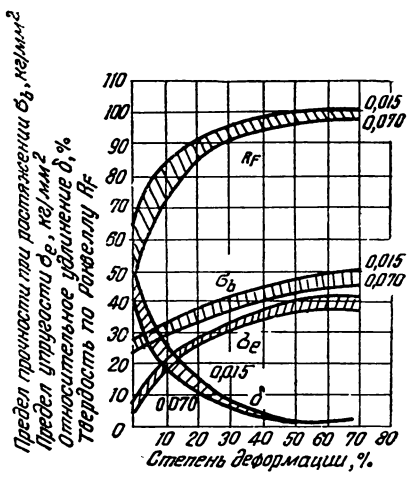


Рис. 70. Изменение механических свойств Л96 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: листы мягкие толщиной 1 *мм* с величиной зерна 0,015 и 0,07 *мм*

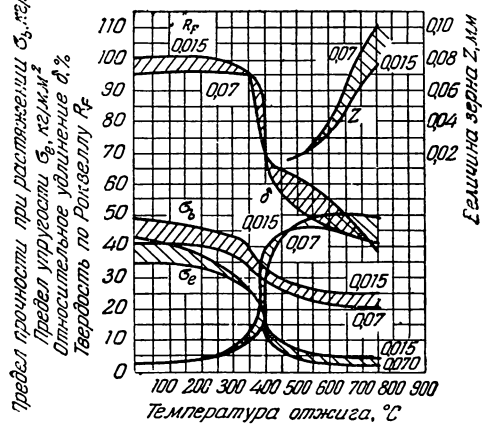


Рис 71. Изменение механических свойств Л96 в зависимости от температуры отжига. Исходный материал: листы толщиной 1 *мм* с величиной зерна 0,015 и 0,07 *мм*, деформированные на 50%. Продолжительность отжига 1 час

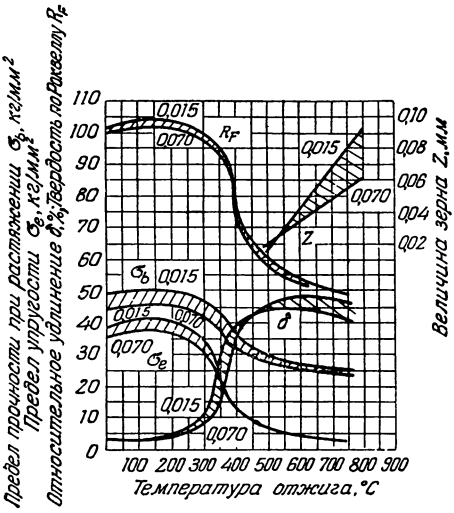


Рис. 73. Изменение механических свойств Л90 в зависимости от температуры отжига Исходный материал: листы толщиной 1 *мм* с величиной зерна 0,015 и 0,07 *мм*, деформированные на 50%. Продолжительность отжига 1 час

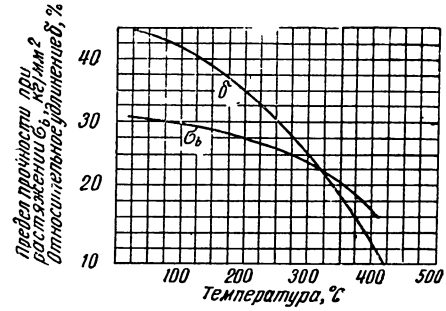


Рис. 75. Изменение механических свойств латуни Л85 при высоких температурах (прутки)

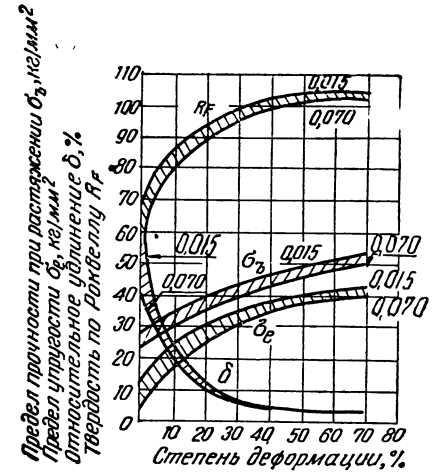


Рис. 72. Изменение механических свойств Л90 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: листы мягкие толщиной 1 *мм* с величиной зерна 0,015 и 0,07 *мм*

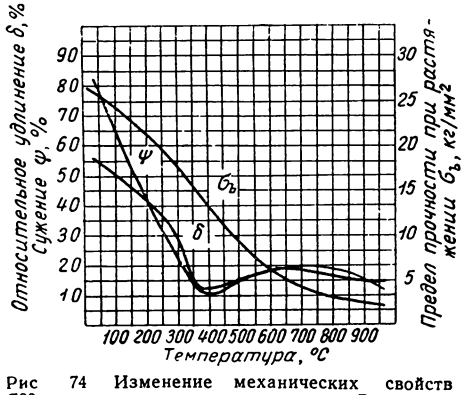


Рис 74 Изменение механических свойств Л90 при высоких температурах. Выдержка 1 час. Исходный материал: прутки мягкие диаметром 25 *мм* с величиной зерна 0,03 *мм*

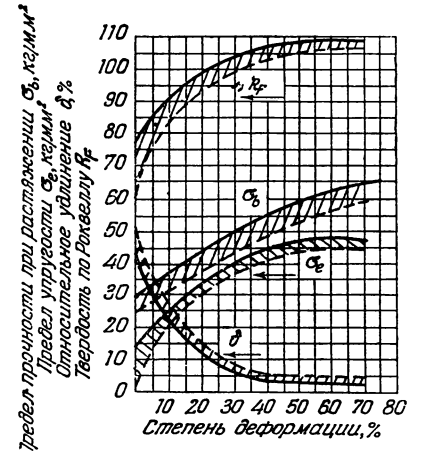


Рис. 76. Изменение механических свойств латуни Л85 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: ленты мягкие толщиной 1 *мм*:
——— материал с зерном минус 0,015 *мм*;
– – – – то же 0,070 *мм*

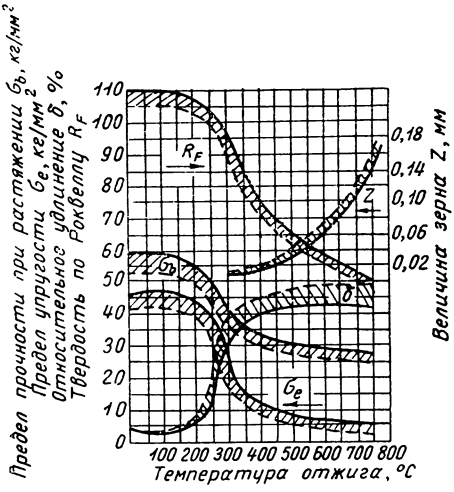


Рис 77 Изменение механических свойств латуни Л85 в зависимости от температуры отжига. Исходный материал листы толщиной 1 *мм*, деформированные на 50%;
——— материал с зерном 0,015 *мм*;
— — — — то же, 0,070 *мм*

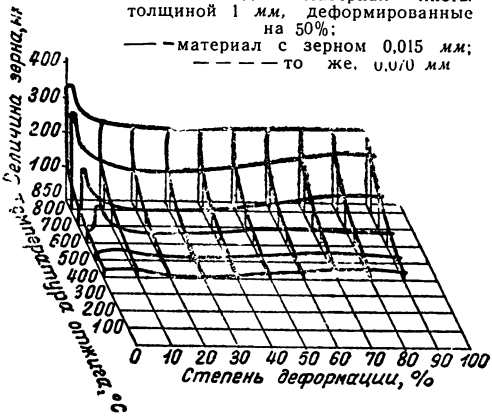


Рис 78 Рекристаллизация латуни Л85

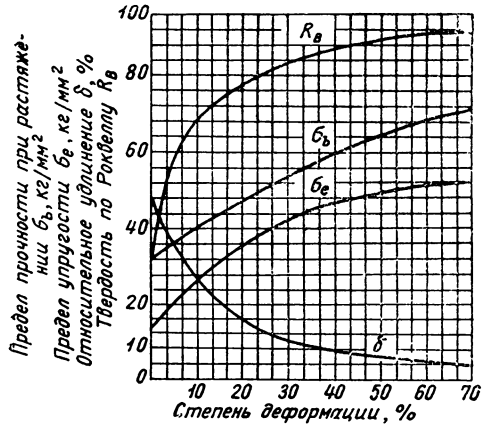


Рис 79. Изменение механических свойств латуни Л80 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: листы мягкие толщиной 1 *мм* с величиной зерна 0,02 *мм*

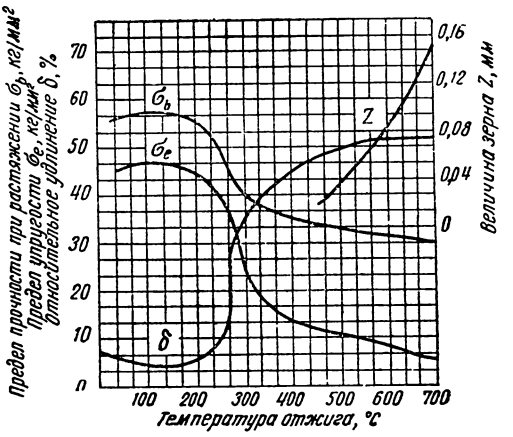


Рис. 80 Изменение механических свойств латуни Л80 в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 1 час Исходный материал листы толщиной 1 *мм* с величиной зерна 0,02 *мм*, деформированные на 37%

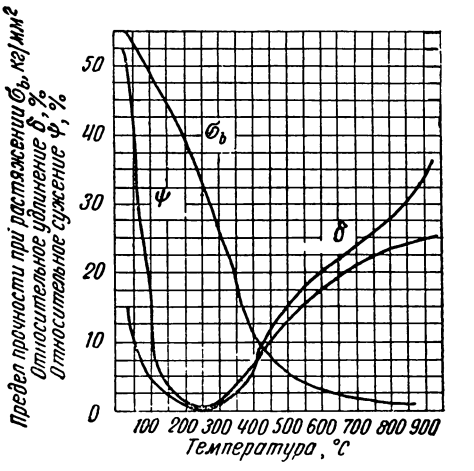


Рис 81 Изменение механических свойств латуни Л80 при высоких температурах. Исходный материал: пруток, деформированный на 30%

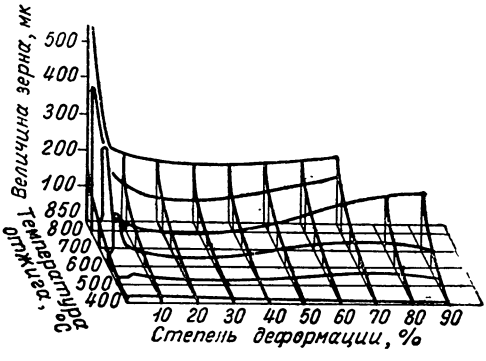


Рис. 82. Рекристаллизация латуни Л70

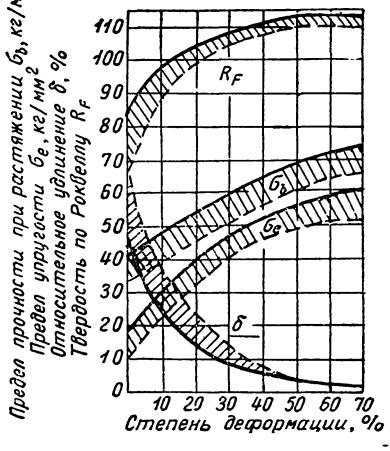


Рис 83 Изменение механических свойств латуни Л70 в зависимости от степени деформации и величины зерна Исходный материал· листы мягкие толщиной 1 *мм*
—— – материал с зерном 0,015 *мм*;
— — — то же 0,070 *мм*

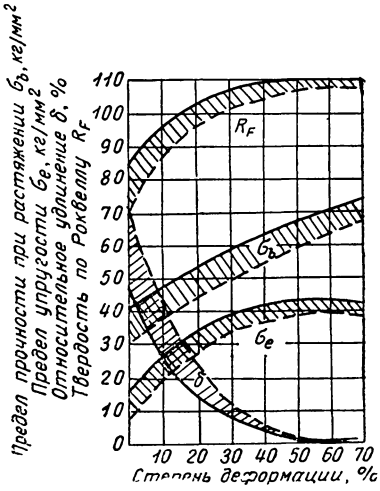


Рис 86. Изменение механических свойств латуни Л68 в зависимости от степени деформации и величины зерна Исходный материал: листы мягкие толщиной 1 *мм*:
—— материал с зерном 0,01 *мм*;
— — — то же, 0,1 *мм*

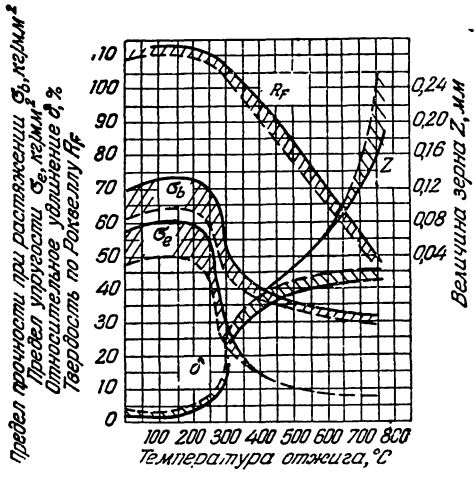


Рис 84 Изменение механических свойств латуни Л70 в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: листы толщиной 1 *мм*, деформированные на 50%:
———— – материал с зерном 0,015 *мм*;
— — — то же, 0.070 *мм*

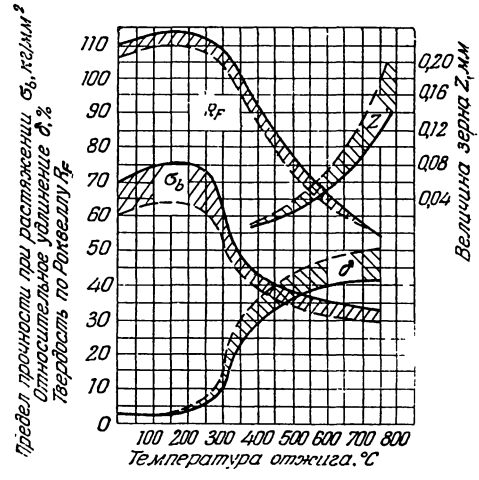


Рис. 87. Изменение механических свойств латуни Л68 в зависимости от температуры отжига Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: листы толщиной 1 *мм*, деформированные на 50%:
—— материал с зерном 0,01 *мм*,
— — — то же, 0,1 *мм*

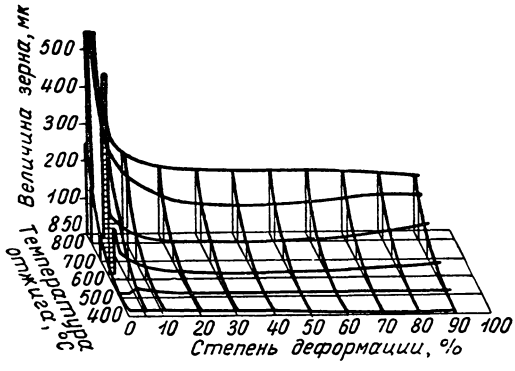


Рис. 85. Рекристаллизация латуни Л68

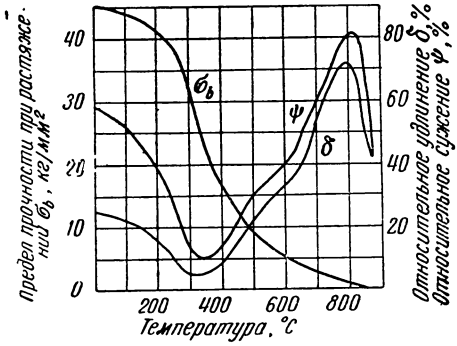


Рис 88 Изменение механических свойств латуни Л68 при высоких температурах. Исходный материал: прутки, деформированные на 20%

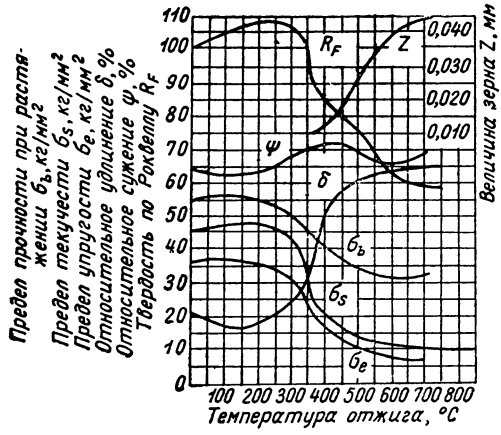


Рис. 91 Изменение механических свойств латуни Л62 в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: прутки диаметром 25 *мм* с величиной зерна 0,045 *мм*, деформированные на 40%

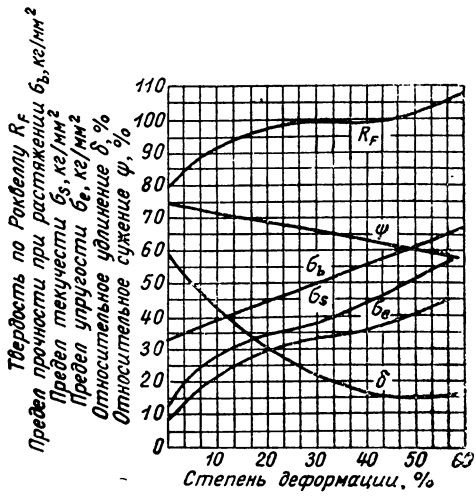


Рис 89 Изменение механических свойств латуни Л62 в зависимости от степени деформации и величины зерна Исходный материал. прутки мягкие диаметром 25 *мм* с величиной зерна 0,045 *мм*

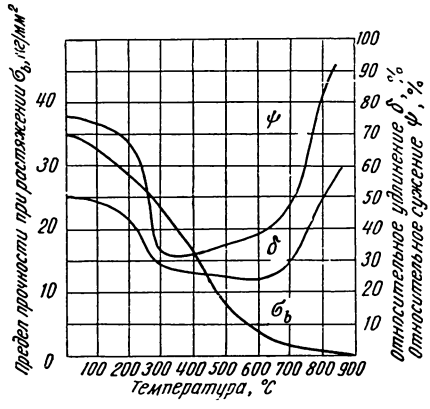


Рис. 92. Изменение механических свойств латуни Л62 при высоких температурах

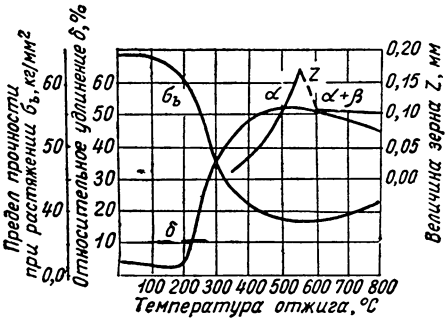


Рис 90 Изменение механических свойств латуни Л62 (61,3% Cu) в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 40 мин. Исходный материал: трубки размером 6 × 8 *мм*, деформированные на 55%

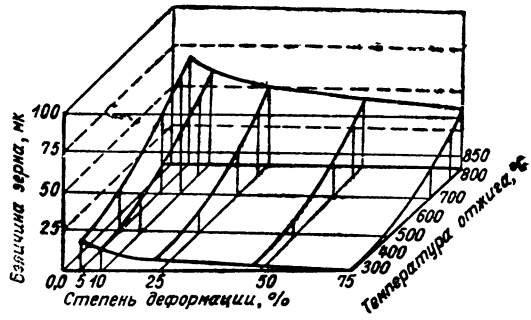


Рис 93 Рекристаллизация латуни Л62

2. Специальные латуни

Медноцинковые сплавы с добавками алюминия, железа, марганца, свинца, никеля и других элементов носят название специальных латуней. Эти латуни обладают особыми специальными свойствами.

Добавки третьего компонента значительно изменяют структуру латуней сдвигая границы фазовых превращений. Сдвиг фаз в системе медь — цинк, происходящий под влиянием третьего компонента, определяется по следующим эмпирическим формулам:

$$A' = \frac{100\,A}{100 + D\,(K - 1)};$$

$$D = \frac{100\,(A - A')}{A'\,(K - 1)},$$

$$K = 1 + \frac{100\,(A - A')}{A'D},$$

где A' — кажущееся содержание меди, %;
A — действительное содержание меди, %;
D — количество третьего компонента, %;
K — коэффициент эквивалентности, равный для кремния 12, алюминия 6, олова 2, свинца 1, железа 0,9, марганца 0,5 и никеля 1,4.

Таким образом, по химическому составу возможно судить о структуре, а следовательно, и технологических свойствах сложных латуней.

Влияние основных компонентов и примесей

Под влиянием третьего компонента в латунях резко изменяются механические, физико-химические и технологические свойства.

Алюминий значительно растворим в латунях в твердом состоянии. Под воздействием алюминия граница области твердого α-раствора заметно сдвигается в сторону медного угла.

Механические свойства латуней под влиянием алюминия значительно изменяются. При повышенном содержании алюминия в латунях появляются новые составляющие β и γ, с появлением которых резко повышаются прочность и твердость этих сплавов и понижается пластичность. Алюминиевые латуни имеют весьма важное значение в технике. Наибольший практический интерес представляют латуни, содержащие до 4% алюминия, так как они хорошо переносят технологическую обработку давлением. В латунях с повышенным содержанием цинка алюминий вызывает явление хрупкости в холодном состоянии.

Добавки алюминия улучшают коррозионные свойства медноцинковых сплавов в отношении общей коррозии, так как образующаяся на поверхности оксидная пленка энергично защищает изделие от действия атмосферной коррозии. Алюминиевые латуни, однако, менее устойчивы в морской воде и весьма чувствительны в отношении коррозионного растрескивания, а потому изделия из этого сплава не рекомендуются для длительного хранения.

Под влиянием алюминия резко ухудшается способность латуней к пайке и лужению.

Особенно вредное влияние алюминий оказывает на кремнистые латуни, сообщая им пористость и пленистость.

Железо очень мало растворимо в латунях в твердом состоянии. При содержании железа более 0,03% латуни обнаруживают магнитные свойства. Поэтому в латунях, применяемых для изготовления антимагнитных деталей, содержание железа допускается не выше 0,03%.

Железо весьма значительно задерживает рекристаллизацию латуней и способствует образованию более мелкого зерна, в связи с чем значительно повышаются механические и технологические свойства данных сплавов.

Особенно благоприятное действие на латуни оказывает железо в сочетании с марганцем, никелем и алюминием. Такие латуни широко применяются в промышленности и отличаются высокой прочностью и коррозионной устойчивостью. На кремнистые латуни железо влияет отрицательно. При содержании железа свыше 0,5% резко снижаются антифрикционные свойства кремнистых латуней, а при содержании железа 1—2% латуни быстро корродируют, дают литье плохого качества и для технических целей становятся мало пригодными.

Кремний значительно растворим в латунях в твердом состоянии, причем растворимость его понижается с увеличением содержания цинка. Под влиянием кремния значительно повышаются механические, коррозионные и литейные свойства латуней. Указанные сплавы получили широкое распространение в промышленности.

Примеси алюминия, железа, сурьмы, мышьяка и фосфора в кремнистых латунях являются вредными.

В латунях с повышенным содержанием цинка кремний значительно повышает твердость и понижает пластичность. Под влиянием примесей кремния технологический процесс сварки и пайки латуней улучшается.

Марганец значительно растворим в медноцинковых сплавах в твердом состоянии, и незначительные добавки его не оказывают заметного влияния на структуру латуней. Механические свойства латуней под влиянием марганца заметно повышаются. В двухфазных латунях марганец значительно повышает пределы прочности, пропорциональности и упругости без понижения пластичности, и лишь с увеличением содержа-

ния марганца свыше 4% наблюдается понижение удлинения и ударной вязкости.

Марганцевые латуни достаточно хорошо переносят обработку давлением как в горячем, так и в холодном состоянии; как технические сплавы они представляют большой интерес для промышленности. Данные сплавы склонны к коррозионному растрескиванию, но по отношению к хлоридам, морской воде и перегретому пару стойкость их значительно выше, чем у обычных латуней.

Никель значительно расширяет в медноцинковых сплавах предел насыщения области твердого α-раствора. Механические, физические и технологические свойства латуней под влиянием никеля улучшаются. Никель резко повышает коррозионную устойчивость латуней как в атмосферных условиях, так и в морской воде и в условиях бактериологической коррозии. Склонность латуней к коррозионному растрескиванию под действием никеля сильно уменьшается. Никель заметно повышает температуру рекристаллизации латуней и способствует образованию более мелкого зерна.

Никелевые латуни, а также латуни с добавками алюминия и марганца широко применяются в промышленности для изготовления ответственных деталей.

Олово в количестве 0,5—1,5% весьма сильно повышает коррозионные свойства латуней, особенно в условиях морской воды, вследствие чего эти сплавы получили название «морских латуней».

В латуни марки ЛО70-1 олово входит в твердый раствор до 1,8%; с повышением содержания цинка растворимость значительно понижается и, например, в латуни марки Л64 она достигает 0,4%. Данные сплавы имеют удовлетворительные механические, технологические и достаточно хорошие литейные свойства.

В латунях с повышенным содержанием цинка олово увеличивает твердость и сильно снижает пластичность, сообщая данным сплавам хрупкость в холодном состоянии.

Свинец весьма ограниченно растворим в медноцинковых сплавах в твердом состоянии, вероятно менее 0,1%. При затвердевании сплава свинец выделяется в элементарной форме и обнаруживается под микроскопом в виде мелких темных включений.

Свинец весьма сильно улучшает способность латуней к обработке резанием. Под влиянием свинца латуни легко поддаются тонкому сверлению и фрезеровке. По этой причине латуни, содержащие свинец (до 3%), широко распространены в промышленности.

Однофазные латуни со свинцом поддаются обработке давлением лишь в холодном состоянии. Свинцовые латуни с повышенным содержанием цинка (α+β) хорошо переносят и горячую обработку.

Механические свойства латуней под влиянием свинца изменяются весьма незначительно; понижается немного пластичность, но при этом становится мельче зерно.

Сурьма и *сера* являются вредными примесями в медноцинковых сплавах. Под влиянием примесей сурьмы латуни легко разрушаются как при горячей, так и при холодной обработке давлением. Склонность латуней к коррозионному растрескиванию под влиянием сурьмы заметно увеличивается.

Сера обычно не встречается в латунях, но в присутствии серы свойства латуни резко снижаются.

Мышьяк растворим в латуни в твердом состоянии (около 0,1%). При повышенном содержании мышьяка (свыше 0,5%) латуни теряют свою пластичность вследствие образования по границам кристаллов хрупких прослоек химического соединения. Однако латуни с добавкой мышьяка представляют большой интерес при изготовлении деталей, работающих в условиях морской воды. Содержание 0,02% мышьяка предохраняет латунь от обесцинкования, так как образующаяся на поверхности изделий прочная защитная пленка в значительной мере предохраняет латунь от коррозионного воздействия морской воды.

Фосфор незначительно растворим в медноцинковых сплавах в твердом состоянии. При затвердевании сплава он выделяется в виде отдельной составляющей с температурой плавления около 700°, повышая твердость и резко снижая пластичность латуней. Небольшие количества фосфора оказывают положительное влияние на латуни, повышая их механические свойства и измельчая зерно в литье. При отжиге деформированных латуней фосфор значительно влияет на рекристаллизацию, ускоряя рост зерна.

Светлый отжиг латуней

Светлый отжиг медноцинковых сплавов возможно производить в диссоциированном аммиаке, содержащем 5—10% водорода и освобожденном от водяных паров, и в генераторном газе, очищенном от углекислого газа и паров воды.

Для предохранения изделий из латуней марок Л62, Л68 и др. от окисления при хранении рекомендуется их пассивировать (обрабатывать в течение 30 сек. при комнатной температуре) в следующих средах:

1) слабокислом водном растворе, содержащем ~ 6% ангидрида хромовой кислоты и 0,2% серной кислоты;

2) водном растворе, содержащем ~ 5% хромпика и 2% хромовых квасцов $K_2SO_4 \cdot Cr_2(SO_4)_3$.

В табл. 37—41 приведен состав, механические, физико-химические и технологические свойства специальных латуней.

На диаграммах (рис. 94—149) показаны свойства специальных латуней в зависимости от состояния материала.

Таблица 37

Специальные латуни по ГОСТ 1019—47

Наименование	Марка	Химический состав, %																Примерное назначение
		основные компоненты									примеси (не более)							
		медь	свинец	железо	марганец	алюминий	олово	кремний	никель	цинк	свинец	железо	сурьма	висмут	фосфор	всего		
Латунь алюминиевая	ЛА77-2	76,0—79,0	—	—	—	1,75—2,50	—	—	—	Ост.	0,07	0,10	0,005	0,002	0,01	0,30		Трубы конденсаторные
Латунь алюминиевожелезистая	ЛАЖ60-1-1	58,0—61,0	—	0,75—1,50	0,1—0,6	0,75—1,50	—	—	—	»	0,40	—	0,005	0,002	0,01	0,70		Трубы и прутки
Латунь алюминиевоникелевая	ЛАН59-3-2	57,0—60,0	—	—	—	2,50—3,50	—	—	2,0—3,0	»	0,10	0,50	0,005	0,003	0,01	0,90		То же
Латунь никелевая	ЛН65-5	64,0—67,0	—	—	—	—	—	—	5,0—6,5	»	0,03	0,15	0,005	0,002	0,01	0,30		Трубки манометрические, проволока, листы и ленты
Латунь железистомарганцовистая	ЛЖМц59-1-1	57,0—60,0	—	0,6—1,2	0,5—0,8	0,1—0,2	0,3—0,7	—	—	»	0,20	—	0,010	0,003	0,01	0,25		Полосы, прутки, проволока и трубы
Латунь марганцовистая	ЛМц58-2	57,0—60,0	—	—	1,0—2,0	—	—	—	—	»	0,10	1,00	0,005	0,002	0,01	1,20		Полосы, прутки, проволока и листы
Латунь марганцовистоалюминиевая	ЛМцА57-3-1	55,0—58,5	—	—	2,5—3,5	0,5—1,5	—	—	—	»	0,20	1,00	0,005	0,002	0,01	1,30		Поковки
Томпак оловянистый	ЛО90-1	88,0—91,0	—	—	—	—	0,25—0,75	—	—	»	0,03	0,10	0,005	0,002	0,01	0,20		Полосы и ленты
Латунь оловянистая	ЛО70-1	69,0—71,0	—	—	—	—	1,0—1,5	—	—	»	0,07	0,10	0,005	0,002	0,01	0,30		Трубы
	ЛО62-1	61,0—63,0	—	—	—	—	0,7—1,1	—	—	»	0,10	0,10	0,005	0,002	0,01	0,30		Прутки, листы и полосы
	ЛО60-1	59,0—61,0	—	—	—	—	1,0—1,5	—	—	»	0,30	0,10	0,005	0,002	0,01	1,00		Проволока для сварки

Продолжение табл. 37

Наименование	Марка	Химический состав, %																Примерное назначение
		основные компоненты									примеси (не более)							
		медь	свинец	железо	марганец	алюминий	олово	кремний	никель	цинк	свинец	железо	сурьма	висмут	фосфор	всего	
Латунь свинцовистая	ЛС74-3	72,0—75,0	2,4—3,0	—	—	—	—	—	—	Ост.	—	0,10	0,005	0,002	0,01	0,25	Полосы, ленты, прутки для часового производства
	ЛС64-2	63,0—66,0	1,5—2,0	—	—	—	—	—	—	»	—	0,10	0,005	0,002	0,01	0,30	То же
	ЛС63-3	62,0—65,0	2,4—3,0	—	—	—	—	—	—	»	—	0,10	0,005	0,002	0,01	0,25	То же
	ЛС60-1	59,0—61,0	0,6—1,0	—	—	—	—	—	—	»	—	0,15	0,005	0,002	0,01	0,50	Прутки специального назначения
	ЛС59-1	57,0—60,0	0,8—1,9	—	—	—	—	—	—	»	—	0,50	0,010	0,003	0,02	0,75	Листы, полосы, ленты, прутки, проволока и трубы
	ЛС59-1В	57,0—60,0	0,8—1,9	—	—	—	—	—	—	»	—	0,50	0,010	0,003	0,02	1,50	Прутки
Латунь железистосвинцовистая	ЛЖС58-1-1	56,0—58,0	0,7—1,3	0,7—1,3	—	—	—	—	—	»	—	—	0,010	0,003	0,02	0,50	»
Латунь кремнистая	ЛК80-3	79,0—81,0	—	—	—	—	—	2,5—4,0	—	»	0,10	0,60	0,050	0,003	0,02	1,50	Поковки и штамповки

Примечания. 1. Примеси, не указанные в таблице, учитываются в общей сумме примесей.

2. В медноцинковых сплавах всех марок, кроме ЛАН59-3-2, ЛН65-5, ЛС59-1 и ЛС59-1В, примесь никеля в количестве до 0,5%, а в сплаве марки ЛС59-1 и ЛС59-1В до 1% считается допустимой (за счет содержания меди).

3. В латуни марки ЛС59-1 сумма примесей олова и кремния не должна превышать 0,5%.

4. В латуни марки ЛМц58-2, по требованию потребителя, содержание марганца устанавливается в пределах 3,0—4,0%.

5. В латуни марки ЛК80-3 содержание примесей не должно превышать 0,5% Mn, 0,2%Sn и 0,1% Al.

Таблица 38

Физические свойства специальных латуней, обрабатываемых давлением

Марка сплава	Верхняя критическая точка °С	Нижняя критическая точка °С	Плотность *г/см³*	Коэффициент линейного расширения $\alpha_{20°} \cdot 10^6$	Теплопроводность *кал/см сек* °С	Удельное электросопротивление *ом·мм²/м*
ЛА77-2	975	935	8,50	18,5	0,24	0,077
ЛАЖ60-1-1	904	—	8,20	21,6	—	—
ЛАН59-3-2	956	892	8,40	19,1	0,20	0,078
	960	—	8,65	18,2	0,14	0,140
ЛЖМц59-1-1	900	885	8,50	22,0	0,24	0,093
ЛМц58-2	880	865	8,50	21,2	0,168	0,108
ЛО90-1	1015	995	8,80	18,4	0,40	0,054
ЛО70-1	935	900	8,54	20,2	0,26	0,072
ЛО62-1	906	885	8,45	21,4	0,26	0,072
ЛО60-1	900	885	8,45	21,2	0,28	0,070
ЛС74-3	965	—	8,70	19,8	0,29	0,078
ЛС64-2	910	885	8,50	20,3	0,28	0,066
ЛС63 3	905	885	8,50	20,5	0,28	0,066
ЛС60-1	900	885	8,50	20,8	0,28	0,064
ЛС59-1	900	885	8,50	20,6	0,25	0,065
ЛК80-3	900	—	8,60	17 1	0,10	0,200

Таблица 39

Механические свойства специальных латуней, обрабатываемых давлением

Марка сплава	Модуль нормальной упругости, кг/мм²	Предел прочности при растяжении, кг/мм²	Предел текучести, кг/мм²	Предел упругости, кг/мм²	Относительное удлинение %	Относительное сужение в мягком состоянии, %	Твердость по Бринелю кг/мм²	Твердость по Роквеллу шкала B	Коэффициент трения со смазкой	Коэффициент трения без смазки	Коррозионная стойкость (потеря в весе) г/м²·сутки в 2%-ном растворе NaOH	Коррозионная стойкость (потеря в весе) г/м²·сутки в 10%-ном растворе H_2SO_4	Коррозионная стойкость (потеря в весе) г/м²·сутки в морской воде
ЛА77-2	10 500	35—40	—	10	50	58	65	—	—	—	—	—	—
		60		54	18		170						
ЛАЖ60-1-1	10 500	45	—	—	45	—	95	—	—	—	—	—	—
		75			8		170						
ЛАН59-3-2	10 000	38	—	—	42—50	—	75	—	0,01	0,32	0,09	1,15	0,04
		65			10—15		155						
ЛН65-5	11 200	40	20	10—15	65	—	—	35	0,008	0,20	—	—	—
		70	63	50	4			90					
ЛЖМц59-1-1	10 600	45	17	—	35—50	45	88	—	0,012	0,39	0,58	1,77	0,22
		70	—		6		160						
ЛМц58-2	10 000	40	—	—	40	—	90	—	0,012	0,32	0,55	1,59	—
		70			10		178						
ЛМцА57-3-1	—	55	—	—	25	—	115	—	—	—	—	—	—
		70			5		178						
ЛО90-1	10 500	28	8,5	7	40	55	58	13	0,013	0,45	—	—	0,4—0,5
		52	45	38	4		148	82					
ЛО70-1	10 500	35	11	8,5	60	70	—	16	0,008	0,3	—	1,65	0,55
		70	50	45	3			95					
ЛО62-1	10 500	38	15	11,0	40	52	—	50	—	—	—	1,50	0,55
		70	55	48	4			95					
ЛО60-1	10 500	38	13	10	40	46	—	50	—	—	—	—	—
		56	42	36	12			80					
ЛС74-3	10 500	35	12	8	40	—	—	16	—	—	—	—	—
		65	47	45	3			86					
ЛС64-2	10 500	35	10	8	55	60	—	15	—	—	—	—	—
		65	50	42	5			84					
ЛС63-3	10 500	32	12	8	55	—	—	17	—	—	—	—	—
		58	50	42	5			86					
ЛС60-1	10 500	37	13	11	45	—	—	28	—	—	—	1,42	0,35
		67	56	45	5			88					
ЛС59-1	10 500	42	14	10	45	—	80	44	0,0135	0,17	—	—	—
		55	40	35	5		150—170	80					
ЛЖС58-1-1	—	40	—	—	35	—	—	—	—	—	—	—	—
ЛК80-3		30	—	—	58	—	60	—	0,01	0,19	—	—	—
		60			4		180						

Примечания. 1. В числителе приведены цифры, относящиеся к латуням, отожженным при 600°; в знаменателе — к латуням, деформированным на 50% (для ЛС59-1, ЛО60-1, ЛМцА57-3-1 степень деформации 25%).

2. Свойства латуни ЛЖС58-1-1 даны в литом состоянии.

3. Твердость латуни ЛК80-3 дана по Виккерсу.

Таблица 40

Технологические характеристики специальных латуней, обрабатываемых давлением

Марка сплава	Температура литья °С	Температура горячей обработки °С	Температура отжига °С	Низкотемпературный отжиг для снятия внутренних напряжений °С	Обрабатываемость резанием %	Жидкотекучесть *см*	Линейная усадка %
ЛА77-2	1100—1150	720—770	600—650	300—350	30	—	—
ЛАН59-3-2	1080—1120	700—750	600—650	350—400	20	47	1,55
ЛН65-5	1100—1150	750—870	600—650	300—400	30	—	—
ЛЖМц59-1-1	1040—1080	680—730	600—650	—	25	83	2,14
ЛМц58-2	1040—1080	680—730	600—650	—	22	83	1,45
ЛО90-1	1170—1210	850—900	650—720	—	—	85	2,05
ЛО70-1	1150—1180	650—750	560—580	300—350	30	49	1,71
ЛО62-1	1060—1110	700—750	550—650	350—370	40	52	1,78
ЛО60-1	1060—1100	760—800	550—650	—	40	52	1,78
ЛС74-3	1120—1160	В горячую не обрабатывается	600—650	—	80	—	—
ЛС64-2	1060—1100	То же	620—670	—	90	—	2,2
ЛС63-3	1060—1100	» »	620—650	—	100	—	—
ЛС60-1	1040—1080	780—820	600—650	—	75	—	—
ЛС59-1	1030—1080	640—780	600—650	285	80	—	2,23
ЛК80-3	950—1000	750—850	—	—	—	80	1,7

Примечания: 1. В качестве покровного флюса для всех сплавов, кроме кремнистой латуни, применяют древесный уголь. Кремнистую латунь плавят без флюса.

2. За 100% принимают обрабатываемость резанием латуни марки ЛС63-3.

Таблица 41

Свойства полуфабрикатов из специальных латуней

Наименование	Марка	Вид изделия	Состояние материала	Предел прочности при растяжении, *кг/мм²* (не менее)	Относительное удлинение, % (не менее)	Твердость по Бринелю, *кг/мм²* (не менее)	ГОСТ или ТУ
Латунь алюминиевая	ЛА77-2	Трубы конденсаторные	Мягкие	38	23	—	ГОСТ 2203—43
Латунь алюминиевожелезистая	ЛАЖ60-1-1	Трубы	Прессованные	45	18	90	ТУ ГЦМО 555—47
		Прутки диам. 10—120 *мм*	То же	45	18	—	ГОСТ 2060—48
Латунь алюминиевоникелевая	ЛАН59-3-	Трубы	Прессованные	55	12	—	МПТУ 4212—53

Продолжение табл. 41

Наименование	Марка	Вид изделия	Состояние материала	Предел прочности при растяжении, кг/мм² (не менее)	Относительное удлинение, % (не менее)	Твердость по Бринелю, кг/мм²	ГОСТ или ТУ
Латунь никелевая	ЛН65-5	Трубы конденсаторные	—	35	40	—	—
		Трубы манометрические	Мягкие	33	40	—	—
			Твердые	50	1,5	—	—
		Ленты	Мягкие	30	40	—	ТУ ЦМО 1065—55
			Полутвердые	42	15	—	
		Катанка	—	30	25	—	ЦМТУ 2071—48
		Проволока для сеток	Мягкая	40	35	—	—
Латунь железистомарганцевая	ЛЖМц59-1-1	Трубы обычные	Прессованные	44	28	—	ГОСТ 494—52
		Прутки диам., мм:					
		35—100	Катаные	50	18	—	ГОСТ 2060—48
		5—40	Тянутые	50	18	—	
		10—120	Прессованные	44	28	—	
		Листы и полосы	—	50	15	—	
Латунь марганцевая	ЛМц58-2	Прутки диам., мм					
		35—100	Катаные	43	25	—	ГОСТ 2060—48
		5—40	Тянутые	45	25	—	
		10—120	Прессованные	40	25	—	
		Листы, полосы и ленты	Мягкие	39	30	—	ГОСТ 2208—49 и 931—52
			Полутвердые	45	25	—	
			Твердые	60	3	—	
Томпак оловянистый	ЛО90-1	Полосы и ленты	Мягкие	27	35	—	МПТУ 4104—53
			Полутвердые	34	7	—	
			Твердые	40	—	—	
Латунь оловянистая	ЛО70-1	Трубы конденсаторные	Тянутые: мягкие	30	38	—	ГОСТ 494—52
			полутвердые	35	30	—	
			Прессованные	30	38	—	

Продолжение табл. 41

Наименование	Марка	Вид изделия	Состояние материала	Предел прочности при растяжении, кг/мм² (не менее)	Относительное удлинение, % (не менее)	Твердость по Бринелю, кг/мм²	ГОСТ или ТУ
	ЛО62-1	Прутки диам., мм:					
		5—40	Тянутые	40	15	—	ГОСТ 2060—48
		10—120	Прессованные	37	20	—	ГОСТ 2060—48
		Листы и полосы	Холоднокатаные твердые	40	5	—	ГОСТ 931—52
			Горячекатаные	35	20	—	ГОСТ 931—52
Латунь свинцовистая	ЛС74-3	Полосы и ленты	Мягкие	30	45	—	КАЗГМ2—55
			Полутвердые	39—49	8	—	КАЗГМ2—55
			Твердые	60	Не более 5	—	КАЗГМ2—55
	ЛС64-2	Прутки диам. 5—20 мм	Тянутые	60	0,5	—	ГОСТ 2060—48
	ЛС63-3	Прутки, ленты и полосы	Тянутые	60	0,5	—	ГОСТ 2060—48
			Мягкие	30	40	—	ГОСТ 4442—48
			Полутвердые	35—44	—	—	ГОСТ 4442—48
			Твердые	44—54	6	—	ГОСТ 4442—48
			Особотвердые	64	Не более 5	—	ГОСТ 4442—48
		Проволока диам., мм:	Мягкая				
		0,55—0,8		31	32	—	ЦМТУ 684—41
		0,9—4,0		30	35	—	ЦМТУ 684—41
		4,5—12,0		30	36	—	ЦМТУ 684—41
		Проволока диам., мм:	Полутвердая				
		0,55—0,8		40—56	3	—	ЦМТУ 684—41
		0,9—4,0		40—56	5	—	ЦМТУ 684—41
		4,5—12,0		46—56	5	—	ЦМТУ 684—41

Продолжение табл. 41

Наименование	Марка	Вид изделия	Состояние материала	Предел прочности при растяжении, *кг/мм²* (не менее)	Относительное удлинение, % (не менее)	Твердость по Бринелю, *кг/мм²*	ГОСТ или ТУ
Латунь свинцовистая	ЛС63-3	Проволока диам., *мм*:	Твердая				
		0,55—0,8		58—75	0,5	—	ЦМТУ 684—41
		0,9—4,0		68—75	0,5	—	
		4,5—12,0		60—75	0,5	—	
	ЛС60-1	Прутки	Тянутые	40	25	—	ЦМТУ $\frac{670\cdot40}{2906}$
	ЛС59-1	Прутки диам., *мм*:					
		35—100	Катаные	40	12	—	ГОСТ 2060—48
		5—40	Тянутые	40	12	—	
		10—120	Прессованные	37	18	—	
		Профили	То же	33	15	—	ЦМТУ 1317—46
		Трубы	» »	40	20	—	ГОСТ 494—52
		Ленты и полосы	Холоднокатаные:				
			мягкие	35	25	—	ГОСТ 931—52
			твердые	45	5	—	
		Листы и полосы	Горячекатаные	35	25	—	ГОСТ 931—52
		Проволока диам., *мм*:					
		2—4,8	Мягкая	35	30	—	ГОСТ 1066—50
		5—12	»	35	30	—	
		2—4,8	Твердая	45	5	—	
		5—12	»	43	8	—	
Латунь железистосвинцовая	ЛЖС58-1-1	Прутки диам., *мм*:					
		35—100	Катаные	45	10	—	ГОСТ 2060—48
		5—40	Тянутые	45	10	—	
		10—120	Прессованные	30	20	—	

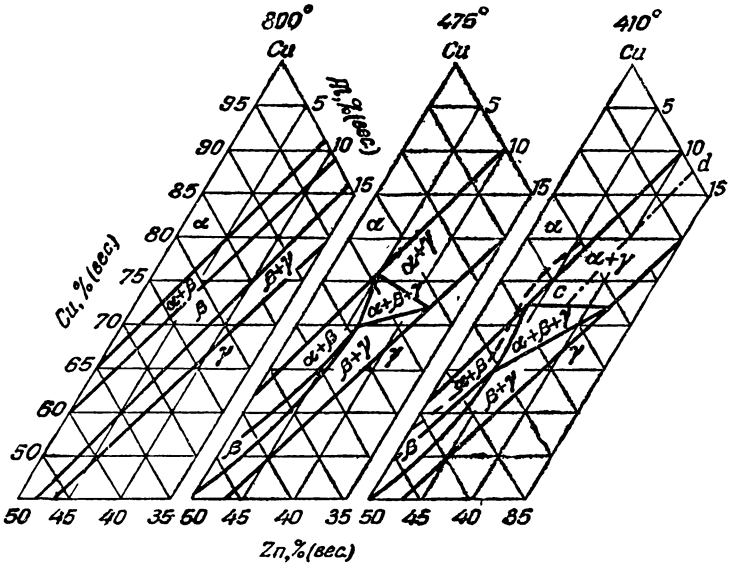


Рис 94 Изотермические разрезы диаграммы состояния медь—цинк—алюминий

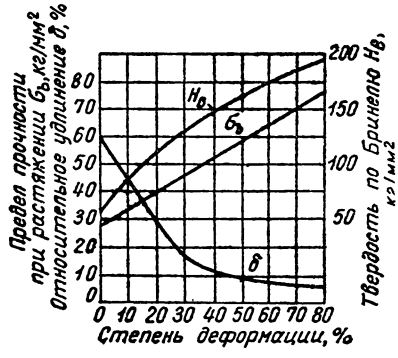


Рис. 95. Изменение механических свойств латуни ЛА85-0,5 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: лента, отожженная при 650° в течение 1 часа

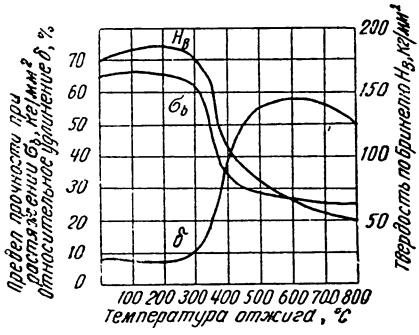


Рис. 96 Изменение механических свойств латуни ЛА85-0,5 в зависимости от температуры отжига Продолжительность отжига 1 час Исходный материал: полосы толщиной 1,2 *мм*, деформированные на 60%

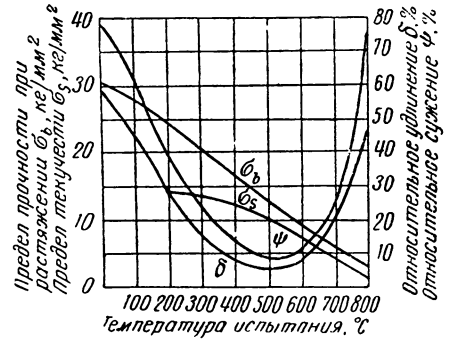


Рис. 97. Изменение механических свойств латуни ЛА85-0,5 при высоких температурах

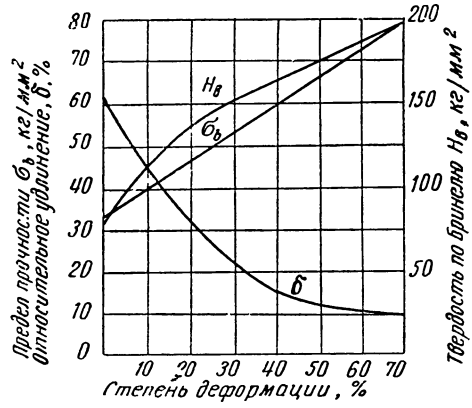


Рис. 98 Изменение механических свойств латуни ЛА77-2 в зависимости от степени деформации Исходный материал: полосы толщиной 1,2 *мм*, отожженные при 600° в течение 1 часа

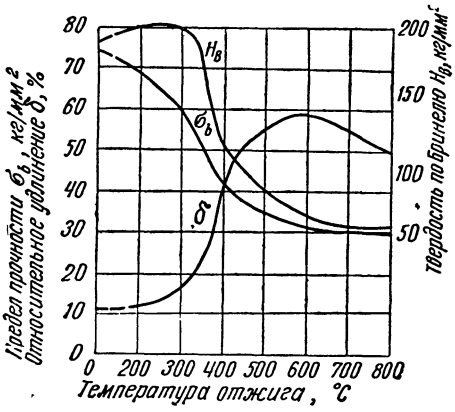


Рис. 99 Изменение механических свойств латуни ЛА77-2 в зависимости от температуры отжига Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: полосы толщиной 1,2 *мм*, деформированные на 60%

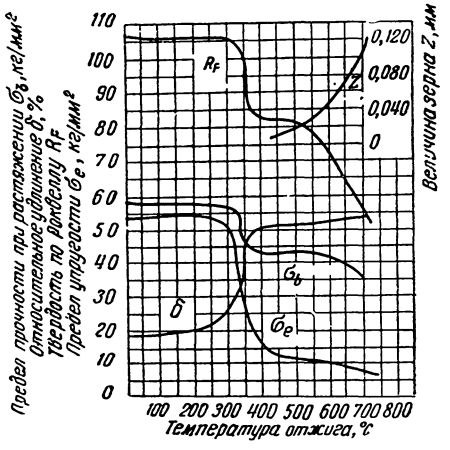


Рис. 100. Изменение механических свойств латуни ЛА77-2 в зависимости от температуры отжига Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: трубы конденсаторные, деформированные на 50%

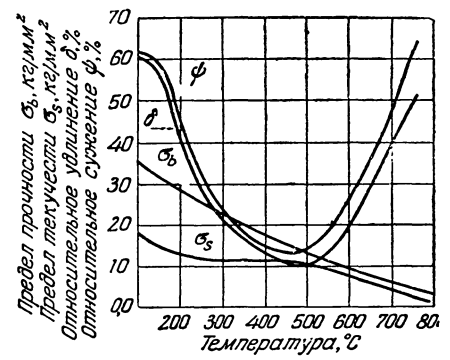


Рис. 101. Изменение механических свойств латуни ЛА77-2 при высоких температурах

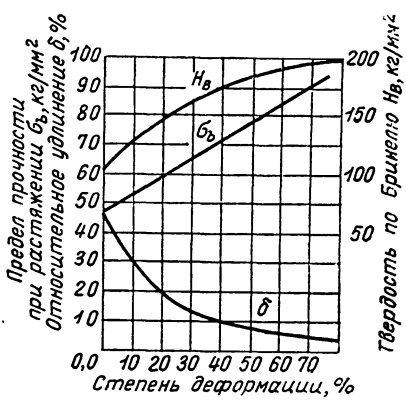


Рис. 102. Изменение механических свойств латуни ЛАЖ60-1-1 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: полосы, отожженные при 600° в течение 1 часа

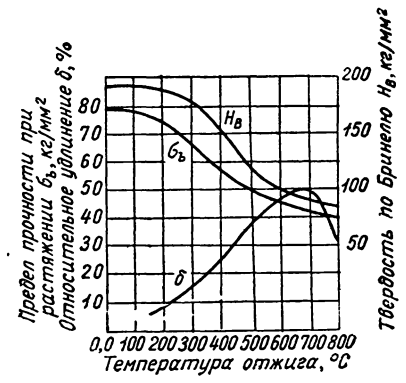


Рис. 103. Изменение механических свойств латуни ЛАЖ60-1-1 в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал. полосы толщиной 3 *мм*, деформированные на 50%

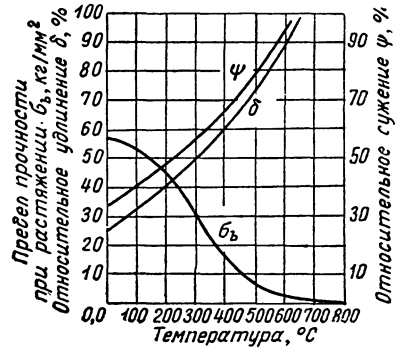


Рис. 104. Изменение механических свойств латуни ЛАЖ60-1-1 при высоких температурах. Исходный материал: полосы горячекатаные толщиной 3 *мм*

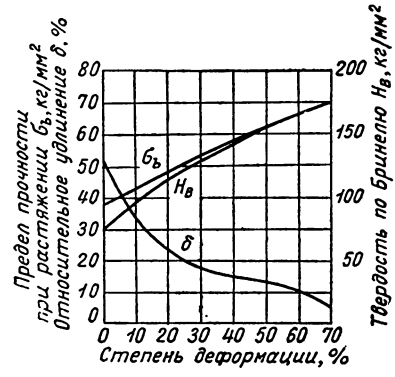


Рис. 105. Изменение механических свойств латуни ЛАН59-3-2 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: полосы толщиной 8 *мм*, отожженные при 600° в течение 1 часа

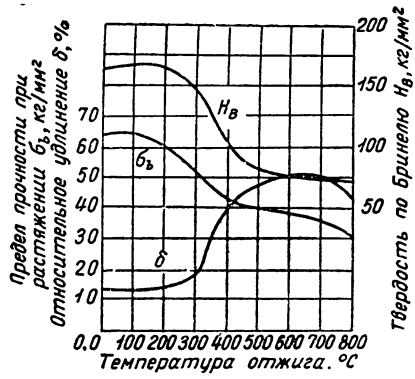


Рис. 106. Изменение механических свойств латуни ЛАН59-3-2 в зависимости от температуры отжига Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: полосы толщиной 3 *мм*, деформированные на 50%

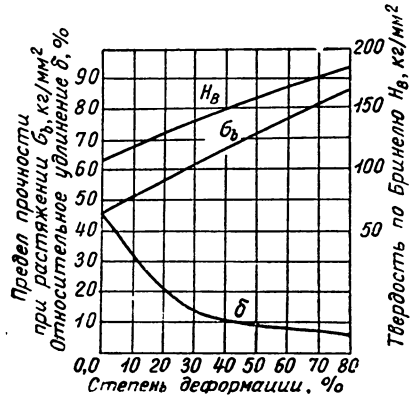


Рис. 107 Изменение механических свойств латуни ЛЖМц59-1-1 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: полосы мягкие толщиной 3 *мм*

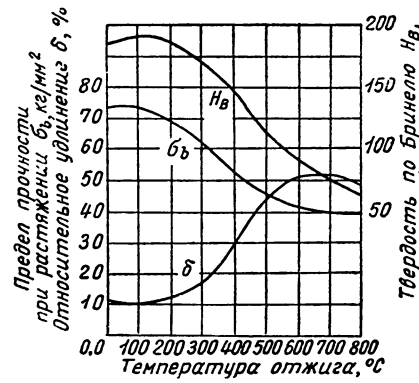


Рис. 108. Изменение механических свойств латуни ЛЖМц59-1-1 в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: полосы мягкие толщиной 3 *мм*, деформированные на 50%

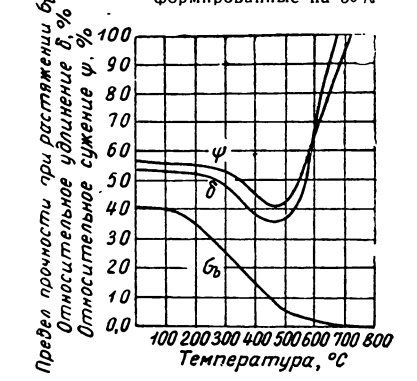


Рис. 109. Изменение механических свойств латуни ЛЖМц59-1-1 при высоких температурах. Исходный материал: полосы толщиной 3 *мм*, отожженные при 600° в течение 1 часа

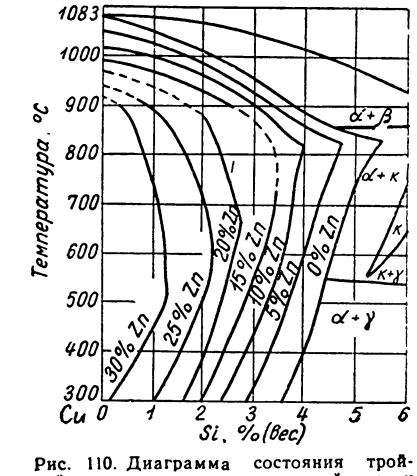


Рис. 110. Диаграмма состояния тройной системы медь — кремний — цинк (медный угол) Изменение предела насыщения области твердого α -раствора в зависимости от содержания кремния и цинка (А. П. Смирягин)

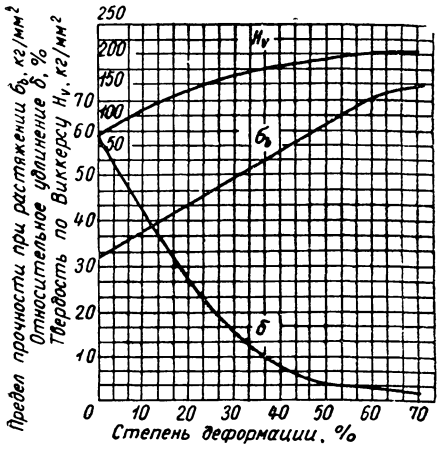


Рис. 111 Изменение механических свойств латуни ЛК80-3 (2,4% Si, 16% Zn, остальное Cu) в зависимости от степени деформации. Исходный материал: лента мягкая толщиной 1 *мм*

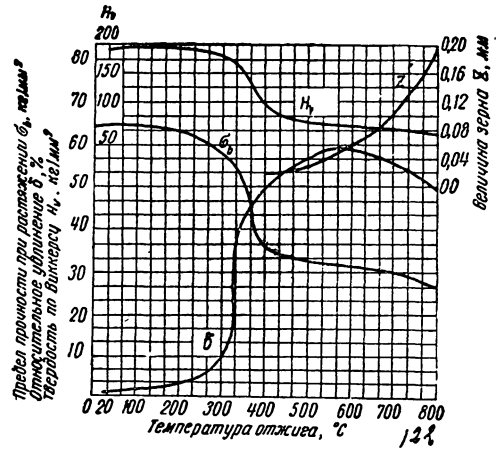


Рис. 112 Изменение механических свойств латуни ЛК80 3 (2,4% Si, 16% Zn, остальное Cu) в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: лента твердая толщиной 0,5 *мм*

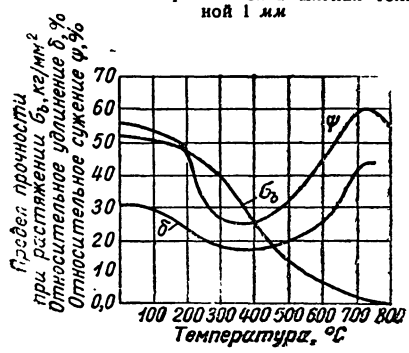


Рис. 113. Изменение механических свойств латуни ЛК80-3 при высоких температурах Исходный материал: прутки твердотянутые, отожженные при 300°

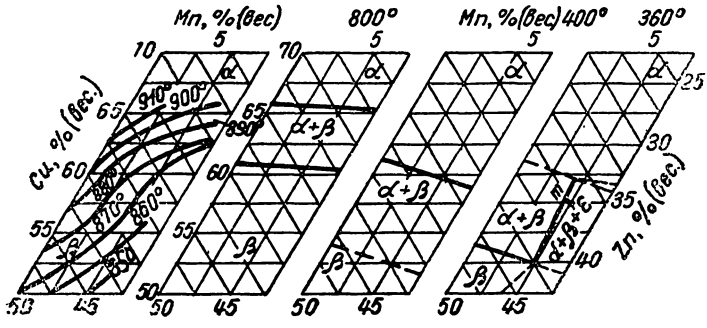


Рис. 114 Диаграмма состояния тройной системы медь—марганец - цинк Изотермы ликвидуса и областей твердых растворов

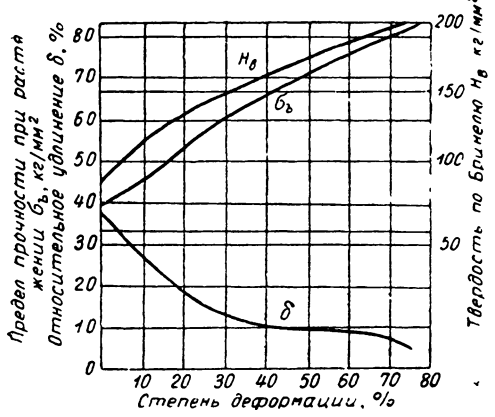


Рис 115 Изменение механических свойств латуни ЛМц58-2, в зависимости от степени деформации. Исходный материал полосы толщиной 1,2 *мм*, отожженные при 600° в течение 1 часа

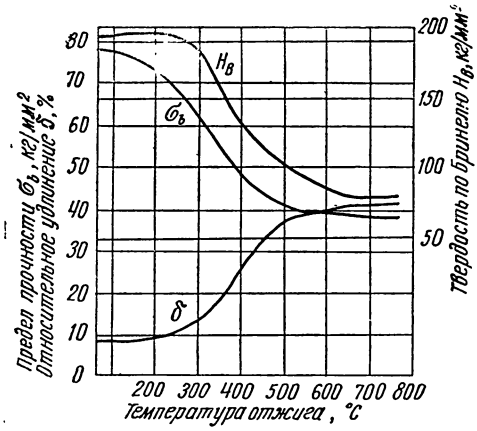


Рис. 116. Изменение механических свойств латуни ЛМц58-2 в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: полосы толщиной 1,2 *мм*, деформированные на 60%

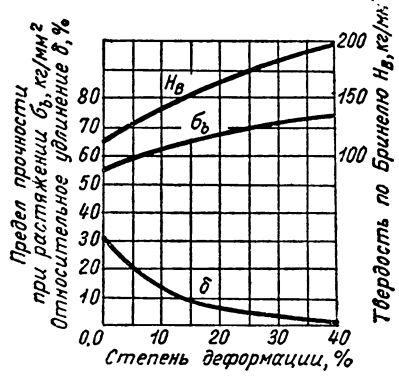


Рис. 117. Изменение механических свойств латуни ЛМцА57-3-1 в зависимости от степени деформации Исходный материал: полосы горячекатаные толщиной 2 *мм*

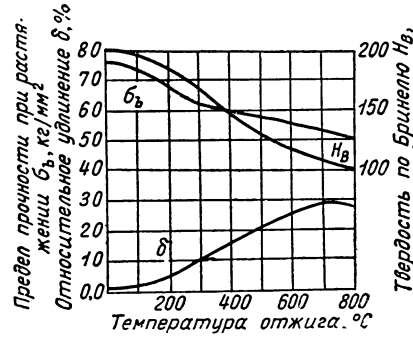
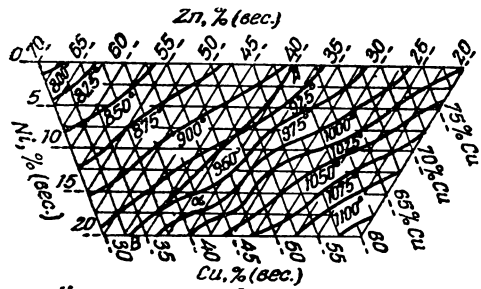
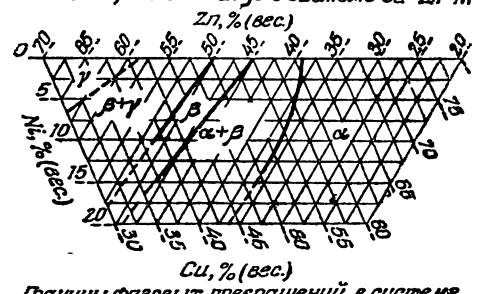


Рис. 118. Изменение механических свойств латуни ЛМцА57-3-1 в зависимости от температуры отжига Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: полосы горячекатаные толщиной 2 *мм*, деформированные на 40%





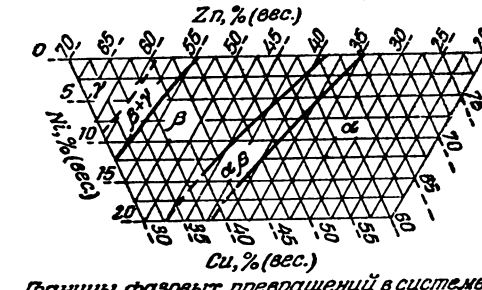


Рис. 119 Диаграмма состояния тройной системы медь—никель—цинк. Изотермы ликвидуса и областей твердых растворов

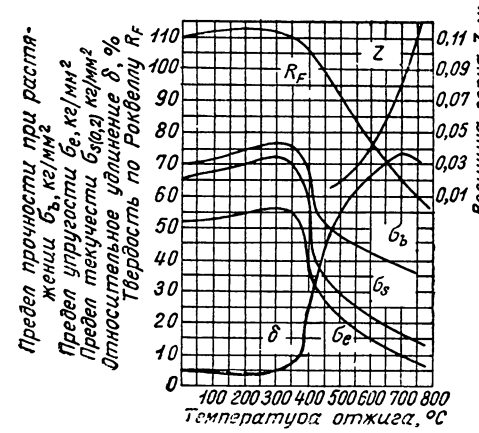


Рис. 120. Изменение механических свойств латуни Л165-5 в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 1 час Исходный материал: листы толщиной 1 *мм* с величиной зерна 0,015 *мм*, деформированные на 50%

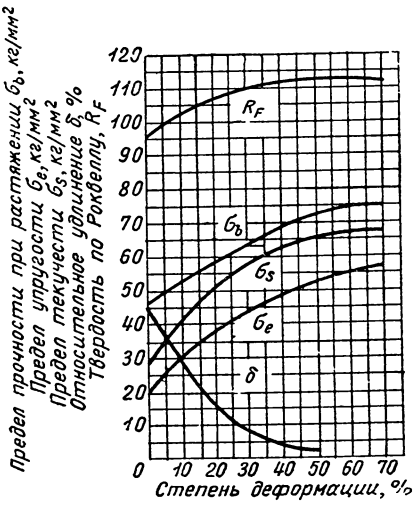


Рис. 121. Изменение механических свойств латуни ЛН65-5 в зависимости от степени деформации Исходный материал: листы мягкие толщиной 1 *мм* с величиной зерна 0 015 *мм*

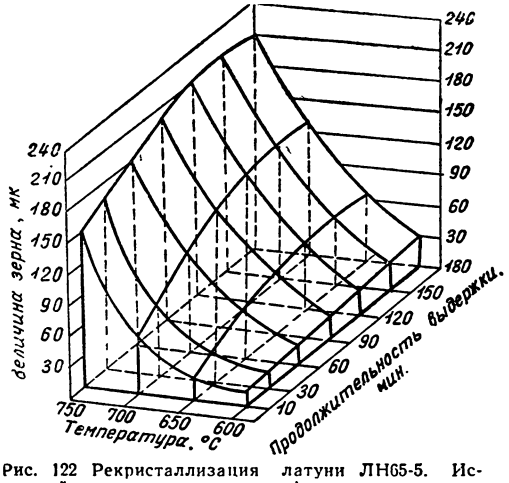


Рис. 122 Рекристаллизация латуни ЛН65-5. Исходный материал: листы деформированные на 62,9%

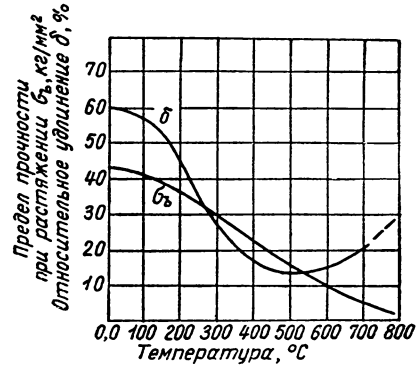


Рис. 123. Изменение механических свойств латуни ЛН-65-5 при высоких температурах

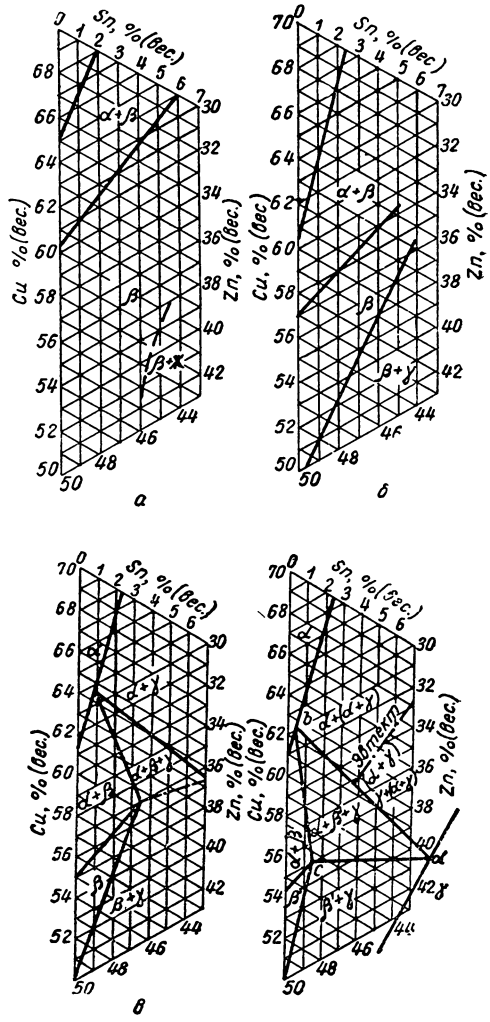


Рис. 124. Диаграмма состояния тройной системы медь — олово — цинк Изотермические разрезы при 800, 600, 500 и 400°:
а — 800°; *б* — 600°; *в* — 500°; *г* — 400°

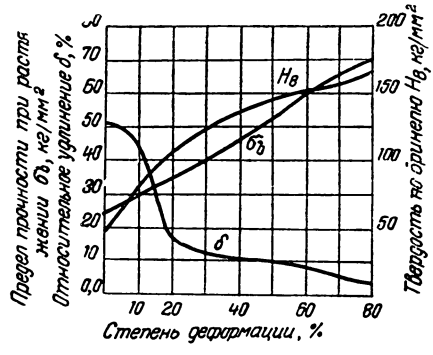


Рис. 125 Изменение механических свойств латуни ЛО90-1 в зависимости от степени деформации Исходный материал: полосы толщиной 3 *мм*, отожженные при 600° в течение 1 часа

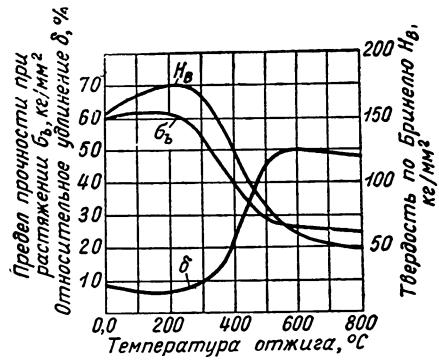


Рис. 126 Изменение механических свойств латуни ЛО90-1 в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 1 час Исходный материал: полосы толщиной 3 *мм*, деформированные на 60%

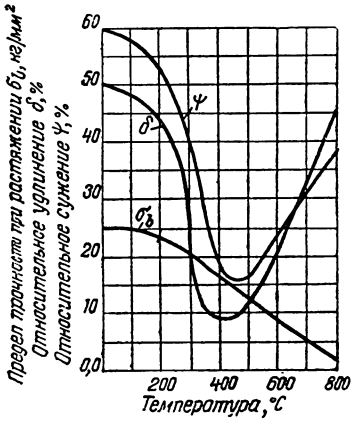


Рис. 127 Изменение механических свойств латуни ЛО90-1 при высоких температурах

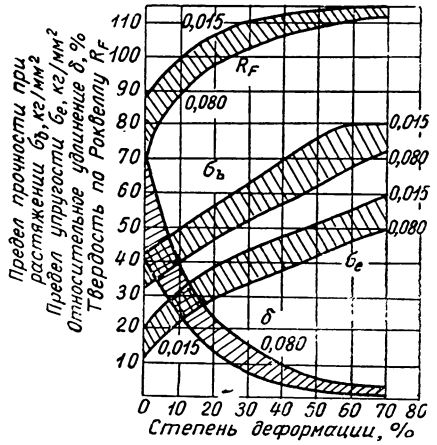


Рис. 128 Изменение механических свойств латуни ЛО70-1 в зависимости от степени деформации и величины зерна. Исходный материал: листы мягкие толщиной 1 *мм* с величиной зерна 0,015 и 0,08 *мм*

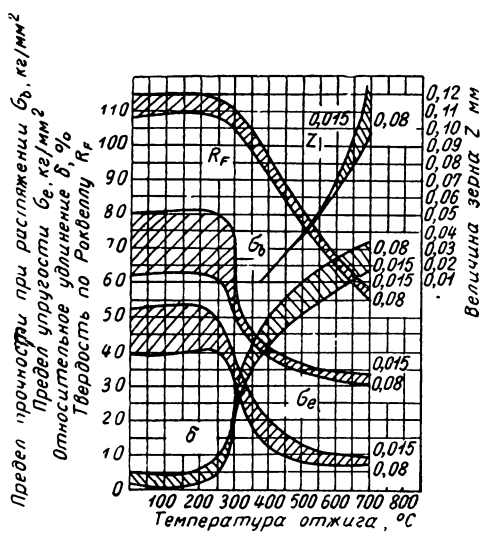


Рис. 129. Изменение механических свойств латуни ЛО70-1 в зависимости от температуры отжига Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: листы толщиной 1 *мм* с величиной зерна 0,015 и 0,08 *мм*, деформированные на 50%

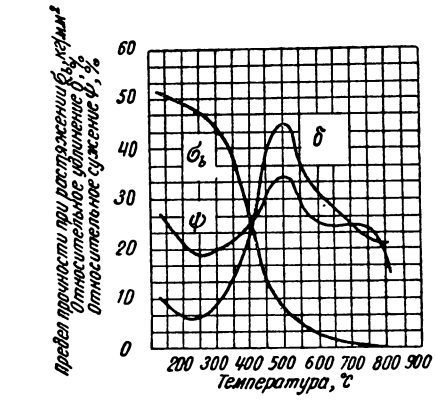


Рис. 130. Изменение механических свойств латуни ЛО70-1 при высоких температурах. Исходный материал: прутки диаметром 25 *мм*, деформированные на 35%

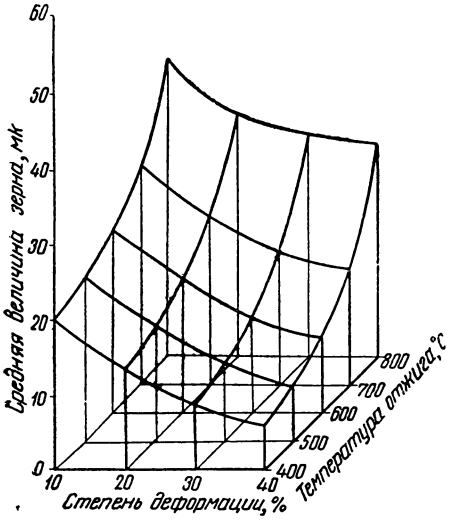


Рис. 131. Рекристаллизация латуни ЛО70-1

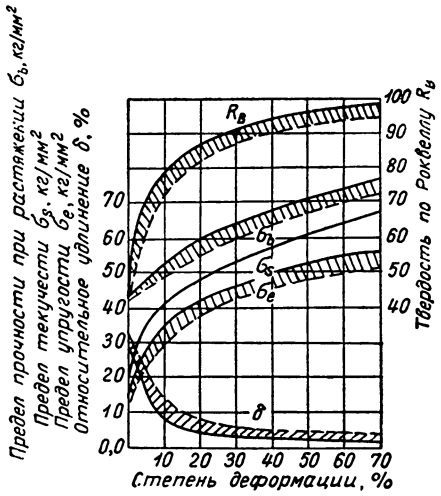


Рис. 132. Изменение механических свойств латуни ЛО62-1 в зависимости от степени деформации и величины зерна. Исходный материал: ленты мягкие толщиной 1 *мм*.
——— — материал с зерном 0.015 *мм*;
— — — то же, 0.08 *мм*

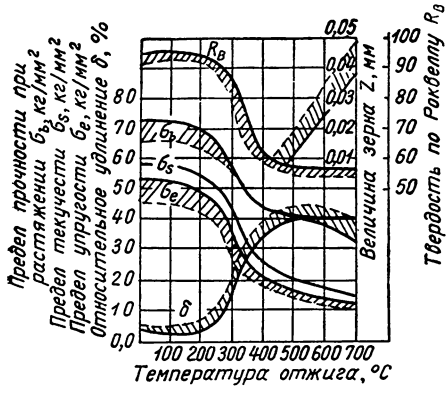


Рис. 133. Изменение механических свойств латуни Л062-1 в зависимости от температуры отжига и величины зерна. Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал ленты толщиной 1 *мм*, деформированные на 50%.
———материал с зерном 0,015 *мм*;
— — — то же, 0,08 *мм*

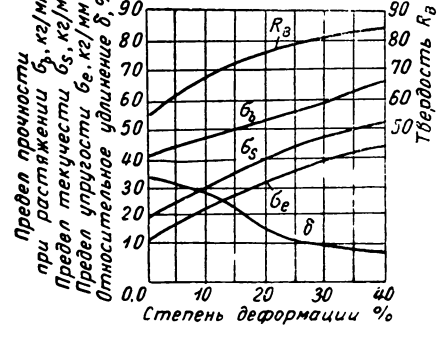
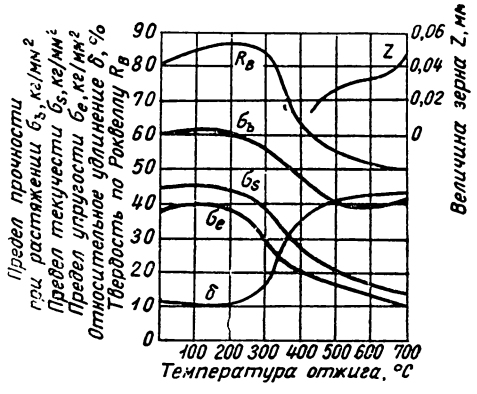


Рис 134. Изменение механических свойств латуни ЛО60-1 в зависимости от степени деформации Исходный материал: прутки мягкие диаметром 25 *мм* с величиной зерна 0,025 *мм*

Рис. 135 Изменение механических свойств латуни ЛО60-1 в зависимости от температуры отжига Продолжительность отжига 1 час Исходный материал: прутки диаметром 25 *мм*, деформированные на 30%



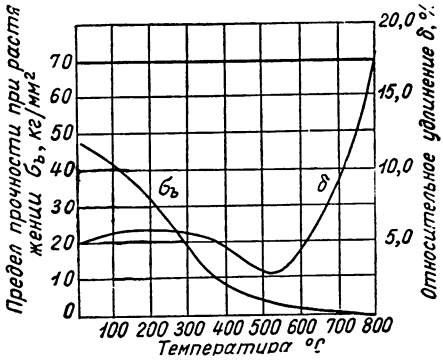


Рис 136 Изменение механических свойств латуни ЛО60-1 при высоких температурах

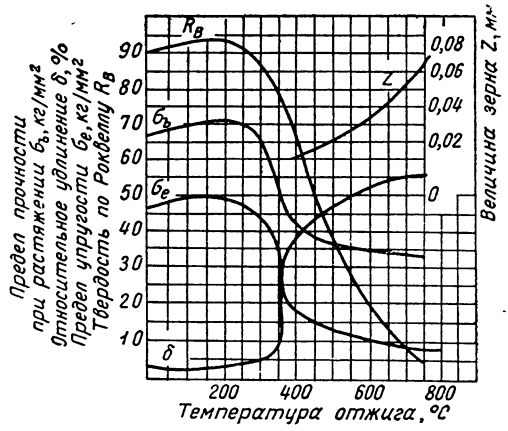


Рис. 139. Изменение механических свойств латуни ЛС74-3 в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: полосы толщиной 1 *мм* с величиной зерна 0,015 *мм*, деформированные на 50%

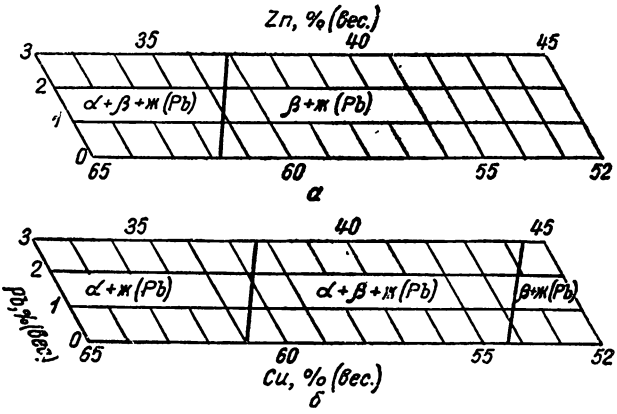


Рис. 137. Диаграмма состояния тройной системы медь — свинец—цинк. Изотермические разрезы при 850 (*а*) и 400 (*б*) °С

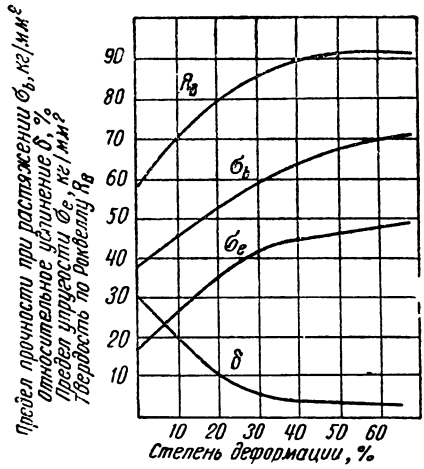


Рис. 138. Изменение механических свойств латуни ЛС74-3 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: полосы мягкие толщиной 1 *мм* с величиной зерна 0,015 *мм*

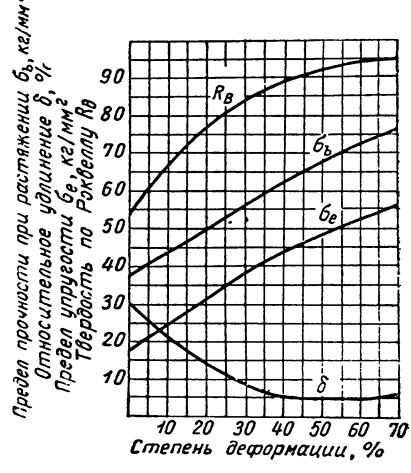


Рис. 140. Изменение механических свойств латуни ЛС64-2 в зависимости от степени деформации Исходный материал: полосы мягкие толщиной 1 *мм* с величиной зерна 0,015 *мм*

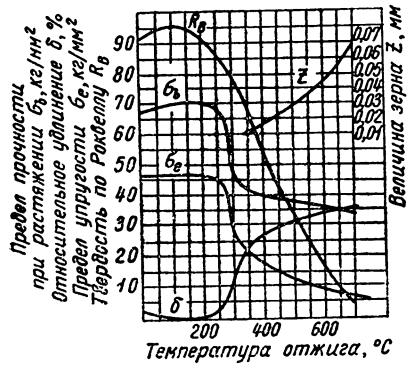


Рис. 141. Изменение механических свойств латуни ЛС64-2 в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 1 час Исходный материал полосы толщиной 1 *мм* с величиной зерна 0,015 *мм*, деформированные на 50%

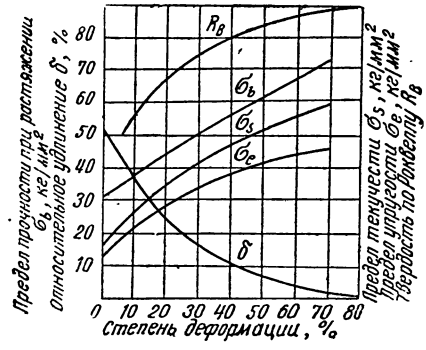


Рис. 142. Изменение механических свойств латуни ЛС63-3 в зависимости от степени деформации Исходный материал: полосы, деформированные и отожженные при 600° в течение 1 часа

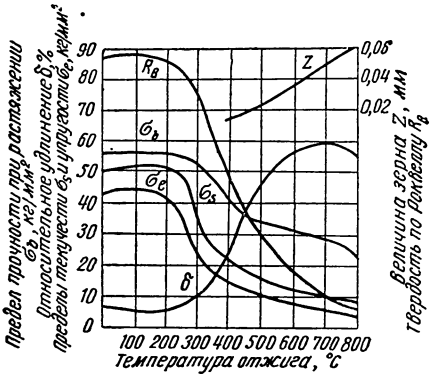


Рис. 143 Изменение механических свойств латуни ЛС63-3 в зависимости от температуры отжига Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: полосы, деформированные на 40%

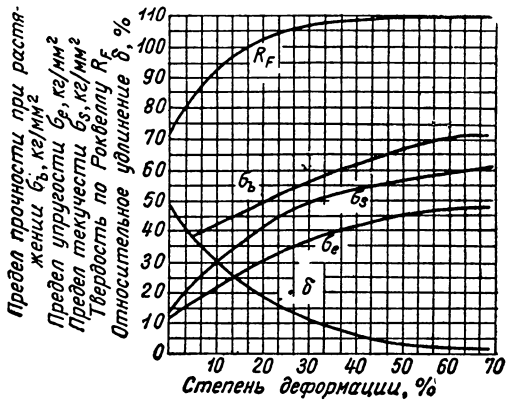


Рис. 144. Изменение механических свойств латуни ЛС60-1 в зависимости от степени деформации Исходный материал: листы мягкие толщиной 1 *мм* с величиной зерна 0,015 *мм*

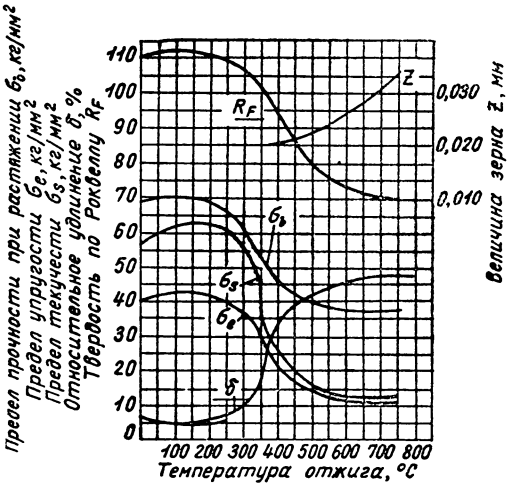
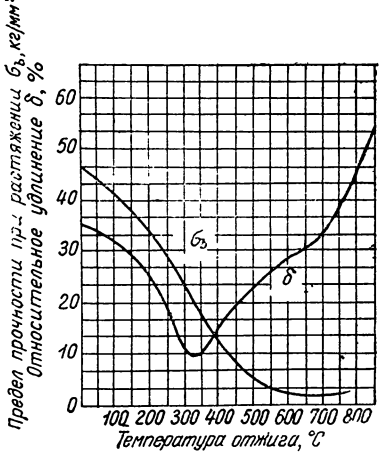


Рис. 145. Изменение механических свойств латуни ЛС60-1 в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 1 час Исходный материал: листы толщиной 1 *мм* с величиной зерна 0,015 *мм*, деформированные на 50%

Рис 146 Изменение механических свойств латуни ЛС60-1 при высоких температурах



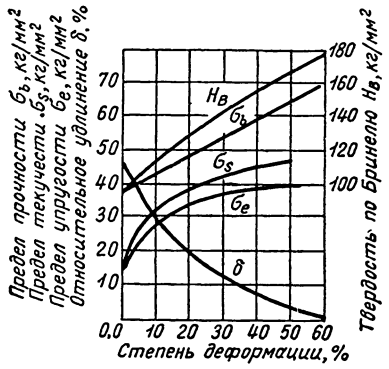


Рис. 147 Изменение механических свойств латуни ЛС59-1 в зависимости от степени деформации. Исходный материал полосы толщиной 2 *мм*, отожженные при 600° в течение 1 часа Величина зерна 0,02 *мм*

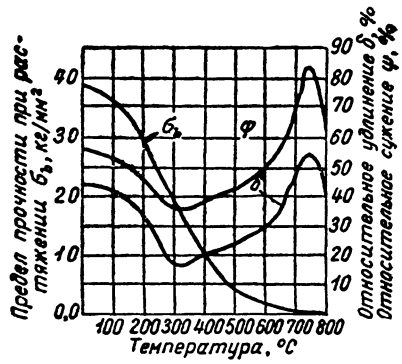


Рис. 149. Изменение механических свойств латуни ЛС59-1 при высоких температурах Исходный материал полосы толщиной 3 *мм*, отожженные при 600° в течение 1 часа

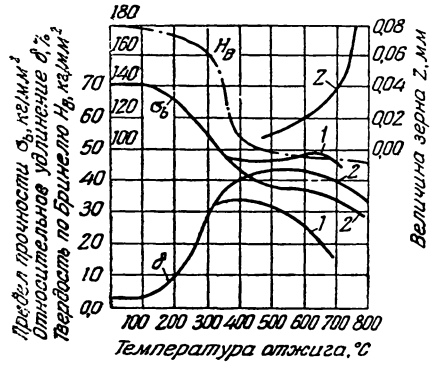


Рис. 148. Изменение механических свойств латуни ЛС59-1 в зависимости от температуры отжига Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: полосы толщиной 2 *мм*, деформированные на 50%: *1* — закалка; *2* — медленное охлаждение

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А Бочвар: Металловедение, Металлургиздат, 1956
2 Справочник машиностроителя, Т. VI, гл. 6, Цветные металлы и сплавы. Машгиз, 1956.
3 П И. Градусов. Справочник по цветным металлам. ОНТИ, 1938
4 В В Жолобов и Н И. Зедин. Металлографический атлас по меди и медным сплавам, Металлургиздат, 1949
5 Коррозия металлов, под ред. Скорчеллетти В В, Госхимиздат 1952.
6 А П Смирягин. Промышленные цветные металлы и сплавы. Металлургиздат 1956.
7 Машиностроение Энциклопедический справочник, Т. IV, разд II, Машгиз, 1947.
8 В Д. Туркин и М. В. Румянцев. Структура и свойства цветных металлов, Металлургиздат, 1947
9. R. A. Wilkins and E. S. Bunn. Copper and Copper Base Alloys, New York and London, 1943.
10. Max. Hansen. Constitution of Binary Alloys, New York, Toronto, London, 1958.
11. С. Т Конобеевский, В. Т. Тарасова. ЖЭТФ, 1931, № 4.
12 А. П Смирягин, А. В. Новиков, А. С. Ануфриев, А. И. Барбиков, С И. Ильин. Сборник научных работ Гипроцветметобработки, вып 13, Металлургиздат, 1952.
13. А. П Смирягин, О. С. Квурт. Сборник научных работ Гипроцветметобработки, вып. 12, Металлургиздат, 1950.
14. А. П Смирягин, А. В. Белова. Оловянистые бронзы. ОБС, вып. 10, 1932.
15. А П. Смирягин и А И. Шпагин. Оловянистые бронзы, баббиты, припои и их заменители, Металлургиздат, 1949.
16. А. А. Бочвар, В. Д. Туркин и М. В Захаров. Цветные металлы, 1941, № 5.
17. А. Е. Вол. Кремнистые бронзы и их промышленное применение, ОНТИ, 1935.
18 Р. С. Дин, И Р. Ланг и др. TASM, Медномарганцевые сплавы, 1947, стр. 38
19 С. И Мещеряков и др. Сборник научных работ Гипроцветметобработки, вып. 13, Металлургиздат, 1952.
20 А. П Смирягин Границы твердого раствора альфа в системе медь — алюминий — никель. Изв АН СССР, сектор физико-химического анализа, 1946, т. 16, вып 2
21. А. П. Смирягин, О С Квурт Сборник научных работ Гипроцветметобработки, вып. 14, Металлургиздат, 1952.
22. А. П Смирягин, А В. Белова. Цветные металлы, 1933, № 5 и № 6
23. А. П. Смирягин. Сборник научно-исследовательских работ Цниоцветмет, вып. 1, Металлургиздат, 1941.
24. А. П Смирягин. Исследование специальных бронз, ОБС, 1933, вып. 28
25. А П Смирягин. Медные сплавы с кремнием Сборник работ по металлообработке и сплавам, ОНТИ, 1937.
26 О Бауэр и М. Гансен. Строение медно-цинковых сплавов НКТП, 1935
27. П. И. Градусов. Раскисление цветных сплавов, ОНТИ, 1936.
28. А П. Курдюмов. Монография о медно-цинковых сплавах, СПБ, 1904.
29. Б Ф. Рукин. Цветные металлы, 1940, № 4, 5, 6.
30 А. П Смирягин. Сборник работ Гипроцветметобработки, вып. 19, Металлургиздат, 1945.
31. А. П Смирягин Реферативный сборник работ института Гипроцветметобработки, Металлургиздат, 1944.
32. Шиммель. Металлография технических медных сплавов, под ред. и с дополнениями проф А. М. Бочвара, ОНТИ, 1933.

ГЛАВА III

НИКЕЛЬ, НИКЕЛЕВЫЕ И МЕДНОНИКЕЛЕВЫЕ СПЛАВЫ

Никель, сплавы на никелевой основе и медноникелевые сплавы имеют весьма важное значение в технике.

Никель и его сплавы нами разделены на три группы. Марки никеля различной чистоты и марки малолегированного никеля, выпускаемого в виде полуфабрикатов, отнесены к первой группе. Никелевые и медноникелевые сплавы в соответствии с их физико-химическими, механическими свойствами и областями применения разделены на конструкционные сплавы, которые составляют вторую группу, и термоэлектродные сплавы и сплавы сопротивления, отнесенные к третьей группе.

§ 1. НИКЕЛЬ

Никель, имея высокую коррозионную стойкость и высокую температуру плавления, отлично обрабатывается давлением в горячем и холодном состояниях и получил широкое распространение в различных областях промышленности.

В табл. 42 приведен химический состав марок никеля по ГОСТ 849—56 и ГОСТ 492—52. В табл. 43 приведен химический состав марок электролитического никеля высокой чистоты, в табл. 44 — химический состав марок никеля, применяемого в электровакуумной промышленности, в табл. 45— физические и механические свойства технического никеля.

На диаграммах (рис. 150—155) показаны свойства никеля в различных состояниях.

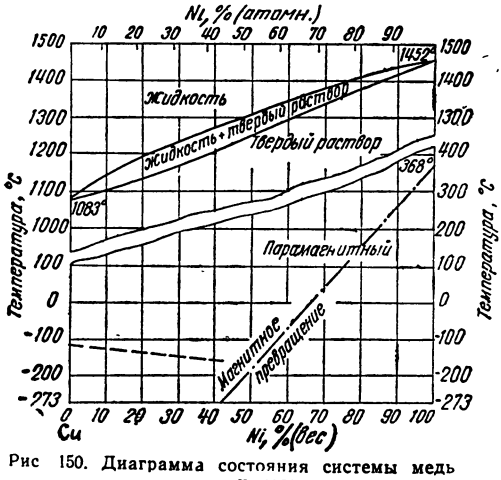


Рис 150. Диаграмма состояния системы медь никель

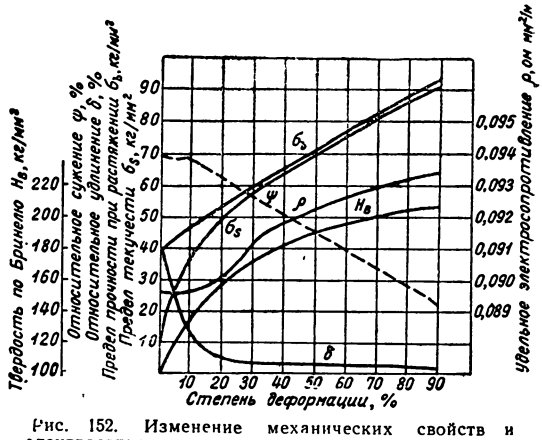


Рис. 152. Изменение механических свойств и электросопротивления технического никеля в зависимости от степени деформации

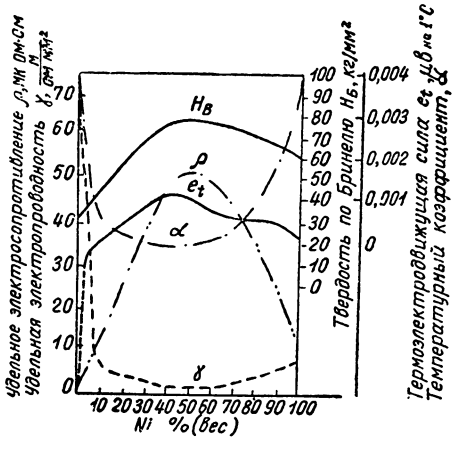


Рис. 151. Изменение физических свойств и твердости сплавов системы медь — никель в зависимости от химического состава

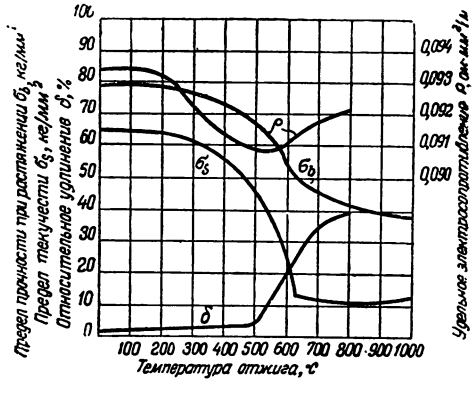


Рис. 153. Изменение механических свойств и электросопротивления технического никеля в зависимости от температуры отжига

Таблица 42

Химический состав никеля разных марок по ГОСТ 492—52 с изменениями от 13 октября 1958 г. № 597 и по ГОСТ 849—56, %

Марки по ГОСТ 849—56	Марки по ГОСТ 492—52	
Н0	Никель полуфабрикатный высокой чистоты, полученный дуговой плавкой . . .	НП0
Н1	Никель полуфабрикатный, полученный электровакуумной плавкой	НП1
Н2	Никель полуфабрикатный	НП2, НП3, НП4
Н3	Никель полуфабрикатный анодный, не пассивирующийся	НПАН
Н4	Никель полуфабрикатный анодный	НПА1, НПА2

Элементы	Марки никеля												
	Н0	Н1	Н2	Н3	Н4	НП0	НП1	НП2	НП3	НП4	НПАН	НПА1	НПА2
Компоненты													
Никель + кобальт	99,99	99,93	99,8	98,6	97,6	99,98	99,9	99,5	99,3	99,0	99,4	99,7	99,0
В том числе кобальта, не более	0,005	0,10	0,15	0,7	0,7	—	—	—	—	—	—	—	—
Медь	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,01—0,10	—	—
Кислород	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,03—0,3	—	—
Сера	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,002—0,01	—	—
Кремний	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Примеси											—		
Углерод	0,005	0,01	0,02	0,1	0,15	0,005	0,01	0,10	0,15	0,20		0,02	0,1
Магний	0,001	0,001	—	—	—	0,003	0,01	0,10	0,10	0,10	—	0,10	0,10
Кремний	0,001	0,002	0,002	—	—	0,003	0,03	0,15	0,15	0,15	0,03	0,03	0,2
Фосфор	0,001	0,001	—	—	—	0,001	0,001	0,002	—	—	—	—	—
Сера	0,001	0,001	0,003	0,03	0,04	0,001	0,001	0,005	0,015	0,015	—	0,005	0,005
Марганец	0,001	—	—	—	—	0,002	0,002	0,05	0,20	0,20	—	—	—
Железо	0,002	0,01	0,04	—	—	0,007	0,04	0,10	0,15	0,30	0 10	0,10	0,25
Медь	0,001	0,02	0,04	0,6	1,0	0,001	0,015	0,10	0,15	0,15	—	0,1	0,15
Цинк	0,001	0,001	0,005	—	—	0,002	0,005	0,007	—	—	—	—	—
Мышьяк	0,001	0,001	—	—	—	0,001	0,001	0,002	—	—	—	—	—
Кадмий	0,0003	0,001	—	—	—	0,0003	0,001	0,002	—	—	—	—	—
Олово	0,0003	0,001	—	—	—	0,001	0,001	0,002	—	—	—	—	—
Сурьма	0,0003	0,001	—	—	—	0,0003	0,001	0,002	—	—	—	—	—
Свинец	0,0003	0,001	—	—	—	0,0003	0,001	0,002	—	—	—	—	—
Висмут	0,0003	0,001	—	—	—	0,0003	0,001	0,002	—	—	—	—	—
Всего примесей	0,01	—	—	—	—	0,02	0,1	0,5	0,70	1,0	0,6	0,3	1,0

Примечания: 1. В никеле марки Н0 допускается содержание алюминия не более 0,001%.
2. По требованию потребителя, в никеле марки НП1 содержание кремния должно быть не более 0,006 %.
3. Методы химического анализа по ГОСТ 634—56; методы спектрального анализа по ГОСТ 6012—51.

Таблица 43

Химический состав электролитического никеля высокой чистоты (по МПТУ 2184—50), %

Наименование элементов	Марка никеля			
	Н00	Н-экстра	Н000	Н0000
Никель+кобальт (не менее)	99,80	99,85	99,9	99,99
В том числе кобальт (не более)	0,2	0,15	0,15	0,005
Железо	0,04	0,03	0,01	Сумма примесей не более 0,01% причем серы, мышьяка, сурьмы, свинца, висмута, цинка, олова, фосфора и кадмия должно быть менее 0,001% каждого
Кремний	0,002	0,002	0,002	
Углерод	0,04	0,02	0,02	
Сера	0,004	0,001	0,001	
Медь	0,06	0,03	0,02	
Мышьяк	0,002	0,001	0,001	
Сурьма	0,002	0,001	0,001	
Свинец	0,002	0,001	0,001	
Висмут	0,002	0,001	0,001	
Цинк	0,002	0,001	0,001	
Олово	0,002	0,001	0,001	
Фосфор	0,002	0,001	0,001	
Кадмий	0,002	0,001	0,001	

Таблица 44

Химический состав различных марок никеля, применяемых в электровакуумной промышленности, %

Наименование элементов	Марка никеля и ГОСТ					
	ЛНО по ЦМТУ 3104—52	ЛНК по ЦМТУ 3104—52	ЛНМ по ЦМТУ 3104—52	Никель чистый по ГОСТ 2179—52	Никель кремнистый по ГОСТ 2179—52	Никель по МПТУ 2305—49
Компоненты						
Никель и кобальт в сумме (не менее)	99,5	99,4	99,6	99,5	99,4	99,5
Кремний	—	0,15—0,25	—	—	0,1—0,25	—
Магний	—	—	0,07—0,15	—	—	—
Примеси, не более						
Кремний	0,1	—	0,02	0,15	—	0,15
Магний	0,1	0,05	—	0,1	0,1	0,1
Железо	0,1	0,07	0,07	0,1	0,1	0,25
Марганец	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Медь	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1	0,1
Углерод	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1	0,1
Сера	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,008
Сурьма	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Висмут	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Фосфор	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Цинк	0,007	0,007	0,007	0,002	0,002	0,002
Олово	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Кадмий	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Мышьяк	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Свинец	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Всего	0,5	0,5	0,4	0,5	0,45	0,5
Примерное назначение:	Ленты для электровакуумной промышленности			Проволока для электровакуумной промышленности		Трубы для электровакуумной промышленности

Таблица 45

Физические и механические свойства технического никеля марки НТ

Наименование	Значение	Состояние материала
Атомный вес	58,69	—
Плотность при 20°, *г/см*^{3}	8,90	—
Температура плавления, °С	1455	—
Скрытая теплота плавления, *кал/г*	73,8	—
Температура кипения, °С	2900	—
Скрытая теплота парообразования, *кал, г*	1400	—
Удельная теплоемкость при 0—100°, *кал/г·°С*	0,112	—
Теплопроводность при 0—100°, *кал/см·сск·°С*	0,142	—
Коэффициент линейного расширения $\alpha_{0-100°}$	$13{,}7\cdot10^{-6}$	—
Удельное электросопротивление при 20°, *ом·мм*^{2}*/м*	0,082—0,092	—
Температурный коэффициент электросопротивления $\alpha_{20-100°}$	0,0052—0,0069	—
Поверхностное натяжение при 1455°, *дин/см*	1350	—
Стандартный электродный потенциал, *в*	0,25	—
Электрохимический эквивалент для двухвалентного никеля, *г/а-ч*	1,09	—
Модуль нормальной упругости, *кг/мм*^{2}	21 000	—
Модуль сдвига, *кг/мм*^{2}	7 300	—
Предел упругости, *кг/мм*^{2}	8,0	Отожженный
Предел текучести, *кг/мм*^{2}	12,0	»
То же	70	Деформированный
Предел ползучести при 500°, *кг/мм*^{2}	16,7	Отожженный
Предел усталости на базе 10^7 циклов, *кг/мм*^{2}	16,8	»
То же	29	Деформированный
Предел прочности при растяжении, *кг/мм*^{2}	40—50	Отожженный
То же	75—90	Деформированный
Относительное удлинение, %	35—40	Отожженный
То же	2—4	Деформированный
Относительное сужение, %	70	Отожженный
Твердость по Бринелю, *кг/мм*^{2}	60—70	Литой
То же	70—90	Отожженный
То же	200	Деформированный
Ударная вязкость, *кгм/см*^{2}	18	Отожженный

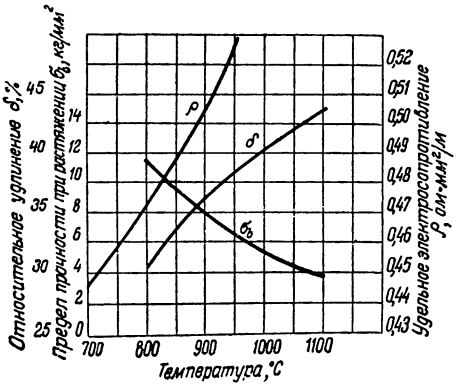


Рис. 154 Изменение свойств технического никеля при высоких температурах

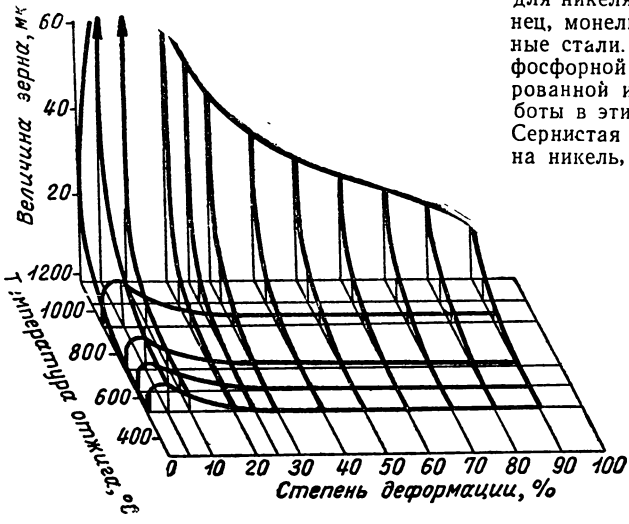


Рис. 155. Рекристаллизация никеля марки Н0

1. Коррозионные свойства никеля

В атмосферных условиях никель по сравнению с другими техническими металлами является наиболее коррозионно-стойким. В закрытом помещении никель и никелевые покрытия менее окисляются, чем серебро и сплавы на медной основе. Под открытым небом никель также весьма устойчив вследствие образования на его поверхности очень тонкой и прочной защитной пленки.

Воздух промышленных районов, содержащий сернистый газ и сероводород, более агрессивен. Скорость коррозии никеля в промышленных районах равна 0,001—0,004 *мм/год*, в морской атмосфере 0,0001—0,00013 *мм/год*, в сельской местности 0.00003—0,00018 *мм/год*.

В дистиллированной воде никель практически не корродирует. В естественной пресной воде скорость коррозии никеля ничтожна, менее 0,003 *мм/год*. Если в воде присутствуют соединения серы, никель также устойчив, но тускнеет. Высокая концентрация ионов хлора и углекислого газа в воде может вызвать точечную коррозию никеля. Паровой конденсат действует на никель весьма незначительно, однако в паровом конденсате, насыщенном воздухом и углекислым газом (30% воздуха и 70% CO_2), скорость коррозии никеля при температуре 120° повышается до 0,22 *мм/год*. В морской воде и рудничных водах никель также достаточно устойчив: скорость коррозии никеля в морской воде в среднем равна 0,13 *мм/год*, а в рудничных водах, в зависимости от состава,—0,0013—0,61 *мм/год*.

Минеральные кислоты, особенно азотная и азотистая, весьма сильно действуют на никель. Никель устойчив лишь в слабых растворах азотной кислоты (концентрация менее 0,5%) при температуре 20° и ниже. Соляная кислота довольно сильно действует на никель. Серная кислота менее агрессивна для никеля, все же он менее стоек, чем свинец, монель-металл и некоторые специальные стали. Никель быстро корродирует в фосфорной кислоте, особенно в концентрированной и неочищенной, поэтому для работы в этих средах никель не применяется. Сернистая кислота весьма сильно действует на никель, особенно при повышенной температуре и концентрации. Прочие кислоты, содержащие окислительные соли (хроматы, бихроматы, нитраты, перекиси и окисные соли железа и меди), также весьма сильно увеличивают скорость коррозии никеля.

Щелочные и нейтральные растворы солей (карбонаты, нитраты, сульфаты, хлориды, ацетаты) на никель влияют весьма незначительно (со скоростью 0,013 *мм/год*); растворы кислых солей действуют на никель заметно сильнее (до 1 *мм/год*). Никель сильно корродирует в кислых растворах солей хлорного железа, меди и ртути, особенно в присутствии окислительных солей. Растворы солей хлорноватистой кислоты сильно действуют на никель, однако добавки к ним жидкого стекла в количестве 0,5 *см*³ на литр в 5—10 раз уменьшают скорость коррозии никеля.

Органические кислоты умеренно влияют на коррозию никеля, однако в аэрированных уксусной и муравьиной кислотах при повышенных температурах скорость коррозии никеля резко повышается. Никель отлично сопротивляется действию жирных кислот даже при повышенных температурах.

Никель не токсичен, не разрушает витаминов и широко используется в пищевой промышленности. Никелевая посуда рекомендуется для нагрева.

В растворах едких щелочей никель весьма устойчив даже при высоких температурах (0,01—0,003 *мм/год*) вследствие образования на его поверхности прочной защитной пленки.

Никель в безводном аммиаке не подвергается коррозии. В концентрированных растворах аммиака (более 10%) и в присутствии воздуха никель заметно корродирует.

Сухие газы (галогены, окислы азота, сернистый газ и аммиак) при комнатной температуре на никель не действуют, однако скорость коррозии никеля заметно возрастает в присутствии влаги.

Чистый никель в напряженном состоянии не склонен к коррозионному растрескиванию.

§ 2. КОНСТРУКЦИОННЫЕ СПЛАВЫ

К этой группе относятся: никель кремнистый, никель марганцевый, монель, мельхиор и нейзильбер. Эти сплавы отличаются высокими механическими и коррозионными свойствами.

1. Влияние компонентов и примесей

Алюминий как в никеле, так и в меди растворим в твердом состоянии в значительном количестве. Его с большим успехом применяют при плавке никелевых и медноникелевых сплавов как раскислитель и дегазатор. В сплавах типа монель алюминий играет роль облагораживающего элемента, повышая механические и коррозионные свойства этих сплавов.

Железо с никелем образует непрерывный ряд твердых растворов. В никелевых сплавах железо также находится в виде твердого раствора и оказывает положительное влияние на технологические свойства этих сплавов. В мельхиоре, применяемом для конденсаторных труб, железо до содержания 1,5% влияет положительно, повышая прочность этого сплава. Конденсаторные трубы из мельхиора, содержащего железо, весьма устойчивы в отношении ударной (струйной) коррозии.

Кремний ограниченно растворим в твердом состоянии как в никеле, так и в меди. Его часто применяют в качестве раскислителя никеля (кремнистый никель) и в никелевых сплавах. Кремний в мельхиоре парализует явление анизотропии. Повышенное содержание кремния в никеле и его сплавах вызывает брак по трещинам при горячей и холодной обработке их давлением.

Марганец значительно растворим в никеле и никелевых сплавах. Он положительно влияет на механические и технологические свойства этих сплавов, парализуя вредное действие серы и углерода.

В кремнистом никеле, применяемом для изготовления деталей в радиолампах, марганец вреден, так как в условиях высоких температур и вакуума он легко испаряется.

Цинк является весьма вредной примесью в никеле, применяемом в электровакуумной промышленности, а также в термоэлектродных сплавах и сплавах сопротивления вследствие того, что он легко испаряется. Однако тройные медноникелевые сплавы с цинком (нейзильбер) имеют большое техническое значение. Они широко применяются для изготовления изделий ширпотреба.

Медь с никелем образует ряд весьма ценных сплавов, широко распространенных в промышленности. Медноникелевые сплавы отличаются повышенными механическими и коррозионными свойствами и хорошо обрабатываются давлением в горячем и холодном состоянии. Некоторые из этих сплавов обладают весьма ценными термоэлектрическими свойствами. Содержание меди, как и марганца, следует ограничивать лишь в сплавах на основе никеля, применяемых в радиоламповом производстве, так как медь легко испаряется в условиях повышенных температур и высокого вакуума.

Магний широко применяется в качестве раскислителя при плавке никеля и его сплавов. Под влиянием магния парализуется вредное действие серы, так как образующийся тугоплавкий и нерастворимый в никеле сернистый магний выделяется при затвердевании внутри зерен, а не по границам кристаллитов. Магний играет в этом случае также роль дегазатора.

Сера в никелевых и медноникелевых сплавах является весьма вредной примесью, так как образует с никелем ряд химических соединений и эвтектику, плавящуюся при 644°.

Сера весьма незначительно растворима в никеле в твердом состоянии; растворимость ее при температуре эвтектики достигает 0,005%. При затвердевании сплавов легкоплавкая и хрупкая эвтектика $Ni—Ni_3S_2$ выделяется преимущественно по границам кристаллитов, нарушая связь между ними. Если содержание серы 0,01%, никель и его сплавы легко разрушаются при обработке давлением. При повышенных температурах жидкая эвтектика поглощает кислород с образованием закиси никеля, но хрупкость сплава при этом сохраняется. В присутствии магния и марганца вредное действие серы значительно уменьшается. Сера вводится в никель, идущий для изготовления непассивирующихся анодов в количестве 0,01—0,002%.

Кислород оказывает весьма отрицательное влияние на никель и его сплавы. Присутствие кислорода в жидком металле нарушает технологический процесс получения качественных слитков, так как при заливке слитков кислород взаимодействует со смазкой и получается пузыристое литье. При отжиге никелевых и медноникелевых сплавов, содержащих кислород, в восстановительной среде, например в водороде, сплавы разрушаются вследствие водородной болезни. Поэтому перед отливкой никелевых и медноникелевых сплавов кислород должен быть полностью удален из жидкой ванны.

Кислород с никелем образует эвтектику Ni—NiO при содержании кислорода 0,236% (или 1,1% NiO), плавящуюся при 1438°. Область твердого α-раствора при температуре эвтектики достигает 0,08% и резко сдвигается в сторону никеля с понижением температуры.

При кристаллизации закись никеля выделяется по границам кристаллитов в виде эвтектики, легко обнаруживаемой под микроскопом.

В случае небольшого содержания кислорода (0,01—0,02%), например при неполном раскислении никеля, кислород находится в твердом растворе при высоких температурах, но во время медленного остывания он вновь выделяется, приводя к утолщению границ зерен и повышению хрупкости изделий из никеля в холодном состоянии. Таким образом, кислород в никеле и его сплазах является весьма вредной примесью. Положительную роль кислород в никеле играет лишь при производстве непассивирующихся анодов.

Углерод оказывает весьма значительное влияние на механические и технологические свойства никелевых и медноникелевых сплавов.

Углерод с никелем образует эвтектику при содержании углерода 2,22% с температурой плавления 1318°. Растворимость углерода в никеле в твердом состоянии при температуре эвтектики достигает 0,65%, однако с понижением температуры граница области твердого раствора резко сдвигается в сторону никеля. Никель с повышенным содержанием углерода является весьма хрупким, так как при кристаллизации углерод выделяется преимущественно по границам кристаллитов в форме графита.

Никель с углеродом образует карбид Ni_3C, который устойчив лишь при температурах выше 2100°. Углерод в твердом растворе понижает температуру магнитного превращения никеля с 368 до 350°.

В медноникелевых сплавах растворимость углерода в твердом состоянии весьма незначительна. В частности, в мельхиоре, содержащем 30% никеля, растворимость углерода равна 0,045%.

В медноникелевых сплавах углерод является весьма вредной примесью, так как при содержании его в этих сплавах выше предела растворимости он выделяется по границам кристаллитов в виде графита, нарушает их спайность и способствует быстрому разрушению готовых изделий от интеркристаллической коррозии

На никель и сплавы, обогащенные никелем, например монель, углерод оказывает положительное влияние, так как, являясь отличным раскислителем, он способствует получению хорошего качества слитков и полуфабрикатов из них. Углерод вводится в чистый никель как раскислитель до 0,1%.

В чистом никеле следует ограничивать содержание углерода лишь в тех случаях, когда изделия из него работают в особых условиях, например в вакууме при повышенных температурах.

Висмут и свинец являются весьма вредными примесями. Они практически не растворимы в никеле, медн[illegible] их сплавах в твердом состоянии. В случае содержания висмута или свинца более 0,002—0,005% никелевые и медноникелевые сплавы легко разрушаются при горячей обработке давлением.

На физические свойства, в частности на электропроводность и теплопроводность, висмут и свинец не оказывают заметного влияния. Свинец вводят лишь в один медноникелевый сплав (свинцовый нейзильбер) с целью улучшения обрабатываемости сплава резанием. Однако этот сплав поддается обработке давлением только в холодном состоянии.

Сурьма и мышьяк оказывают весьма отрицательное влияние на никелевые и медноникелевые сплавы: под влиянием сурьмы и мышьяка резко ухудшается обрабатываемость сплавов давлением.

Фосфор и кадмий в никелевых и медноникелевых сплавах являются вредными примесями, так как они резко снижают механические, физические и технологические свойства указанных сплавов.

В табл. 46—50 приведены химический состав и свойства сплавов. На диаграммах (рис. 156—179) показаны свойства этих сплавов в различных состояниях. Кроме того, на диаграммах рис. 180—182 даны механические свойства медноникелевого сплава марки МН5, имеющего высокие механические и коррозионные свойства.

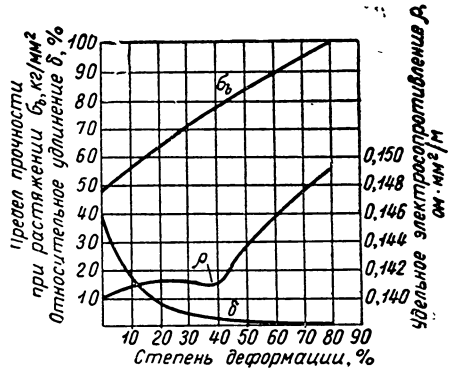


Рис. 156. Изменение механических свойств и электросопротивления марганцевого никеля НМц2,5 в зависимости от степени деформации

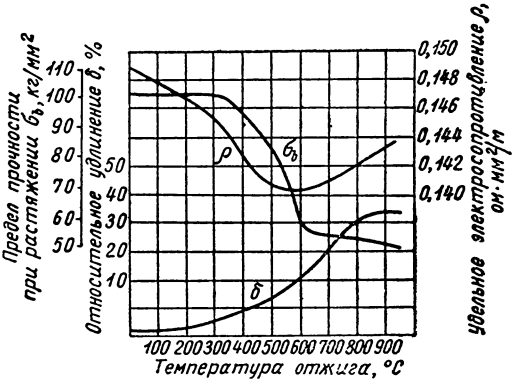


Рис. 157 Изменение механических свойств и электросопротивления марганцевого никеля НМц2,5 в зависимости от температуры отжига

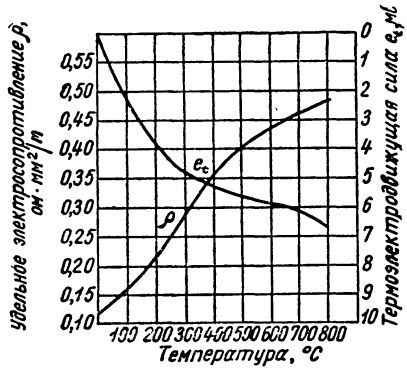


Рис. 158. Изменение физических свойств марганцевого никеля НМц2,5 при высоких температурах

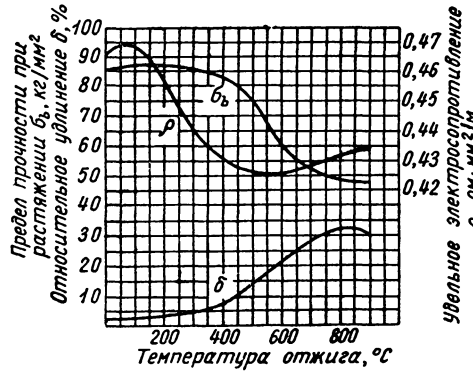


Рис. 161 Изменение механических свойств сплава монель марки НМЖМц28-2.5-1.5 в зависимости от температуры отжига

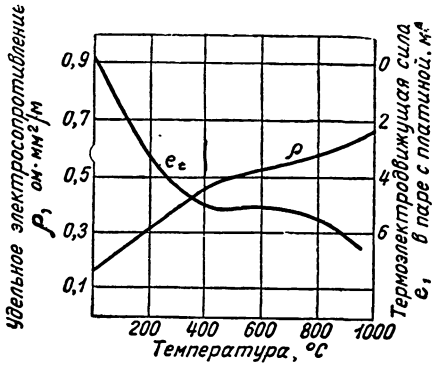


Рис. 159. Изменение физических свойств марганцевого никеля НМц5 при высоких температурах

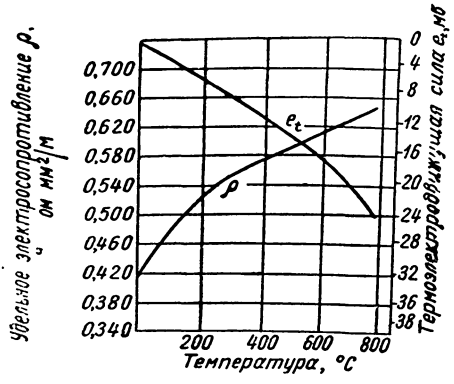


Рис. 162. Изменение физических свойств сплава монель при высоких температурах

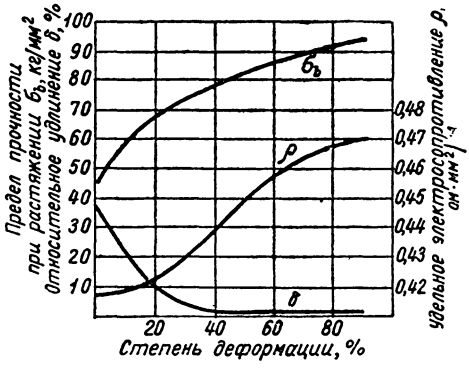


Рис. 160. Изменение механических свойств сплава монель марки НМЖМц-8-2.5-1.5 в зависимости от степени деформации

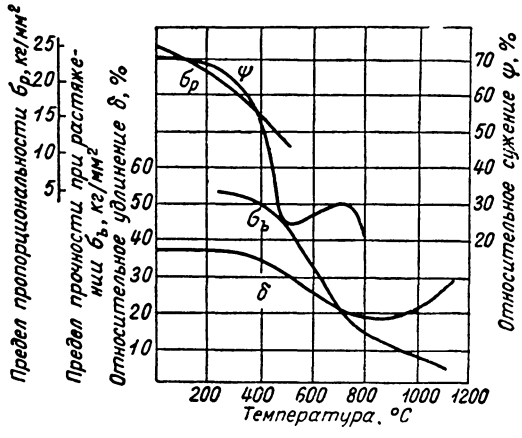


Рис. 163. Изменение механических свойств сплава монель при высоких температурах

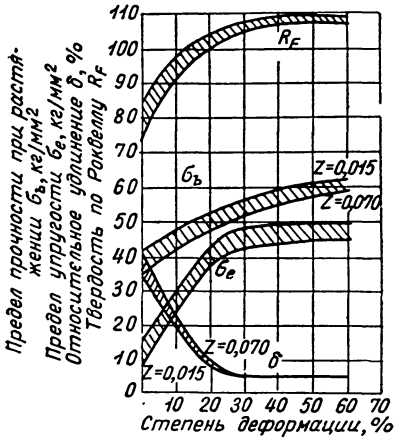


Рис. 164. Изменение механических свойств мельхиора марки МНЖМц30-0,8-1 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: листы мягкие толщиной 1 *мм* с величиной зерна 0,015 и 0,07 *мм*

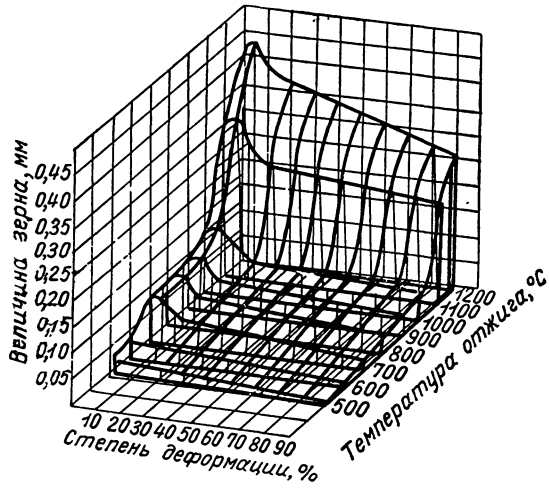


Рис. 166 Рекристаллизация мельхиора (30% Ni. остальное Cu)

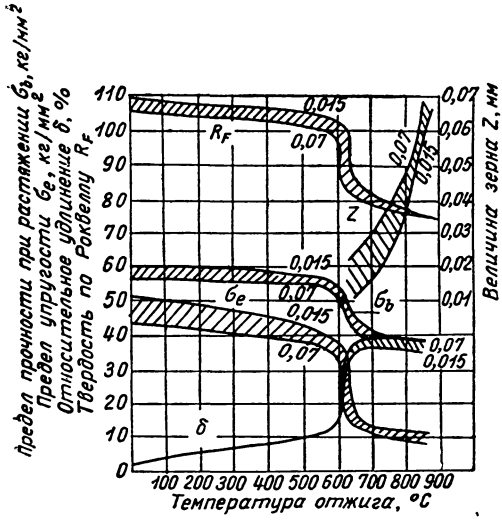


Рис. 165 Изменение механических свойств мельхиора марки МНЖМц30-0,8-1 в зависимости от температуры отжига Продолжительность отжига 1 час Исходный материал: листы толщиной 1 *мм*, деформированные на 50%

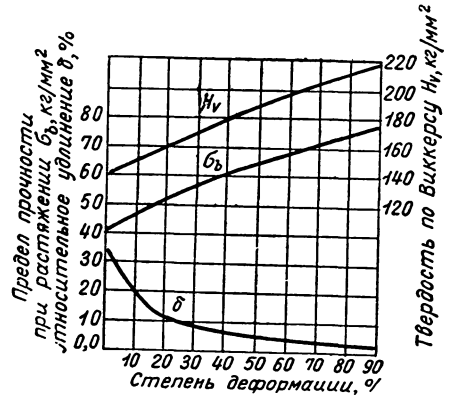
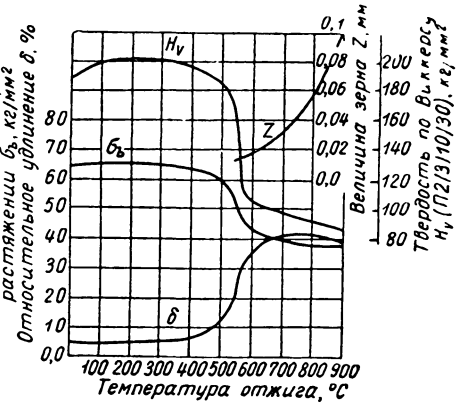


Рис. 167. Изменение механических свойств мельхиора марки МНЖМц30-0,8-1 (31% Ni); 0.3% Fe; 0.84% Mn; остальное Cu) в зависимости от степени деформации Исходный материал: полосы горячекатаные толщиной 4 *мм* с величиной зерна 0,07 *мм*

Рис. 168 Изменение механических свойств мельхиора марки МНЖМц30-0.8-1 (31% Ni; 0 3% Fe; 0.84% Mn; остальное Cu) в зависимости от температуры отжига Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: полосы толщиной 2 *мм*, деформированные на 50%



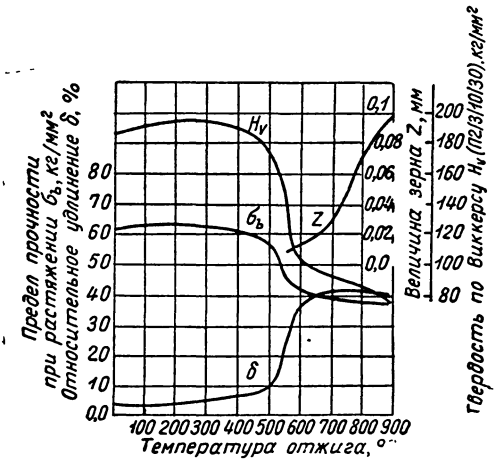


Рис. 169. Изменение механических свойств мельхиора марки МНЖМц30-0,8-1 (29% Ni; 0,13% Fe, 0,5% Mn; остальное Cu) в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: полосы толщиной 2 *мм*, деформированные на 50%

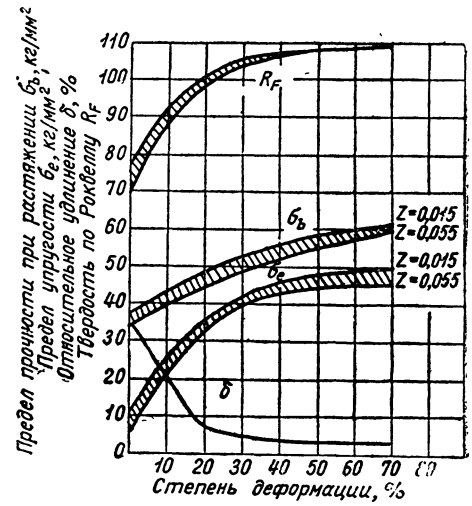


Рис. 170. Изменение механических свойств мельхиора марки МН19 в зависимости от степени деформации и величины зерна. Исходный материал: листы мягкие толщиной 1 *мм* с величиной зерна 0,015 и 0,055 *мм*

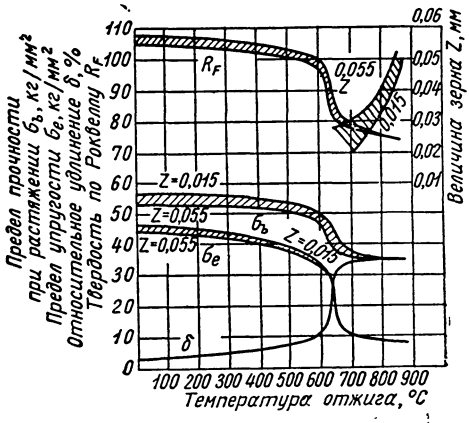


Рис. 171. Изменение механических свойств мельхиора марки МН19 в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: листы толщиной 1 *мм*, деформированные на 50%

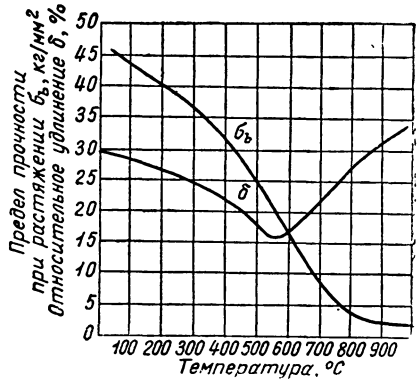


Рис. 172. Изменение механических свойств мельхиора марки МН19 при высоких температурах. Исходный материал: прутки диаметром 25 *мм* с величиной зерна 0,035 *мм*, деформированные на 20% Выдержка при испытании 1 час

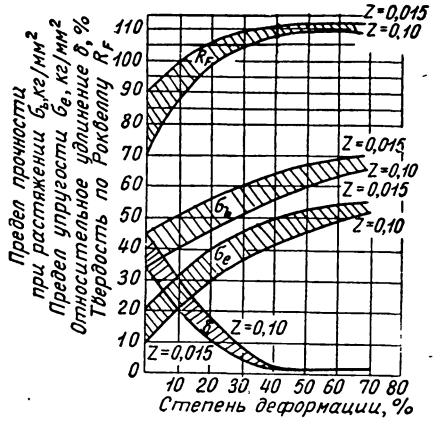


Рис. 173 Изменение механических свойств нейзильбера марки МНЦ15-20 в зависимости от степени деформации и величины зерна Исходный материал листы мягкие толщиной 1 *мм* с величиной зерна 0,015 и 0,10 *мм*

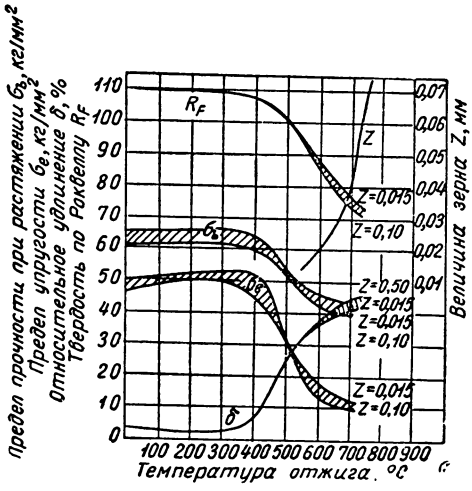


Рис. 174. Изменение механических свойств нейзильбера марки МНЦ15-20 в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: листы толщиной 1 *мм*, деформированные на 50%

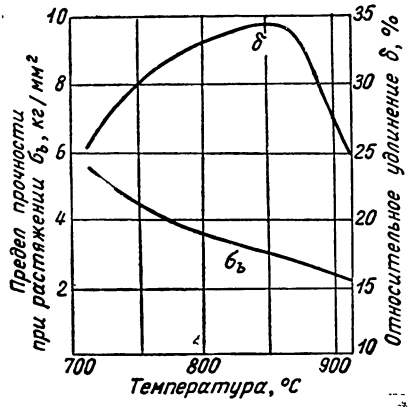


Рис. 175. Изменение механических свойств нейзильбера марки МНЦ15-20 при высоких температурах

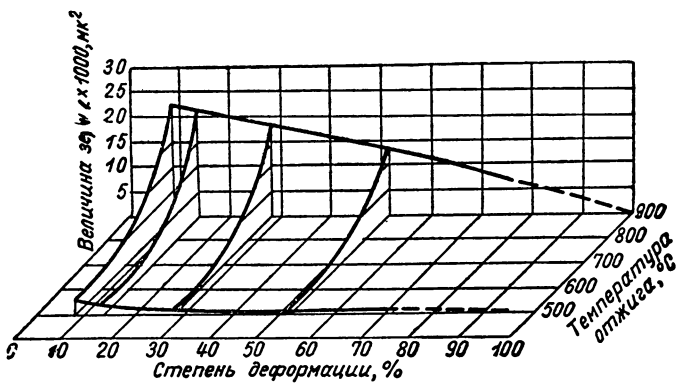


Рис 176 Рекристаллизация нейзильбера марки МНЦ15-20

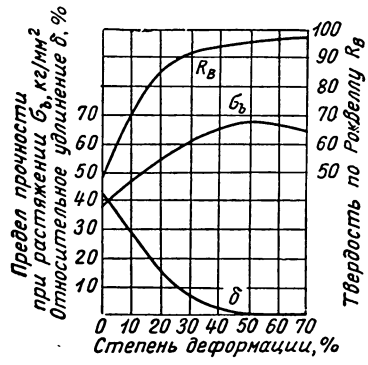


Рис. 177. Изменение механических свойств нейзильбера свинцового МНЦС17-18-1,8 в зависимости от степени деформации Исходный материал: полосы, деформированные и отожженные при 750° в течение 2 час.

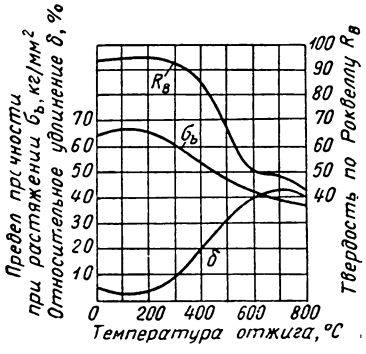


Рис. 178. Изменение механических свойств нейзильбера свинцового МНЦС17-18-1,8 в зависимости от температуры отжига Продолжительность отжига 2 часа Исходный материал: полосы толщиной 4 *мм*, деформированные на 40%

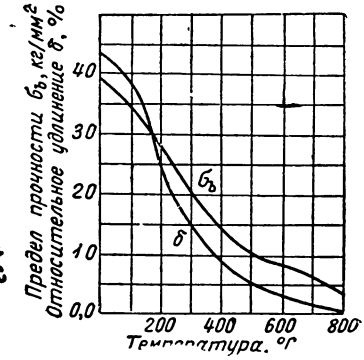


Рис. 179. Изменение механических свойств нейзильбера свинцового МНЦС17-18-1,8 при высоких температурах

Таблица 46

Химический состав никелевых и медноникелевых сплавов по ГОСТ 492—52

Наименование	Марка	Вид изделий	Примерное назначение	Химический состав, %										
				основные компоненты							примеси (не более)			
				железо	кремний	марганец	цинк	свинец	никель + кобальт	медь	железо	кремний	магний	цинк
Никель кремнистый	НК0,2	Ленты и проволока	Для деталей радиоламп неответственного назначения	—	0,15—0,25	—	—	—	99,4	—	0,10	—	0,10	0,007
Никель марганцовистый	НМц2,5	Проволока	Для свечей автомобильных, авиационных и тракторных двигателей	—	—	2,30—3,30	—	—	Ост.	—	0,65	0,30	0,10	—
То же	НМц5	»	Для свечей автомобильных, авиационных и тракторных двигателей и для радиоламп	—	—	4,60—5,40	—	—	»	—	0,65	0,30	0,10	—
Монель-металл	НМЖМц28-2,5-1,5	Ленты, листы, полосы прутки, проволока и литье	Для антикоррозионных деталей	2,00—3,00	—	1,20—1,80	—	—	»	29,00-33,00	—	0,05	0,10	—
Мельхиор	МНЖМц30-0,8-1	Трубы	Трубы конденсаторные для судостроения и трубы для термостатов	0,60—1,00	—	0,80—1,30	—	—	29.00-33,00	Ост.	—	0,15	0,05	—
»	МН19	Ленты, полосы, проволока и прутки	Для штамповки и чеканки	—	—	—	—	—	18,00-20,00	»	1,00	0,15	0,05	—
Нейзильбер	МНЦ15-20	То же	Для приборов точной механики и технической посуды	—	—	—	18,00-22,00	—	13,50-16,50	»	0,50	0,15	0,05	—
Нейзильбер свинцовистый	МНЦС17-18-1,8	Полосы	Для деталей часов	—	—	—	Ост.	1,6—2,0	16,5—18,0	61—64,9	—	—	—	—

Продолжение табл. 46

Наименование	Марка	Вид изделий	Примерное назначение	Химический состав, % примеси (не более)											
				марганец	кадмий	медь	олово	свинец	сера	углерод	фосфор	висмут	мышьяк	сурьма	всего
Никель кремнистый	НК0,2	Ленты и проволока	Для деталей радиоламп неответственного назначения	0,05	0,002	0,10	0,002	0,002	0,005	0,10	0,002	0,002	0,002	0,002	0,45
Никель марганцовистый	НМц2,5	Проволока	Для свечей автомобильных, авиационных и тракторных двигателей	—	—	0,50	—	0,002	0,03	0,30	0,010	0,002	0,030	0,002	1,50
То же	НМц5	»	Для свечей автомобильрых, авиационных и тракторных двигателей и для радиоламп	—	—	0,50	—	0,002	0,03	0,30	0,020	0,002	0,030	0,002	2,0
Монель-металл	НМЖМц28-2,5-1,5	Ленты, листы, полосы, прутки, проволока и литье	Для антикоррозионных деталей	—	—	—	—	0,002	0,01	0,20	0,005	0,002	0,010	0,002	0,60
Мельхиор	МНЖМц30-0,8-1	Трубы	Трубы конденсаторные для судостроения и трубы для термостатов	—	—	—	—	0,005	0,01	0,05	0,006	0,002	0,002	0,002	0,30
»	МН19	Ленты, полосы, проволока и прутки	Для штамповки и чеканки	0,30	—	—	—	0,005	0,01	0,05	0,010	0,002	0,010	0,005	1,50
Нейзильбер	МНЦ15-20	То же	Для приборов точной механики и технической посуды	0,30	—	—	—	0,020	0,005	0,03	0,005	0,002	0,010	0,002	0,90
Нейзильбер свинцовистый	МНЦС17-18-1,8	Полосы	Для деталей часов	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечания: 1. Химический состав нейзильбера свинцовистого дан по ЦМТУ 4589—55.

2. В мельхиоре марки МН19, применяемом для изготовления монет, допускается содержание марганца или железа выше предела, указанного в таблице, но при этом сумма их не должна превышать 1,3%. В мельхиоре, применяемом для изготовления лент специального назначения, устанавливается следующее содержание примесей. не более 0,01% Mn не более 0,01% Mg, не более 0,15% Si, не более 0,3% Fe, не более 0,05% Pb и сумма примесей не более 0,6%.

Физические свойства никелевых и мельхиоровых сплавов. Таблица 47

Наименование сплава	Марка сплава	Верхняя критическая точка, °С	Нижняя критическая точка, °С	Плотность, *г/см³*	Коэффициент линейного расширения $\alpha_{25-100°} \cdot 10^6$	Теплопроводность *кал/см·сек·°С*	Удельное электросопротивление, *ом мм²/м*	Температурный коэффициент электросопротивления, α
Никель кремнистый	НКО, 2	1452	—	8,90	13,7	0,140	0,085	0,0047
Никель марганцовистый	НМц2,5	1440	—	8,90	13,4	0,127	0,14	0,0042
	НМц5	1410	1370	8.76	13,7	0,115	0,17	0,0036
Монель-металл	НМЖМц 28-2,5-1,5	1350	—	8,80	14,1	0,060	0,42	0,0019
Мельхиор	МНЖМц30-0,8-1	1230	1170	8,9	16,0	0,070	0,40	0,00156
	МН19	1190	1130	8,90	16.0	0,092	0,28	0,00029
Нейзильбер	МНЦ15-20	1080	1040	8,70	16,6	0,06—0,085	0,26	0,0002
Нейзильбер свинцовистый	МНЦС 17-18-1,8	1120	965	8,82	—	—	—	—

Механические свойства никелевых и мельхиоровых сплавов Таблица 48

Наименование сплава	Марка сплава	Модуль нормальной упругости, *кг/мм²*	Предел прочности при растяжении *кг/мм²*		Предел текучести *кг/мм²*		Относительное удлинение %		Относительное сужение (мягкий), %	Твердость			
										Бринель *кг/мм²*		Роквелл шкала *B*	
			мягкий	твердый	мягкий	твердый	мягкий	твердый		мягкий	твердый	мягкий	твер дый
Никель кремнистый	НКО,2	21 000	42	73	12	70	40	3	70	75	190	—	—
Никель марганцовистый	НМц2,5	21 000	50	80	—	—	30—40	2	—	140	—	—	—
То же	НМ 15	21 000	55—60	85	18—24	—	40	—	60	145	—	70	—
Монель-металл	НМЖМц28-2,5-1,5	17 500	45	80	20	75	32	2	—	130	210	60—70	95
Мельхиор	МНЖМц 30-0,8-1	15 400	38	60	14	54	35—50	4	80	70	175	37	85
То же	МН19	14 000	35	55	10	52	35	4	75	70	120	25	80
Нейзильбер	МНЦ15-20	12 600	40	65	14	59	44	2,5	—	70	160	25	88
Нейзильбер свинцовистый	МНЦС 17-18-1,8	12 700	40	65	—	—	40	2	—	—	—	42	95

Примечание. Мягкий — материал отожжен при 750°. Твердый — материал деформирован на 50%. Свойства никеля НМц5 даны в горячекатаном состоянии.

Технологические характеристики никелевых и мельхиоровых сплавов Таблица 49

Марка сплава	Температура литья °С	Температура горячей обработки, °С	Температура отжига °С	Низкотемпературный отжиг для снятия внутренних напряжений °С	Обрабатываемость резанием %	Линейная усадка, %
НКО,2	1550—1650	1100—1200	780—850	280—315	—	1,0
НМц2,5	1500—1550	1150—1200	900	—	—	—
НМц5	1500—1550	1100—1150	800—850	—	—	—
НМЖМц28 2,5-1,5	1500	975—1150	800—850	280—315	—	2,1
МНЖМц 30-0,8-1	1330—1350	900—960	780—810	250—300	20	—
МН19	1280—1300	980—1030	600—780	250	20	2,29
МНЦ15-20	1170	800—970	700—750	250	20	2,02
МНЦС17-18-1,8	1250—1260	Вгорячую не обрабатывается	750	250	50	—

Примечание. За 100% взята обрабатываемость резанием латуни марки ЛС63-3.

Таблица 50

Механические свойства полуфабрикатов из никелевых сплавов

Наименование	Марка	Вид изделий	Состояние материала	Механические свойства		ГОСТ или ТУ
				σ_b кг/мм²	δ, %	
				не менее		
Никель кремнистый	НК0,2	Ленты	Мягкие	40	35	ГОСТ 2170—49
			Твердые	55	2	
		Проволока диам., *мм*:	Мягкая			ГОСТ 2179—52
		0,10—0,20		43	18	
		0,22—0,45		43	20	
		0,5—1,0		40	25	
		1,1—12,0		38	26	
		Проволока диам., *мм*:	Твердая			
		0,1—5,0		70—85	—	
		5,5—7,5		65—85	—	
		8,0—12,0		60—85	—	
Монель-металл	НМЖМц28-2,5-1,5	Полосы и ленты	Мягкие	45	25	ГОСТ 5063—49
			Полутвердые	58	6,5	ГОСТ 5187—49
		Прутки диам., *мм*:	Тянутые			ГОСТ 1525—54
		5—40	Мягкие	45	25	
		5—40	Твердые	60	10	
		35—70	Катаные	50	18	
		Листы	Мягкие	40—50	25	ЦМТУ 200—41
		Проволока диам., *мм*:	Мягкая			ЦМТУ 664—41
		0,5—4,99		50	25	
		5—10		45	30	
		Проволока диам., *мм*:	Твердая			
		0,5—4,99		70	1	
		5,0—10		65	1	
Никель марганцовистый *	НМц2,5 *	Проволока диам., *мм*.				ГОСТ 1049—57
		0,5—5,0	Мягкая	Не более 65	20	
		0,5—5,0	Твердая	Не менее 70	—	

Продолжение табл. 50

Наименование	Марка	Вид изделий	Состояние материала	Механические свойства		ГОСТ или ТУ
				σ_b кг/мм²	δ, %	
				не менее		
Никель марганцовистый *	НМц5 **	Проволока диам., *мм*:				
		0,5—5,0	Мягкая	Не более 75	18	ГОСТ 1049—57
		0,5—5,0	Твердая	75	—	
		0,05—0,150	»	100	—	
Мельхиор	МНЖМц30-0,8-1	Трубы конденсаторные	Мягкие	38	23	ГОСТ 2203—43
	МН19	Полосы	Мягкие	30	30	ГОСТ 5063—49
			Твердые	40	3	
		Ленты	Мягкие	30	25	ГОСТ 5187—49
			Твердые	40	2,5	
		Ленты	Мягкие	30—38	32	ГОСТ 1018—54
Нейзильбер	МНЦ15-20	Полосы и ленты	Мягкие	35	35	ГОСТ 5063—49
			Твердые	55	1	
			Особотвердые	65	1	ГОСТ 5187—49
		Прутки тянутые и катаные диам. 6—50 *мм*	Мягкие	30	30	ЦМТУ 674—41
		Прутки диам., *мм*:	Твердые			
		6—22		45	5	
		23—30		40	7	
		32—50		35	12	
		Проволока диам., *мм*:	Мягкая			
		0,2—0,5		35	20	ГОСТ 5220—50
		0,6—1,0		35	25	
		1,1—5,0		35	30	

Продолжение табл. 50

Наименование	Марка	Вид изделий	Состояние материала	Механические свойства		ГОСТ или ТУ
				σ_b кг/мм² (не менее)	δ, % (не менее)	
		Проволока диам., *мм*:	Полутвердая			ГОСТ 5220—50
		0,6—1,0		45	3	
		1,1—5,0		45	5	
		Проволока диам., *мм*:	Твердая			
		0,2—0,5		55	0,5	
		0,6—1,0		55	0,5	
		1,1—5,0		55	1,0	
Нейзильбер свинцовистый	МНЦС17-18-1,8 ***	Полосы	Полутвердые	—	—	ЦМТУ 4589—55
			Твердые	—	—	ТУЦМО 1112—56

* Удельное электросопротивление никеля марганцовистого марки НМц2 5 составляет 0,13—0,17 *ом·мм²/м*.
** Удельное электросопротивление никеля марганцовисто о марки НМц5 составляет 0,17—0,22 *ом мм²/м*.
*** Твердость R_B нейзильбера свинцовистого марки МНЦС 17-18-1,8 составляет для твердого состояния 65—90, для полутвердого 45—65

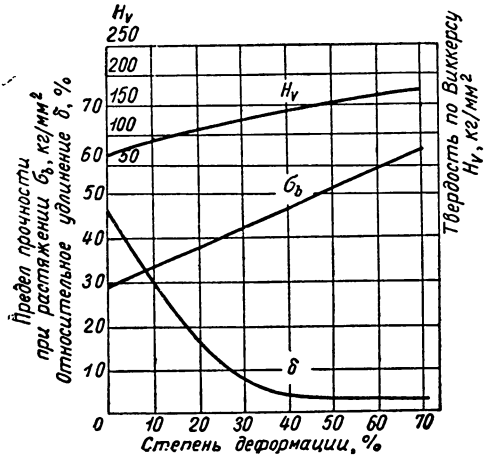


Рис. 180. Изменение механических свойств сплава МН5 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: лента мягкая толщиной 1 *мм*

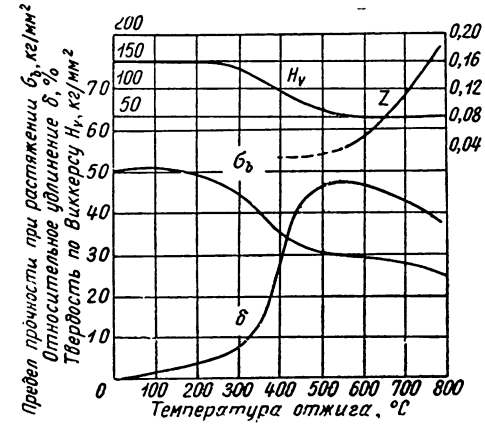


Рис. 181. Изменение механических свойств сплава МН5 в зависимости от температуры отжига Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: лента твердая толщиной 1 *мм*

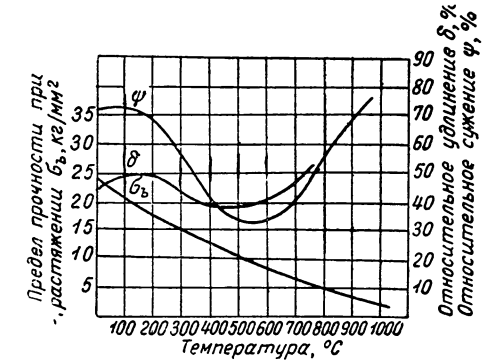


Рис 182. **Изменение механических свойств** сплава МН5 (4,85% Ni; остальное Cu) при высоких температурах. Исходный материал: полоса горячекатаная

2. Светлый отжиг никелевых и медноникелевых сплавов

Для получения светлой (неокисленной) поверхности при отжиге никелевых сплавов всех типов рекомендуется применять чистый осушенный водород. Во избежание водородной хрупкости, наблюдающейся в никеле и никелевых сплавах, содержащих кислород, при отжиге в водороде, никель и его сплавы не должны содержать закиси никеля.

Светлый отжиг мельхиора и никеля можно также производить в атмосфере генераторного газа. Генераторный газ, полученный при сжигании древесного угля, не нуждается в дополнительной очистке от углекислого газа и паров воды.

Светлый отжиг никеля, мельхиора и нейзильбера можно производить в атмосфере диссоциированного и не полностью сожженного аммиака, содержащего 5% и больше водорода (остальное азот). Светлый отжиг нейзильбера (по данным А. К. Чертавских) можно также производить в генераторном газе, тщательно осушенном и очищенном от углекислого газа, паров воды и кислорода.

§ 3. ТЕРМОЭЛЕКТРОДНЫЕ СПЛАВЫ И СПЛАВЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ

К этой группе отнесены следующие сплавы: хромель, алюмель, копель, сплавы сопротивления — манганин и константан и сплавы для компенсационных проводов. Эти сплавы отличаются большой термоэлектродвижущей силой и высоким удельным электросопротивлением при малом температурном коэффициенте электросопротивления. Они широко применяются для изготовления термопар, прецизионных приборов и компенсационных проводов.

1. Влияние добавок и примесей

Алюминий положительно влияет на свойства данных сплавов, в частности на сплавы типа манганин. Алюминий понижает температуру магнитных превращений никеля, делая его термоэлектрические свойства более положительными в зоне магнитных превращений, и оказывает обратное действие в области немагнитных превращений.

Термоэлектродвижущая сила никеля в паре с платиной под влиянием алюминия в пределах магнитного состояния практически не изменяется.

Железо, а также *кобальт* являются нежелательными примесями, так как значительно снижают термоэлектродвижущую силу алюмеля. Железо отрицательно влияет на сплавы, применяемые для компенсационных проводов (ТП и ТБ).

Кремний повышает электросопротивление никеля и его сплавов и уменьшает термоэлектродвижущую силу.

На сплавы ТП и ТБ кремний влияет отрицательно и допускается в них в пределах,

не превышающих 0,002%. На манганин кремний также влияет отрицательно. Содержание кремния в манганине не следует допускать более 0,1%.

Марганец положительно влияет на механические и технологические свойства никеля и его сплавов, но резко ухудшает свойства компенсационных сплавов, снижая точность показания и постоянство свойств при их работе.

Влияние прочих примесей на никель и его сплавы подробно рассмотренно в предыдущем разделе.

В табл. 51—56 приведены состав и свойства термоэлектродных сплавов и сплавов сопротивления. На рис. 183—204 показаны свойства этих сплавов в различных состояниях.

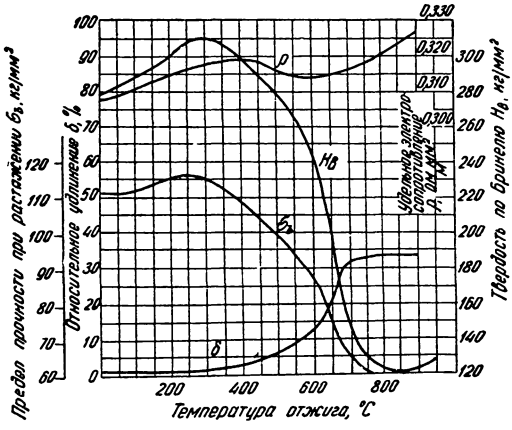


Рис. 184. Изменение механических свойств и удельного электросопротивления алюмеля НМцАК2-2-1 в зависимости от температуры отжига Исходный материал: проволока твердая диаметром 3—1,5 *мм*

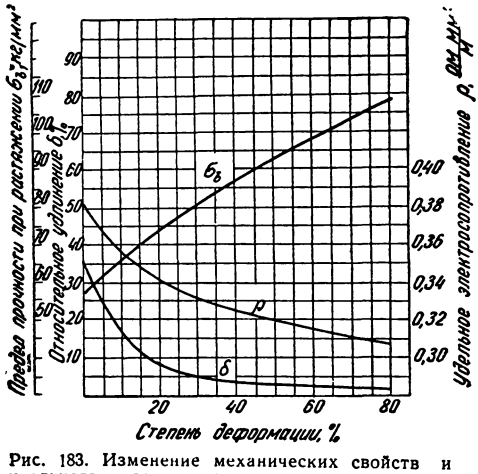


Рис. 183. Изменение механических свойств и удельного электросопротивления алюмеля НМцАК2-2-1 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: проволока мягкая диаметром 3—1,5 *мм*

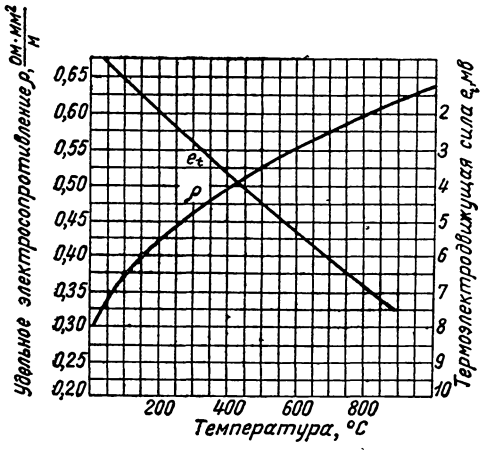


Рис. 185. Изменение удельного электросопротивления и термоэлектродвижущей силы алюмеля НМцАК2-2-1 при высоких температурах

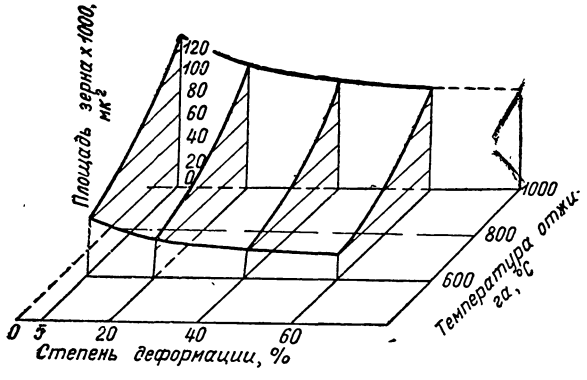


Рис 186. Рекристаллизация алюмеля НМцАК2-2-1

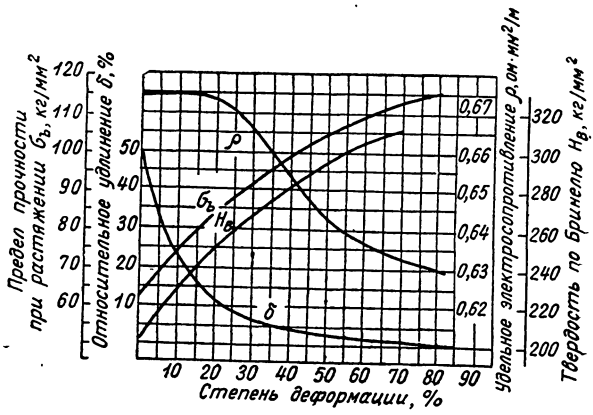


Рис. 187. Изменение механических свойств и удельного электросопротивления хромеля НХ9,5 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: проволока мягкая диаметром 3—1,5 *мм*

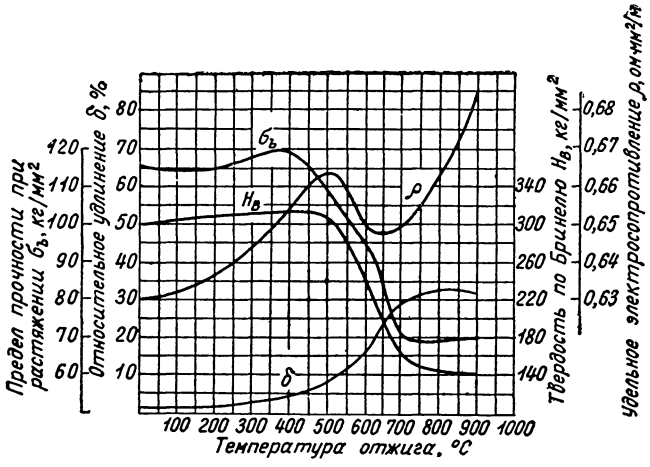


Рис. 188. Изменение механических свойств и удельного электросопротивления хромеля НХ9,5 в зависимости от температуры отжига. Исходный материал: проволока твердая диаметром 1 *мм*

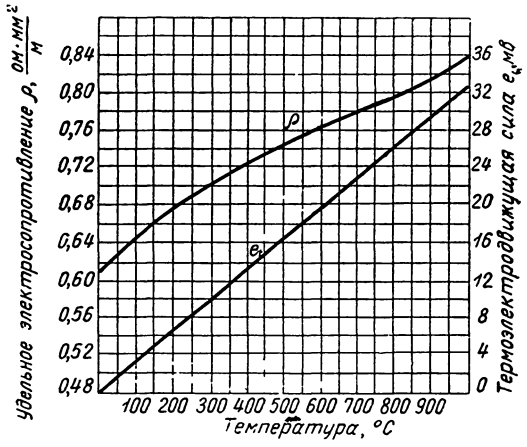


Рис. 189. Изменение удельного электросопротивления и термоэлектродвижущей силы хромеля НХ9,5 при высоких температурах

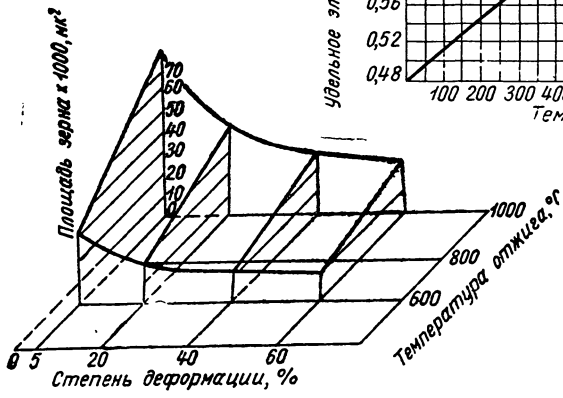


Рис. 190. Рекристаллизация хромеля НХ9,5

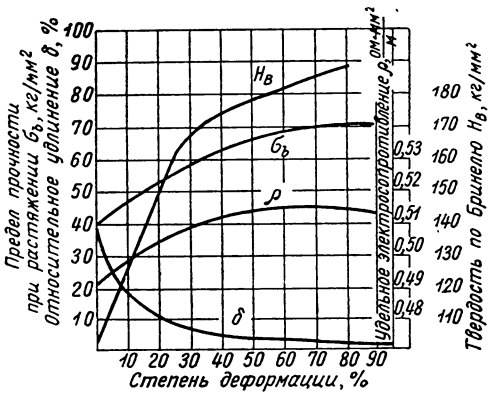


Рис 191. Изменение механических свойств и удельного электросопротивления копеля МНМп43-0,5 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: проволока мягкая диаметром 3—1,5 *мм*

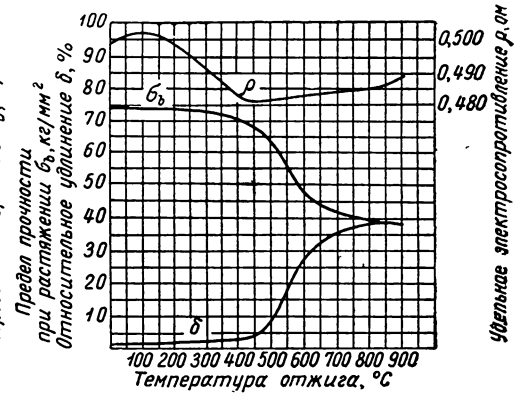


Рис. 192. Изменение механических свойств и удельного электросопротивления копеля МНМц43-0,5 в зависимости от температуры отжига. Исходный материал: проволока твердая диаметром 1,5 *мм*

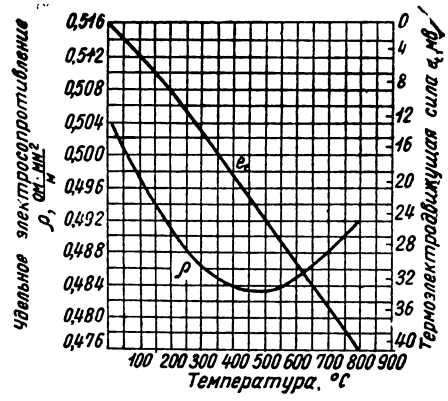


Рис. 193. Изменение удельного электросопротивления и термоэлектродвижущей силы копеля МНМц43-0,5 при высоких температурах

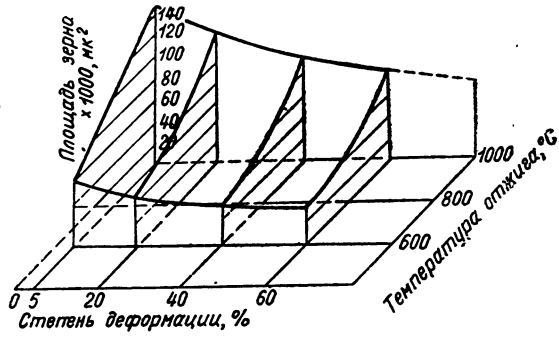


Рис. 194. Рекристаллизация копеля МНМц43-0,5

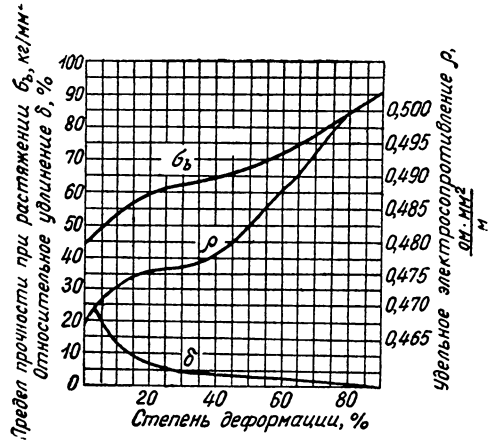


Рис. 195. Изменение механических свойств и удельного электросопротивления константана МНМц40-1,5 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: проволока мягкая диаметром 3—1,5 *мм*

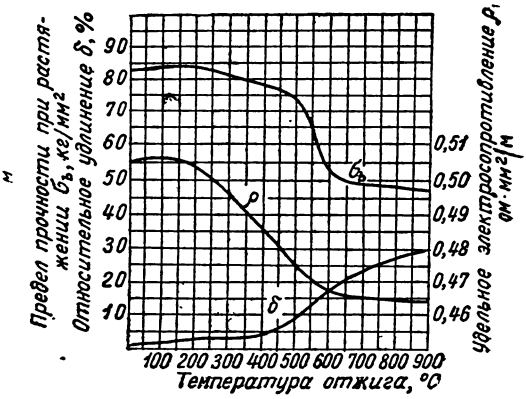


Рис 196. Изменение механических свойств и удельного электросопротивления константана МНМц40-1,5 в зависимости от температуры отжига. Исходный материал: проволока твердая диаметром 1,5 *мм*

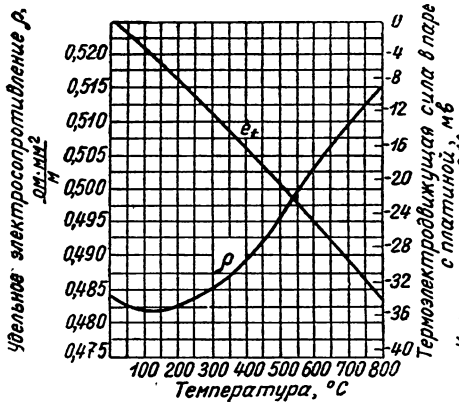


Рис. 197. Изменение удельного электросопротивления и термоэлектродвижущей силы константана МНМц40-1,5 при высоких температурах

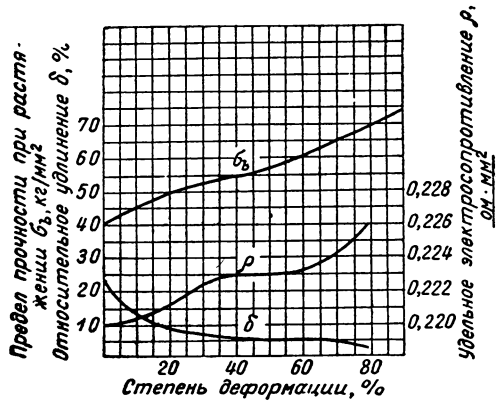


Рис. 198. Изменение механических свойств и удельного электросопротивления сплава (ТБ) МН16 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: проволока мягкая диаметром 3 — 1,5 *мм*

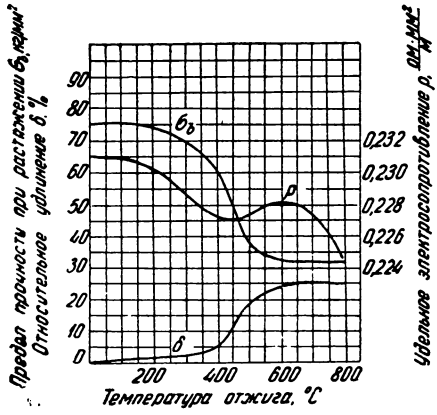


Рис. 199. Изменение механических свойств и удельного электросопротивления сплава (ТБ) МН16 в зависимости от температуры отжига. Исходный материал: проволока твердая диаметром 1,5 *мм*

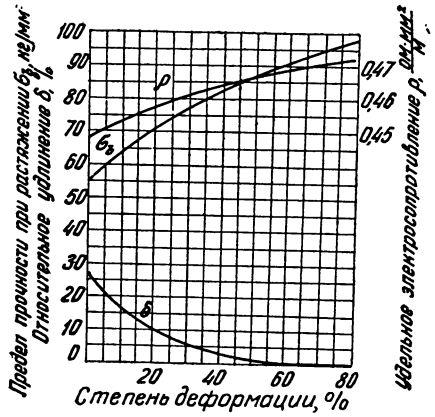


Рис. 200. Изменение механических свойств и удельного электросопротивления манганина МНМц3-12 в зависимости от степени деформации Исходный материал: проволока мягкая диаметром 3—1,5 *мм*

Физические свойства термоэлектродных

Наименование сплава	Марка сплава	Температура плавления °С	Плотность *г/см³*	Коэффициент линейного расширения $\alpha_{20°} \cdot 10^6$
Алюмель	НМцАК2-2-1	1440	8,50	—
Хромель 1	НХ9,5	1435	8,72	12,8
Хромель 2	НХ9			
Копель	МНМц43-0,5	1290	8,89	14,0
Константан	МНМц40-1,5	1260	8,90	14,4
Сплав ТБ	МН16	1170	9,02	15,3
Манганин	МНМц3-12	1010	8,40	16,0
Сплав ТП	МН0,6	1084	8,96	—

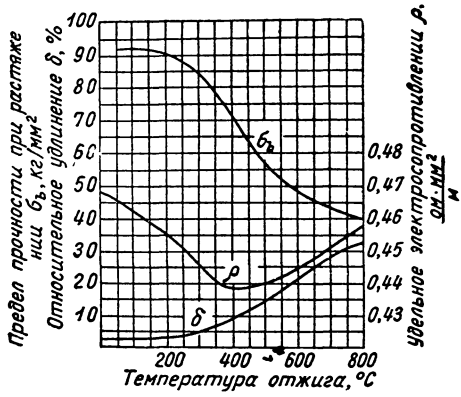


Рис. 201. Изменение механических свойств и удельного электросопротивления манганина МНМц3-12 в зависимости от температуры отжига. Исходный материал: проволока твердая диаметром 1,5 *мм*

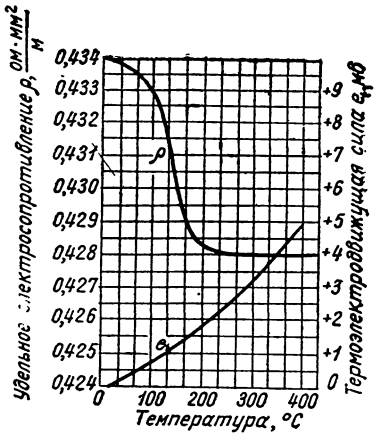


Рис. 202. Изменение удельного электросопротивления и термоэлектродвижущей силы манганина МНМц3-12 при повышенных температурах

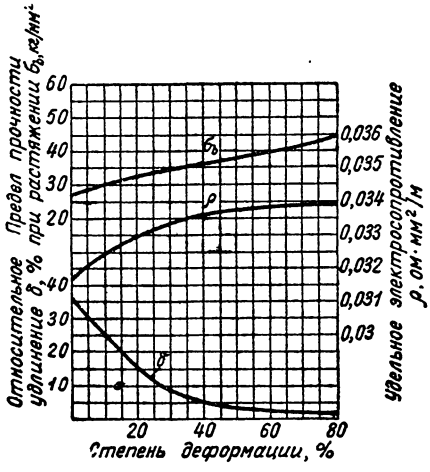


Рис. 203 Изменение механических свойств и удельного электросопротивления сплава (ТП) МН0,6 в зависимости от степени деформации. Исходный материал: проволока мягкая диаметром 3—1,5 *мм*

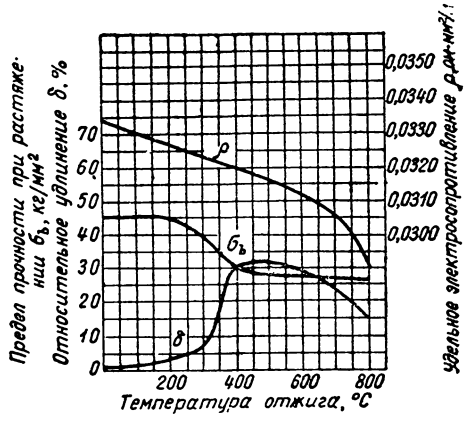


Рис. 204. Изменение механических свойств и удельного электросопротивления сплава (ТП) МН0,6 в зависимости от температуры отжига. Исходный материал: проволока твердая диаметром 3—1,5 *мм*

Таблица 51

сплавов и сплавов сопротивления

Теплопроводность *кал/см·сек·°С*	Удельное электросопротивление *ом·мм²/м*	Температурный коэффициент электросопротивления α 10⁴	Модуль нормальной упругости *кг/мм²*
—	0,25—0,35	26,0	—
—	0,6—0,7	4,80	—
0,058	0,49—0,50	—1,4	9500
0,050	0,48	0,206	16600
—	0,223	26,79	7800—8400
0,052	0,435	0,10—0,30	12650
0,650	0,031	27,58	12000

Химический состав и примерное назначение термоэлектродных

Наименование сплава	Марка сплава	Химический состав, основные компоненты: алюминий	железо	кремний	марганец	хром	никель + кобальт	медь	Химический состав: железо	кремний	магний
Алюмель	НМцАК2-2-1	1,80—2,50	—	0,85—2,00	1,80—2,20	—	Ост.	—	0,30	—	0,05
Хромель 1	НХ9,5	—	—	—	—	9,00—10,00	»	—	0,40	0,20	0,05
Хромель 2	НХ9	—	—	—	—	8,50—9,50	»	—	0,40	0,20	0,05
Копель	МНМц43-0,5	—	—	—	0,10—1,00	—	42,50—44,50	Ост.	0,15	0,10	0,05
Константан	МНМц40-1,5	—	—	—	1,00—2,00	—	39,00—41,00	»	0,50	0,10	0,05
Сплав ТБ	МН16	—	—	—	—	—	15,30—16,30	»	0,05	0,002	0,05
Манганин	МНМц3-12	—	—	—	11,50—13,50	—	2,50—3,50	»	0,50	0,10	0,03
Сплав ТП	МН0,6	—	—	—	—	—	0,57—0,63	»	0,005	0,002	—

Таблица 53

Механические свойства термоэлектродных сплавов и сплавов сопротивления

Наименование сплава	Марка сплава	Предел прочности при растяжении σ_b кг/мм²		Относительное удлинение δ %		Твердость по Бринелю кг/мм²	
		твердый	мягкий	твердый	мягкий	твердый	мягкий
Алюмель . . .	НМцАК2-2-1	92	62	3—4	32	265	128
Хромель 1 . .	НХ9,5	104	70	3—4	32	300	140
Хромель 2 . .	НХ9						
Копель	МНМц43-0,5	65	40	3—4	38	175—180	90—95
Константан . .	МНМц40-1,5	68	48	2,5	25	150	75—90
Сплав ТБ . . .	МН16	55	31	6	26	—	—
Манганин . . .	МНМц3-12	85	45	2	28	—	—
Сплав ТП . . .	МН0,6	37	27	3	32	—	50—60

Примечание. Твердый материал деформирован на 50%. Мягкий материал отожжен при температурах: алюмель, хромель — 900°, копель, константан, сплав ТБ — 800°, манганин — 700°, сплав ТП — 5000°.

Таблица 52

сплавов и сплавов сопротивления (по ГОСТ 492—52)

состав, %											Вид изделия	Примерное назначение
примеси (не более)												
марганец	медь	свинец	сера	углерод	фосфор	висмут	мышьяк	сурьма	всего		
—	0,25	0,002	0,02	0,20	0,005	0,002	0,002	0,002	0,80	Проволока	Для термопар
0,30	0,20	0,002	0,02	0,30	0,003	0,002	0,002	0,002	1,40	»	То же
0,30	0,20	0,002	0,02	0,30	0,003	0,002	0,002	0,002	1,40	»	Для компенсационных проводов
—	—	0,002	0,01	0,10	0,002	0,002	0,002	0,002	0,60	»	Для термопар и компенсационных проводов
—	—	0,005	0,02	0,10	0,005	0,002	0,010	0,002	0,90	Ленты и проволока	Для электротехнических целей и компенсационных проводов
—	—	0,002	0,002	0,03	0,002	0,002	0,002	0,002	0,20	Проволока	Для компенсационных проводов
—	—	0,020	0,02	0,05	0,005	0,002	0,005	0,002	0,90	Ленты, листы, полосы и проволока	Для электротехнических целей и измерительных приборов
—	—	0,005	0,005	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,10	Проволока	Для компенсационных проводов

Таблица 54

Технологические характеристики термоэлектродных сплавов и сплавов сопротивления

Наименование сплава	Марка сплава	Температура, °С			Низкотемпературный отжиг для стабилизации свойств °С	Максимальная рабочая температура °С
		литья	горячей обработки	отжига		
Алюмель . . .	НМцАК2-2-1	1480—1500	1180—1220	900—950	—	1000
Хромель 1 . .	НХ9,5	1550	1180—1220	850—900	—	1000
Хромель 2 . .	НХ9					
Копель	МНМц43-0,5	1280—1300	1100—1150	800—850	—	600
Константан . .	МНМц40-1,5	1280—1300	1080—1130	800—850	—	500
Сплав ТБ . . .	МН16	1250—1260	980—1030	750—780	—	100
Манганин . . .	МНМц3-12	1160—1175	800—850	700—750	250—375	100—150
Сплав ТП . . .	МН0,6	1160—1180	880—930	500	—	100

Термоэлектрические свойства термоэлектродных

Наименование сплава	Марка сплава	Т. э. д. с., *мв*, в паре с платиной			
		100	200	300	400
Алюмель	НМцАК2-2-1	—1,20	—1,98	—2,68	—3,46
Хромель	НХ9,5	+3,00	+6,20	+9,55	+12,95
Копель	МНМц43-0,5	—4,00	—8,57	—13,55	—18,62
Константан	МНМц40-1,5	—3,40	—7,20	—11,30	—15,50
Сплав ТБ	МН16	—2,21	—4,80	—7,93	—11,91
Манганин	МНМц3-12	+0,89	+1,89	+3,29	+5,06
Сплав ТП	МН0,6	+0,12	—0,61	—1,36	—2,17

Механические и физические свойства полуфабрикатов из

Наименование сплава	Марка сплава	Вид изделия	Состояние материала
Алюмель	НМцАК2-2-1	Проволока для термоэлектродов термопар	Мягкая
Хромель 1	НХ9,5	То же	»
Хромель 2	НХ9	Проволока для компенсационных проводов	»
Копель	МНМц43-0,5	Проволока для термоэлектродов термопар и компенсационных проводов	»
Константан	МНМц40-1,5	Проволока для компенсационных проводов	»
		Проволока для электротехнических целей	»
		То же	Твердая
		Лента	Мягкая
		То же	Твердая
Манганин*	МНМц3-12	Заготовка для проволоки диам., *мм*:	Мягкая
		до 1	
		более 1	
		Заготовка для стабилизированной проволоки	»
Сплав ТБ	МН 1	Проволока для компенсационных проводов	Мягкая
Сплав ТП	МН0,6	То же	»

* Температурный коэффициент электросопротивления α_{20-100° составляет для класса А от $+3 \cdot 10^{-5}$

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Я. Берковский, А. Г. Колоколова, Никелевые сплавы, Металлургиздат, 1941.
2. А. С. Займовский, В. З. Усов, Металлы и сплавы в электротехнике, Госэнергоиздат, 1949.
3. В. А. Любешкин. Сборник научных работ Гипроцветметобработки, вып. 11, Металлургиздат, 1950.
4. С. А. Погодин. Проводниковые и реостатные сплавы, ОНТИ, 1936.

Таблица 55

сплавов и сплавов сопротивления

при температурах рабочего спая, °С (температура холодного спая 0° С)					
500	600	700	800	900	1000
—4,31	—5,17	—6,03	—6,93	—7,78	—8,63
+16,30	+19,70	+23,05	+26,25	+29,45	+32,5
—23,86	—29,29	—34,75	—40,20	—	—
—19,90	—24,50	—29,10	—33,70	—	—
—14,91	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
—3,17	—	—	—	—	—

Таблица 56

термоэлектродных сплавов и сплавов сопротивления

Предел прочности при растяжении σ_b кг/мм² не более	Относительное удлинение δ % не менее	Удельное электросопротивление ρ, ом. мм²/м	Т.э.д.с. в паре с медью при температуре свободного конца 0°С и рабочего 100°С мв	ГОСТ или ТУ
64	30	0,305 ± 0,045	—	ГОСТ В-1790—42
				ГОСТ В-1790—42
80	25	0,66 ± 0,05	—	ГОСТ 1791—54
80	25	0,66 ± 0,05	+2,14 ± 0,15	ГОСТ 1791—54
60	20	0,465 ± 0,025	—4,76 ± 0,15	ГОСТ В-1790—42 ГОСТ 1791—54
Не менее 40	15	0,465 ± 0,025	—4,10 ± 0,15	ГОСТ 1791—54
40—55	—	0,45 — 0,48	—	ГОСТ 5307—50
Не менее 65	—	0,46 — 0,52	—	ГОСТ 5307—50
40—60	—	0,45	—	
Не менее 65	—	0,51	—	ГОСТ 5189—49
65	—	0,42 — 0,48	—	ЦМТУ 683—41
60	—	0,42 — 0,48	—	
65	—	0,42 — 0,48	—	ЦМТУ 2554—50
45	20	—	—2,96 ± 0,10	—
30	25	—	—0,64 ± 0,03	ГОСТ 1791—54

до—$4 \cdot 10^{-5}$ для класа Б $\pm 6 \cdot 10^{-5}$ Т.э.д.с. в паре с электролитической медью для этого сплава не более 1 мкв

5. А. П. Смирягин, О. С. Квурт. Сборник научных работ Гипроцветметобработки, вып. 14, Металлургиздат, 1952.

6. А. П. Смирягин, Н. З. Днестровский, Н. И. Зедин, В. А. Кочкин. Цветные металлы, 1940, № 1.

7. В. Хессенбрук. Металлы и сплавы для высоких температур, ч. I, 1940.

8. A. Schulze. Metallische werkstoff für Termoelemente, Berlin, 1941.

ГЛАВА IV

ЛЕГКИЕ СПЛАВЫ

§ 1. АЛЮМИНИЙ И ЕГО ВАЖНЕЙШИЕ СПЛАВЫ

Алюминий отличается высокой электропроводностью, теплопроводностью, коррозионной стойкостью и малым удельным весом и отлично обрабатывается давлением в холодном и горячем состояниях. Эти свойства обеспечивают ему широкое распространение в промышленности: в электротехнике — для проводников тока, в пищевой промышленности — для термоизоляции (фольга), в пиротехнике и алюминотермии (порошок). Сплавы на основе алюминия благодаря своей прочности и малому удельному весу особенно широко применяются в авиапромышленности, а также для изготовления предметов широкого потребления.

1. Влияние примесей

Примеси оказывают значительное влияние на электропроводность, теплопроводность, а также механические, коррозионные и технологические свойства технического алюминия и его сплавов. На рис. 205—207 показано влияние примесей и добавок на электропроводность и теплопроводность алюминия.

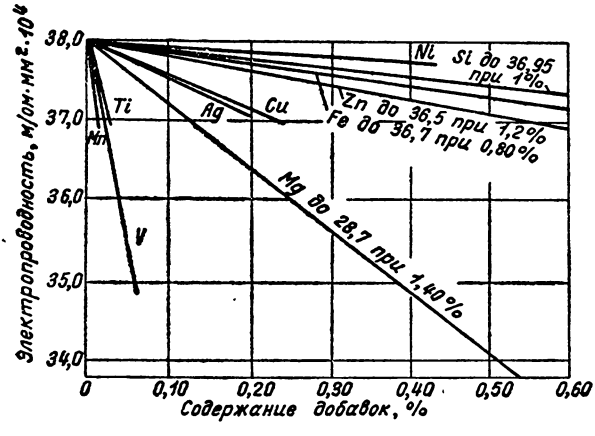


Рис. 205. Влияние примесей на электропроводность алюминия

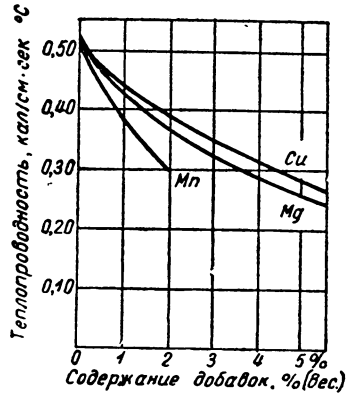


Рис. 206. Влияние добавок на электропроводность алюминия

Рис. 207. Влияние добавок на теплопроводность алюминия

Железо, наряду с кремнием, является основной примесью в торговых сортах алюминия. Железо весьма незначительно растворяется в алюминии в твердом состоянии. При температуре эвтектики (655°) растворимость железа достигает 0,52%, и с понижением температуры граница твердого раствора α резко сдвигается в сторону алюминия. Поэтому железо в алюминии присутствует в виде самостоятельной фазы (Al_3Fe).

Железо является вредной примесью в алюминии, а также в сплавах алюминия с кремнием и магнием. Железо снижает коррозионную стойкость алюминия и заметно уменьшает электропроводность и пластичность, но несколько повышает прочность. Однако в жаропрочных алюминиевых сплавах железо (в композиции с никелем) является весьма полезным.

Кремний является обычной примесью в алюминии. В сплавы на алюминиевой основе кремний, наряду с медью, магнием, цинком, а также марганцем, никелем и хромом (второстепенные добавки), вводится в качестве основного компонента. Образующиеся при этом соединения ($CuAl_2$, Mg_2Si, $CuMgAl_2$ и другие) являются эффективными упрочнителями алюминиевых сплавов. На механические и физико-химические свойства алюминия кремний влияет в том же направлении, как и железо.

Примеси *кальция, ванадия,* присутствующие в стандартных марках алюминия в ничтожном количестве, не имеют практического значения.

Незначительные добавки *церия, натрия, титана* оказывают существенное влияние на структуру и свойства определенных алюминиевых сплавов.

Водород значительно растворим, особенно в расплавленном алюминии (см. табл. 8), он оказывает отрицательное влияние, так как вызывает брак литья по пористости.

Водяной пар, диссоциирующий при 500° и выше, также оказывает на алюминий весьма вредное действие. Азот, окись углерода, углекислый и сернистый газы при высоких температурах могут вступать в реакцию с алюминием с образованием тугоплавких соединений.

Кислород весьма энергично реагирует с алюминием с образованием тугоплавкого окисла.

С галогенами алюминий реагирует весьма активно.

2. Коррозионные свойства алюминия

Алюминий и его сплавы отличаются весьма высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях сельской местности и городских промышленных районов. Сернистый газ, сероводород, аммиак и другие газы, находящиеся в воздухе промышленных районов, не оказывают заметного влияния на скорость коррозии алюминия и его сплавов.

Алюминий практически не корродирует в дистиллированной и чистой пресной (естественной) воде даже при высоких температурах (до 180°). Воздействие пара на алюминий и его сплавы также весьма незначительно. Вода, содержащая примеси щелочей, весьма резко повышает скорость коррозии алюминия. Скорость коррозии алюминия в аэрированной воде, *мм/год*, при содержании:

0,1% едкого натра	16
0,1% соляной кислоты	1
1% соды	4

Алюминий и его сплавы, не содержащие меди, достаточно стойки в естественной не загрязненной морской воде. На этих сплавах обычно наблюдается точечная коррозия, а потому устойчивость алюминия и его сплавов в морской воде определяется не по изменению веса образцов и не по скорости проникновения коррозии, а по изменению механических свойств этих сплавов. Сернокислые нейтральные соли магния, натрия, аммония, а также гипосульфит практически не действуют на технический алюминий. Скорость коррозии алюминия возрастает в присутствии в воде солей ртути, меди или ионов хлора, разрушающих защитную окисную пленку на алюминии.

Кислые рудничные воды являются довольно агрессивными, однако стальные или оцинкованные трубы в этих условиях корродируют значительно быстрее, чем алюминиевые.

Минеральные кислоты весьма сильно действуют на алюминий и его сплавы. В концентрированной азотной кислоте при комнатной температуре алюминий и его сплавы весьма устойчивы, но в разбавленных кислотах разрушаются весьма быстро. Слабые растворы серной кислоты (концентрацией до 10%) при комнатной температуре весьма незначительно влияют на технический алюминий, но с повышением концентрации и температуры скорость коррозии резко возрастает. В 100%-ной серной кислоте алюминий практически устойчив. Соляная кислота весьма быстро разрушает алюминий и его сплавы, особенно с повышением температуры. Такое же действие на алюминий производят растворы плавиковой и бромистоводородной кислот. Слабые растворы фосфорной (менее 1%), хромовой (до 10%)и борной кислот (при всех концентрациях) на алюминий и его сплавы действуют весьма незначительно.

Органические кислоты: уксусная, масляная, лимонная, винная, пропионовая, яблочная, глюконовая, а также кислые (незагрязненные) фруктовые соки и вино оказывают слабое влияние на алюминий и его сплавы. Исключением в этом отношении являются: щавелевая кислота, муравьиная и другие, содержащие хлор.

Алюминий и его сплавы разрушаются в растворах едких щелочей, однако в растворах аммиака эти сплавы довольно стойки, особенно сплавы, содержащие магний.

Амины также весьма незначительно действуют на эти сплавы.

Следует отметить, что алюминий и однофазные сплавы на алюминиевой основе более стойки в коррозионном отношении, чем сплавы двухфазные и многофазные. Алюминиевомедные сплавы с грубыми выделениями $Al_2Cu(\beta)$ корродируют быстрее вследствие того, что потенциал растворения этого соединения отличается от потенциала растворения твердого раствора. Однако алюминиевомарганцевые сплавы в присутствии фазы Al_6Mn (по другим источникам Al_7Mn) весьма устойчивы, так как потенциалы растворения этого соединения и основного твердого раствора весьма близки.

Алюминий в контакте с большинством технических металлов и сплавов, являющихся более благородными по ряду напряжений, будет служить анодом и, следовательно, коррозия его в электролитах будет прогрессировать.

В морской воде или в растворе хлористого натрия коррозия алюминия в контакте с обычной сталью будет ускоряться, то же самое произойдет и в контакте с нержавеющей сталью, но в несколько меньшей степени.

Однако в некоторых растворах наблюдается обратное явление. При контакте алюминия с цинком в щелочных растворах скорость коррозии алюминия увеличивается, а в кислых или нейтральных растворах вследствие перераспределения потенциалов произойдет преимущественное разрушение цинка.

3. Алюминий технический

В табл. 57 приведен химический состав стандартных марок алюминия. В табл. 58 даны физические, механические свойства и технологические характеристики технического алюминия. В табл. 59 приведены механические свойства полуфабрикатов из алюминия.

На рис. 208—212 показаны свойства алюминия в различных состояниях.

Таблица 57

Химический состав первичного алюминия в чушках, % по ГОСТ 3549—55

Марка	Алюминий (не менее)	Примеси, не более					Маркировка
		железо	кремний	сумма железа и кремния	медь	всего примесей	
АВ0000	99,996	0,0015	0,0015	—	0,001	0,004	АВ0000
АВ000	99,99	0,0030	0,0025	—	0,005	0,010	АВ000
АВ00	99,97	0,015	0,015	—	0,005	0,03	АВ00
АВ0	99,93	0,04	0,04	—	0,01	0,07	АВ0
А00	99,7	0,16	0,16	0,26	0,01	0,30	Одна полоса белого цвета
А0	99,6	0,25	0,20	0,36	0,01	0,40	Две полосы белого цвета
А1	99,5	0,30	0,30	0,45	0,015	0,50	Одна полоса красного цвета
А2	99,0	0,50	0,50	0,90	0,02	1,00	Две полосы красного цвета
А3	98,0	1,1	1,0	1,80	0,05	2,00	Три полосы красного цвета

Примечания: 1. Для алюминия марок А00, А0, А1, А2 и А3 содержание примеси цинка гарантируется заводом-изготовителем в количестве не более 0,08%.

2. Содержание в алюминии примеси титана должно определяться по требованию заказчика заводом-изготовителем.

3. Заводы-изготовители должны отбирать алюминий марок А00, А0, А1, А2 и А3 с отношением примесей кремния к железу не более единицы для поставки его заводам, отливающим слитки из алюминия полунепрерывным и непрерывном методами. К обозначению марок такого алюминия добавляется буква П (например, А00П, А0П). На торцы чушек такого алюминия наносится одна дополнительная поперечная полоса того же цвета.

4. Методы химического анализа по ГОСТ 2530—48.

5. Методы спектрального анализа по ГОСТ 3221—46.

Таблица 58

Физические и механические свойства и технологические характеристики алюминия

Наименование	Значение	Состояние материала
Атомный вес	26,97	—
Плотность при 20°, *г/см*³	2,7	—
Температура плавления, °С	658,7	—
Температура кипения при 760 *мм* рт. ст., °С	1800	—
Скрытая теплота плавления, *кал/г*	92,4	—
Увеличение объема при плавлении, %	6,5	—
Скрытая теплота парообразования, *кал/г*	2227	—
Удельная теплоемкость в твердом состоянии при 20°, *кал/г* °С	0,222	—
Теплопроводность при 20°, *кал/см·сек·*°С	0,52	—
Коэффициенты линейного расширения:		
$\alpha_{20-100°}$	$23{,}8\cdot10^{-6}$	—
$\alpha_{200-300°}$	$27{,}5\cdot10^{-6}$	—
$\alpha_{500-600°}$	$33{,}5\cdot10^{-6}$	—
Удельное электросопротивление при 20°, *ом·мм²/м*	0,027—0,030	—
Температурный коэффициент электросопротивления	0,0042	—
Поверхностное натяжение при 700—800°, *дин/см*	520	—
Стандартный электродный потенциал, *в*	—1,67	—
Электрохимический эквивалент, *г/а-ч*	0,3354	—
Модуль нормальной упругости при растяжении, *кг/мм²*, при температуре, °С:		
20	6000—7000	Отожженный

Продолжение табл. 58

Наименование	Значение	Состояние материала
200	5500	Отожженный
Предел упругости, *кг/мм²*	3—4	»
Предел текучести, *кг/мм²*	5—8	»
То же	12	Деформированный
Модуль сдвига при 20°, *кг/мм²*	2760	—
Предел усталости при переменно изгибающих напряжениях при 20°, *кг/мм²*	7,4	—
Предел ползучести, *кг/мм²*, при температуре, °С:		
15	5	—
100	2,7	—
200	0,7	—
Предел прочности при растяжении, *кг/мм²*	8	Отожженный
То же	15	Деформированный
Относительное удлинение, %	30—40	Отожженный
То же	5—10	Деформированный
Относительное сужение, %	70—90	Отожженный
То же	50—60	Деформированный
Предел прочности при сжатии, *кг/мм²*	42	Литой
Твердость по Бринелю, *кг/мм²*	13—20	Отожженный
То же	25—35	Деформированный
То же	13—25	Литой
Ударная вязкость, *кгм/см²*	14	Литой
Сопротивление на срез, *кг/мм²*	6	Отожженный
То же	10	Деформированный
Температура, °С:		
литья	710—730	—
горячей обработки	350—450	—
отжига	370—400	—
отпуска	150	—
Линейная усадка, %	1,7	—
Жидкотекучесть, *см*	38	—
Температура изложницы, °С	50—70	—

Примечание. В качестве смазки использовали мел. Рафинирующим флюсом служил хлористый цинк. Методы рафинирования. замораживание и продувка хлором.

Таблица 59

Механические свойства полуфабрикатов из алюминия

Наименование полуфабриката	Марка сплава	Толщина или диаметр, *мм*	Состояние материала	Предел прочности при растяжении *кг/мм²*	Относительное удлинение %	ГОСТ
Листы и ленты	А00,	До 0,5	Мягкие	Не более 11	Не менее 20	ГОСТ 7869—56
	А0,	0,5—0,9	»	» » 11	» » 25	
	А1,	Свыше 0,9	»	» » 11	» » 28	
	А2, и А3					
	АД,	До 4	Твердые	Не менее 15	» » 4	
	АД1	Свыше 4	»	» » 13	» » 5	
		» 4	Горячекатаные	» » 7	» » 15	
Ленты	А0,	0,30—0,67	Мягкие	Не менее 7,5	Не менее 20	ГОСТ 1018-54
	А1	0,30	Твердые	10—15	» » 2,5	
		0,35	»	12—15	» » 3,0	

Продолжение табл. 59

Наименование полуфабриката	Марка сплава	Толщина или диаметр, *мм*	Состояние материала	Предел прочности при растяжении *кг/мм²*	Относительное удлинение %	ГОСТ
Фольга	А00, А0	0,005—0,006	Мягкая	—	—	ГОСТ 618—50
		0,0075—0,011	»	Не менее 3	Не менее 0,5	
		0,012—0,040	»	» » 3	» » 2,0	
		0,050—0,200	»	» » 3	» » 3,0	
		0,005—0,006	Твердая	—	—	
		0,0075—0,011	»	Не менее 40,0	—	
		0,012—0,200	»	» » 10,0	Не менее 0,5	
Прутки прессованные всех размеров	АД АД1	До	Мягкие	Не более 11	Не менее 25	ГОСТ 4783—49
Трубы всех размеров	АД, АД1	Толщина стенки до 2	Твердые	Не менее 11	Не менее 4	ГОСТ 4773—49
		» 2,5—5	»	» » 10	» » 5	
		» 2,5—5	Мягкие	Не более 12	» » 20	
Проволока*	Из алюминиевых вайербарсов	0,80—1,00	Мягкая	Не менее 7,5	Не менее 10	ГОСТ 6132—52
		1,01—2,00	»	» » 7,5	» » 12	
		2,01—3,00	»	» » 7,5	» » 15	
		3,01—5,00	»	» » 7,5	» » 18	
		0,80—1,00	Твердая**	» » 16,5	» » 1,0	
		1,01—1,50	»	» » 16	» » 1,2	
		1,51—3,00	»	» » 16	» с 1,5	
		3,01—4,00	»	» » 15	» » 1,5	
		4,01—5,00	»	» » 15	» » 2,0	

*) Электросопротивление проволоки при 20° должно быть не более 0,0295 *ом·мм²/м*.

**) Проволока твердая диаметром 1,50—4,00 *мм* должна выдерживать без разрушения 6 перегибов диаметром 4,01—5,00 *мм* — 5 перегибов.

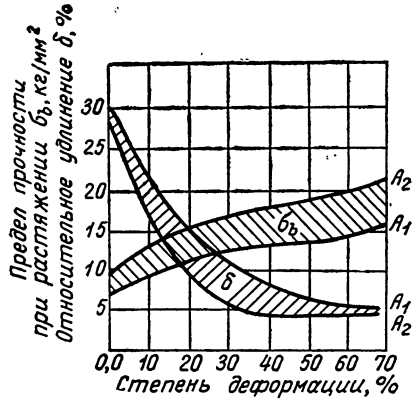


Рис. 208. Изменение механических свойств алюминия марок А1 и А2 в зависимости от степени деформации Исходный материал: полосы мягкие толщиной 2 *мм*

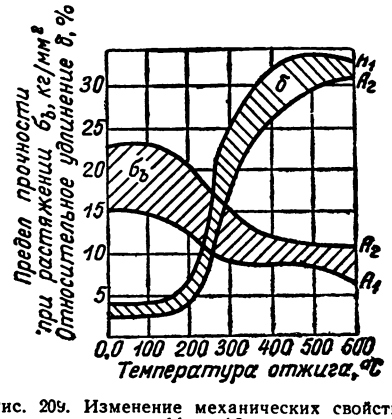


Рис. 209. Изменение механических свойств алюминия марок А1 и А2 в зависимости от температуры отжига. Исходный материал: полосы твердые толщиной 2 *мм*

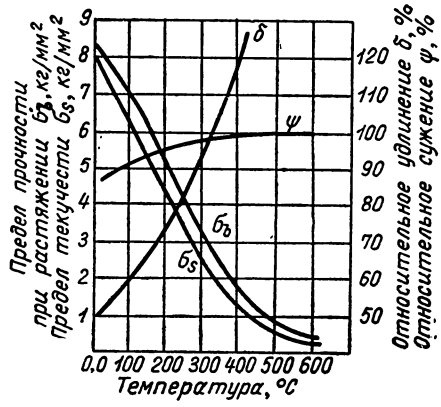


Рис 210. Изменение механических свойств алюминия (99,57% Al; 0,22% Si; 0,21% Fe) при высоких температурах. Исходный материал: прутки диаметром 28 *мм*, отожженные при 550° в течение 6 час.

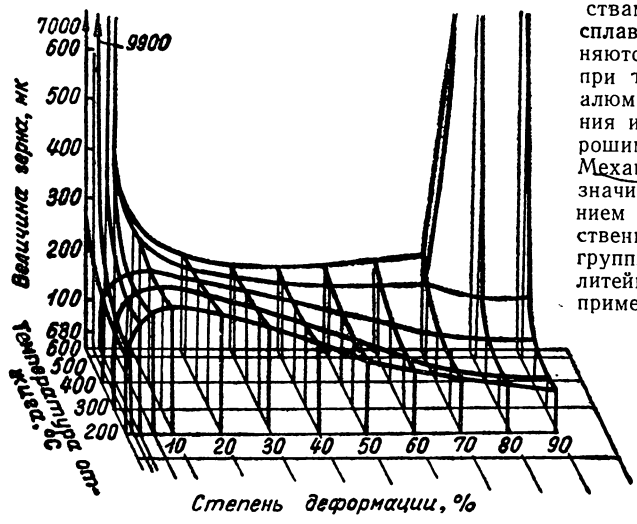


Рис. 212. Диаграмма рекристаллизации алюминия

4. Алюминиевые сплавы, обрабатываемые давлением

Деформируемые алюминиевые сплавы разделяются на две основные группы:

а) сплавы, не упрочняющиеся под влиянием естественного и искусственного старения;

б) сплавы, упрочняющиеся под влиянием термической обработки.

К первой группе относятся: технический алюминий, сплавы алюминия с добавками марганца (сплав АМц) и сплавы с добавками магния (сплавы типа магналий). Сплавы с добавками марганца и технический алюминий весьма пластичны, отлично обрабатываются давлением, хорошо свариваются и обладают высокой коррозионной стойкостью; прочность их невысока. Сплавы типа магналий имеют относительно высокую прочность и несколько пониженную пластичность.

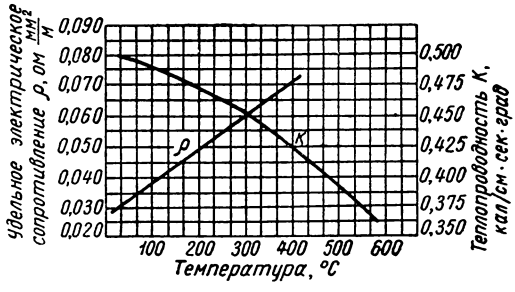


Рис. 211. Изменение удельного электросопротивления и теплопроводности алюминия при высоких температурах

Ко второй группе упрочняемых сплавов практически можно отнести все остальные стандартные сплавы на алюминиевой основе.

Сплавы алюминия с добавками меди и магния — Д1, Д6, Д16 и другие — отличаются повышенными механическими свойствами. Термически обработанные сплавы этого типа с успехом применяются в конструкциях, работающих при температуре до 200°. Сплавы алюминия с добавками магния, кремния и меди обладают достаточно хорошими механическими свойствами. Механические свойства этих сплавов значительно повышаются под влиянием как естественного, так и искусственного старения. Сплавы этой группы отличаются весьма хорошими литейными свойствами и с успехом применяются для изготовления крупных (весом несколько тонн) поковок и штамповок.

Более сложные алюминиевые сплавы (АК2, АК4, АК4-1) отличаются высокими механическими свойствами и применяются для изготовления особосложных поковок и штамповок. Они обладают повышенной жаростойкостью. В частности, сплав АК4-1 с успехом может применяться в конструкциях, работающих при температуре до 250°.

Сплавы алюминия с добавками цинка, магния и меди (сплав В95 и др.) являются наиболее прочными из алюминиевых сплавов и широко применяются в ответственных конструкциях в виде кованых и прессованных изделий и листов. Однако сплавы этого типа имеют пониженные коррозионные свойства и жаростойкость и рекомендуются для применения в конструкциях, работающих при температуре не выше 120°.

В табл. 60—65 приведен химический состав, физические и механические свойства деформируемых алюминиевых сплавов в различных состояниях.

Химический состав деформируемых

Марка сплава	Химический состав, %									
	основные компоненты								при	
	медь	магний	марганец	никель	железо	кремний	цинк	алюминий	железо	кремний
АД	—	—	—	—	—	—	—	98,8	0,5	0,55
АД-1	—	—	—	—	—	—	—	99,8	0,3	0,35
АМц	—	—	1,0—1,6	—	—	—	—	Ост.	0,7	0,6
АМг	—	2,0—2,8	0,15—0,40 или хром в том же количестве	—	—	—	—	»	0,4	0,4
АМг5П	—	4,7—5,7	0,2—0,6	—	—	—	—	»	0,4	0,4
Д1	3,8—4,8	0,4—0,8	0,4—0,8	—	—	—	—	»	0,7	0,7
Д6	4,6—5,2	0,65—1,0	0,5—1,0	—	—	—	—	»	0,5	0,5
Д7	3,0—4,0	0,25—0,5	0,25—0,5	—	—	—	—	»	0,8	0,8
Д16	3,8—4,9	1,2—1,8	0,3—0,9	—	—	—	—	»	0,5	0,5
Д1П	3,8—4,5	0,4—0,8	0,4—0,8	—	—	—	—	Ост.	0,5	0,5
Д3П	2,6—3,5	0,3—0,7	0,3—0,7	—	—	—	—	»	0,5	0,5
Д16П	3,8—4,5	1,2—1,6	0,3—0,7	—	—	—	—	»	0,5	0,5
Д18П	2,2—3,0	0,2—0,5	—	—	—	—	—	»	0,5	0,5
АВ	0,2—0,6	0,45—0,9	0,15—0,35 или хром в том же количестве	—	—	0,5—1,2	—	»	0,5	—
АК	—	—	—	—	—	4,5—6,0	—	»	0,6	—
АК2	3,5—4,5	0,4—0,8	—	1,8—2,3	0,5—1,0	0,5—1,0	—	»	—	—
АК4	1,9—2,5	1,4—1,8	—	1,0—1,5	1,0—1,5	0,5—1,2	—	Ост.	—	—
АК4-1	1,9—2,5	1,4—1,8	—	1,0—1,5	1,0—1,5	—	Титан 0,02—0,1	»	—	0,35
АК6	1,8—2,6	0,4—0,8	0,4—0,8	—	—	0,7—1,2	—	»	0,7	—
АК8	3,9—4,8	0,4—0,8	0,4—1,0	—	—	0,6—1,2	—	»	0,7	—
АЛД	—	0,5—0,9	—	—	0,2—0,5	0,8—1,0	—	»	—	—
Д12	—	0,8—1,3	0,9—1,4	—	—	—	—	»	0,7	0,7

Примечание. 1. Сплав марки АМг в случае применения для сварочной проволоки может со-
2. Сплав марки АВ по требованию потребителя может поставляться с содержанием меди и цинка не
3. В сплавах всех марок, за исключением сплавов, содержащих титан, и сплава марки В95, допус-
4. В прочие примеси включаются также все примеси, указанные в таблице, допустимые пределы со

Таблица 60

алюминиевых сплавов по ГОСТ 4784—49

Химический состав, %									Р
месей (не более)									
сумма железа и кремния	медь	марганец	никель	цинк	сумма железа и никеля	магний	прочие примеси	всего примесей	
1,0	0,1	0,1	—	0,1	—	0,1	0,1	1,2	Трубы, прутки, листы, профили, проволока, поковки, штамповки
0,6	0,05	—	—	—	—	—	0,1	0,7	То же
—	0,2	—	—	0,1	—	0,05	0,1	1,75	» »
0,6	0,1	—	—	—	—	—	0,1	0,8	» »
0,6	0,2	—	—	—	—	—	0,1	1,1	Проволок
—	—	—	0,1	0,3	0,7	—	0,1	1,8	Листы плакированные, трубы прутки, профили, проволока, поковки, штамповки
—	—	—	0,1	0,3	—	—	0,1	1,5	Трубы, прутки, листы профили
—	—	—	0,1	0,3	0,8	—	0,1	2,0	То же
—	—	—	0,1	0,3	0,5	—	0,1	1,5	Листы плакированные, трубы, прутки, профили, проволока
—	—	—	—	0,1	—	—	0,1	1,2	Проволока и заклепки
—	—	—	—	—	—	—	0,1	1,1	То же
—	—	—	—	0,1	—	—	0,1	1,2	» »
—	—	0,2	—	0,1	—	—	0,1	1,4	Проволока для заклепок
—	—	—	—	0,2	—	—	0,1	0,8	Трубы, прутки, листы, профили, поковки, и штамповки
—	0,2	—	—	0,1 (цинк и олово)	—	—	0,1	0,9	Проволока для заклепок и сварки
—	—	0,2	—	0,3	—	—	0,1	0,6	Прутки, поковки, штамповки
—	—	0,2	—	0,3	—	—	0,1	0,6	Прутки, поковки и штамповки, полосы, листы
—	—	0,2	—	0	—	—	0,1	0,95	То же
—	—	—	0,1	0,3	0,7	—	0,1	1,1	» »
—	—	—	0,1	0,3	—	—	0,1	1,2	» »
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	0,1	—	—	—	—	—	0,1	1,6	—

держать железа и кремния не более 0,5% каждого.
более 0,1% каждого или же с содержанием меди от 0 до 0,5% и марганца (или хрома) от 0 до 0,2%.
кается титан в количестве не более 0,15% сверх суммы всех примесей.
держания которых не проставлены.

Таблица 61

Химический состав деформируемых алюминиевых сплавов (дополнения к ГОСТ 4784—49)

Марка сплава	Химический состав, %																
	Основные компоненты								Примеси (не более)								
	медь	магний	марганец	кремний	цинк	хром	ванадий	алюминий	железо	кремний	сумма железа и кремния	медь	никель	цинк	сумма железа и никеля	прочие примеси	всего примесей
В-95	1,4—2,0	1,8—2,8	0,2—0,6	—	5,0—7,0	0,10—0,25	—	Ост.	0,5	0,5	1,0	—	—	—	—	0,1	1,1
В-65	3,9—4,5	0,15—0,30	0,3—0,5	—	—	—	—	»	0,2	0,25	0,45	—	—	0,1	—	0,1	0,65
АМг3	—	3,2—3,8	0,3—0,6	0,5—0,8	—	—	—	»	0,5	—	—	0,05	—	0,2	—	0,1	0,85
АМг5В	—	4,8—5,5	0,3—0,6	—	—	—	0,02—0,2	»	0,5	0,5	1,0	0,05	—	0,2	—	0,1	1,35
АК6-1	1,8—2,6	0,4—0,8	0,4—0,8	0,7—1,2	—	0,01—0,2	Титан 0,02—0,1	»	0,7	—	—	—	0,1	0,3	0,7	0,1	1,1
ВД17	2,6—3,2	2,0—2,4	0,45—0,70	—	—	—	—	»	0,3	0,3	0,6	—	—	0,1	—	0,1	0,8
АСМ	—	0,3—0,7	—	—	—	Сурьма 3,5—6,5	—	»	0,75	0,5	1,25	0,1	—	0,1	—	Mn 0,2	1,65

Таблица 62

Физические и механические свойства деформируемых алюминиевых сплавов

Марка сплава	Состояние материала	Плотность $г/см^3$	Коэффициент линейного расширения, $\times 10^6$			Коэффициент теплопроводности $кал/см \cdot сек \cdot °C$	Электропроводность % от электропроводности меди	Модуль нормальной упругости, $кг/мм^2$	Модуль сдвига $кг/мм^2$	Коэффициент Пуассона	Предел прочности при растяжении, $кг/мм^2$	Предел текучести $кг/мм^2$	Предел усталости на базе $5 \cdot 10^7$ циклов, $кг/мм^2$	Относительное удлинение, %	Относительное сужение %	Твердость по Бринелю $кг/мм^2$
			$\alpha_{20-100°}$	$\alpha_{20-200°}$	$\alpha_{20-300°}$									l_0		
А	Отожженный	2,71	24	24,8	25,9	0,54	59	7200	2700	0,33	9	3	4	30	—	25
	Нагартованный	2,71	24	24,8	25,9	0,52	57	7200	2700	0,33	14	10	5	12	—	32
АМц	Отожженный	2,73	24	24,8	25,9	0,45	50	7200	2700	0,33	13	5	5,5	20	70	30
	Нагартованный	2,73	24	24,8	25,9	0,38	—	7200	2700	0,33	16	13	6,5	10	55	40
АМг	Отожженный	2,67	23,4	24,5	25,4	0,30	40	7200	2700	0,33	20	10	12,5	23	—	45
	Нагартованный	2,67	23,4	24,5	25,4	0,30	40	7200	2700	0,33	25	21	13,5	6	—	60
АМг5	Отожженный	2,65	23,9	24,8	25,9	0,28	29	7200	2700	0,33	27	15	—	23	—	70
Д1	Закаленный и естественно состаренный	2,8	22	23,4	24,8	0,28	30	7200	2700	0,33	42	24	10,5	18	35	100
	Отожженный	2,8	22	23,4	24,8	0,41	45	7200	2700	0,33	21	11	7,5	18	58	45
	Плакированный закаленный и естественно состаренный	2,8	22	23,4	24,8	—	—	7200	2700	0,33	38	22	—	18	—	100
	Плакированный отожженный	2,8	22	23,4	24,8	—	—	7200	2700	0,33	18	11	—	18	—	45
Д6	Закаленный и естественно состаренный	2,8	22	23,4	24,8	—	—	7200	2700	0,33	46	30	—	15	—	105

Продолжение табл. 62

Марка сплава	Состояние материала	Плотность $г/см^3$	Коэффициент линейного расширения, $\times 10^6$			Коэффициент теплопроводности кал/см сек °С	Электропроводность % от электропроводности меди	Модуль нормальной упругости, $кг/мм^2$	Модуль сдвига $кг/мм^2$	Коэффициент Пуассона	Предел прочности при растяжении, $кг/мм^2$	Предел текучести $кг/мм^2$	Предел усталости на базе 10^7 циклов, $кг/мм^2$	Относительное удлинение %	Относительное сужение %	Твердость по Бринелю $кг/мм^2$
			$\alpha_{20-100°}$	$\alpha_{20-200°}$	$\alpha_{30-300°}$											
	Отожженный	2,8	22	23,4	24,8	—	—	7200	2700	0,33	22	11	—	15	48	—
Д16	Закаленный и естественно состаренный	2,8	22	23,4	24,8	0,28	30	7200	2700	0,33	47	33	11,5	17	30	105
	Отожженный	2,8	22	23,4	24,8	0,45	50	7200	2700	0,33	21	11	—	18	55	42
Д16	Плакированный	2,8	22	23,4	24,8	0,28	30	7200	2700	0,33	43	30	—	18	—	105
	Отожженный	2,8	22	23,4	24,8	0,45	50	7200	2700	0,33	18	10	—	18	—	42
Д3П	Закаленный и естественно состаренный	2,78	22	23,4	24,8	—	—	7200	2700	0,33	34	21	10	10	40	80
	Отожженный	2,78	22	23,4	24,8	—	—	7200	2700	0,33	17	8	—	20	—	—
Д18	Закаленный и естественно состаренный	2,75	22	23,4	24,8	—	—	7200	2700	0,33	30	17	9,5	24	50	70
	Отожженный	2,75	22	23,4	24,8	—	—	7200	2700	0,33	16	6	—	24	—	38
АВ	Закаленный и искусственно состаренный	2,69	23,4	24,5	25,4	0,41	45	7200	2700	0,33	33	28	7,5	12	20	95
	Закаленный	2,69	23,4	24,5	25,4	—	—	7200	2700	0,33	22	12	7,5	22	50	65
	Отожженный	2,69	23,4	24,5	25,4	0,50	55	7200	2700	0,33	13	—	7,5	24	65	30
АК2	Закаленный и искусственно состаренный	2,8	22	23,4	24,8	0,37	—	7200	2700	0,33	42	28	10	13	—	100
АК4	Закаленный и искусственно состаренный	2,8	22	23,1	24	0,43	—	7200	2700	0,33	44	29	—	10	—	110
АК6	Закаленный и искусственно состаренный	2,75	—	—	—	—	—	7200	2700	0,33	42	30	—	13	—	105
АК8	Закаленный и искусственно состаренный	2,8	22	23,4	24,8	0,37	40	7200	2700	0,33	49	38	11,5	13	25	130
АК9	Закаленный и искусственно состаренный	2,69	19,5	20,5	21,4	0,32	35	7200	2700	0,33	39	28	10	10	—	115
В95	Закаленный и искусственно состаренный	2,8	23,2	24,3	25,9	0,28	30	7400	2700	0,33	60	55	16	12	—	150
	Отожженный	2,8	23,2	24,3	25,9	0,28	30	7400	2700	0,33	26	13	—	13	—	—
	Плакированный закаленный и искусственно состаренный	—	—	—	—	—	—	7400	2700	0,33	54	47	—	10	23	—
	Плакированный отожженный	—	—	—	—	—	—	7400	2700	0,33	22	11	—	18	50	—

Таблица 63

Механические свойства деформируемых алюминиевых сплавов при высоких температурах

Температура, °С	Свойства	Марка сплава										
		А	АМц	АМг	Д1	Д16	Д18	АВ	АК2	АК4	АК8	АК9
25	Предел прочности при растяжении, кг/мм²	9	11,5	20,5	43,5	48	30	33	44,5	43	49,5	39,5
	Предел текучести, кг/мм²	3,5	4,0	10	28	31,5	17	28	38	—	38,5	32,0
	Относительное удлинение, %	45	40	30	20	22	27	20	17	—	14	8
150	Предел прочности при растяжении, кг/мм²	5,5	8	16	28	29,5	21	13,5	34,5	36	30,5	27,5
	Предел текучести, кг/мм²	2,5	3,5	9,5	24	24,5	18	10,5	31	—	27,5	23
	Относительное удлинение, %	65	47	55	16	21	20	28	10	—	14	9
200	Предел прочности при растяжении, кг/мм²	4	5,5	12,5	18	19,5	12	5,5	—	—	12	11
	Предел текучести, кг/мм²	2	3	8	15	16	9	4,0	—	—	9	7,5
	Относительное удлинение, %	70	50	65	25	25	30	58	—	—	28	34
260	Предел прочности при растяжении, кг/мм²	2,5	4	8,5	9	10	5,5	4,0	8	31	7	6
	Предел текучести, кг/мм²	1,5	2,5	5,5	6,5	7	4	3,0	5	—	6	4,5
	Относительное удлинение, %	85	60	100	35	40	45	59	32	—	32	50
315	Предел прочности при растяжении, кг/мм²	2	3	5,5	4	5,5	3	3,0	—	—	4,5	4
	Предел текучести, кг/мм²	1	2	3	2,5	4	2	2,5	—	—	3	2,5
	Относительное удлинение, %	90	60	105	90	65	70	60	—	—	45	60
370	Предел прочности при растяжении, кг/мм²	1	2	3,5	3	3	2	2,5	3	11	3	2,5
	Предел текучести, кг/мм²	0,5	1,5	2	2	2,5	1,5	2	2	—	2,5	1,5
	Относительное удлинение, %	95	60	120	100	100	90	65	85	—	55	120

Таблица 64

Характеристика и термическая обработка деформируемых алюминиевых сплавов

Марка сплава	Режим термической обработки	Характеристика сплава
А	Термической обработкой не упрочняется. Отжиг при 350—410°	Пластичность высокая. Свариваемость хорошая. Обрабатываемость резанием неудовлетворительная
АМц	Термической обработкой не упрочняется. Отжиг при 350—410°	Пластичность в отожженном состоянии высокая. Свариваемость хорошая. Обрабатываемость резанием неудовлетворительная. Сопротивление коррозии высокое
АМг	Термической обработкой не упрочняется. Отжиг при 350—410°	Пластичность в отожженном состоянии высокая. Свариваемость хорошая. Обрабатываемость резанием в мягком состоянии неудовлетворительная, в нагартованном удовлетворительная. Сопротивление коррозии высокое
АМг5	Термической обработкой не упрочняется. Отжиг при 340—370°	Пластичность в отожженном состоянии высокая. Обрабатываемость резанием пониженная. Сопротивление коррозии высокое
Д1	Закалка с 490—505°. Естественное старение не менее 4 суток. Отжиг 340—370°	Пластичность в отожженном и свежезакаленном состоянии средняя. Свариваемость удовлетворительная. Обрабатываемость резанием в состаренном состоянии удовлетворительная, в отожженном — пониженная. Сопротивление коррозии среднее
Д6	Закалка с 498—503° в воде. Естественное старение в течение 4 суток (не менее). Отжиг 340—370°.	Пластичность в отожженном и свежезакаленном состоянии пониженная. Обрабатываемость резанием в состаренном состоянии удовлетворительная, в отожженном — пониженная. Сопротивление коррозии среднее
Д16	Закалка с 490—500° в воде. Естественное старение в течение 4 суток (не менее). Отжиг при 340—370°	Пластичность в отожженном и свежезакаленном состоянии средняя. Свариваемость удовлетворительная. Обрабатываемость резанием в состаренном состоянии удовлетворительная, в отожженном — пониженная. Сопротивление коррозии среднее
Д18	Закалка с 490—505° в воде. Естественное старение не менее 4 суток. Отжиг 340—370°	Пластичность в состаренном состоянии удовлетворительная. Обрабатываемость резанием в состаренном состоянии удовлетворительная, в отожженном — пониженная. Сопротивление коррозии среднее
АВ	Закалка с 515—525° в воде. Естественное старение или искусственное старение при 150—160° в течение 6 час. Отжиг 340—370°	Пластичность в горячем и в отожженном состояниях высокая, в состаренном состоянии средняя. Свариваемость хорошая. Обрабатываемость резанием в мягком состоянии неудовлетворительная, в состаренном — удовлетворительная. Сопротивление коррозии высокое
АК2	Закалка с 510—520° в воде. Искусственное старение при 165—175° в течение 15—18 час.	Пластичность в горячем состоянии средняя. Обрабатываемость резанием удовлетворительная
АК4	Закалка с 510—520° в воде. Искусственное старение при 165—175° в течение 15—18 час.	Пластичность в горячем состоянии пониженная. Обрабатываемость резанием удовлетворительная
АК6	Закалка с 505—515° в воде и искусственное старение при 150—160° в течение 12—15 час.	Пластичность в горячем состоянии высокая. Обрабатываемость резанием хорошая. Сопротивляемость коррозии средняя
АК8	Закалка с 500—510° в воде. Искусственное старение при 175—180 в течение 8 час.	Пластичность в горячем состоянии пониженная. Обрабатываемость резанием хорошая. Сопротивляемость коррозии пониженная
АК9	Закалка с 520—535°. Искусственное старение при 130—160° не менее 5 час.	Пластичность в горячем состоянии средняя. Обрабатываемость резанием удовлетворительная. Сопротивление коррозии среднее
В95	Закалка с 465—475° в воде. Искусственное старение при 120—125° в течение 24 час. Отжиг при 420—440°	Пластичность в отожженном и свежезакаленном состоянии средняя. Обрабатываемость резанием в состаренном состоянии удовлетворительная. Сопротивление коррозии среднее

Таблица 65

Механические свойства полуфабрикатов из деформируемых алюминиевых сплавов

Марка сплава	Наименование полуфабрикатов	Состояние материала	Толщина или диаметр, *мм*	Предел прочности при растяжении *кг/мм²*	Предел текучести *кг/мм²* (не менее)	Относительное удлинение % (не менее)	ГОСТ или ТУ
АМц	Прутки	Мягкие	Всех размеров	Не более 17	—	20	ГОСТ 4783—49
	Трубы	»		» » 14	—	—	ГОСТ 4773—49
		Твердые		Не менее 14	—	—	
	Профили	Прессованные		Не более 17	—	16	ГОСТ 8617—57
АМг	Прутки	Прессованные мягкие	Всех размеров	Не более 23	—	10	ГОСТ 4783—49
	Трубы	Мягкие		» » 22	—	—	ГОСТ 4773—49
		Полутвердые		Не менее 22	—	—	
		Твердые		» » 23	—	—	
	Профили	Отожженные		Не более 23	—	12	ГОСТ 8617—57
Д1	Листы плакированные	Мягкие	0,3—3	Не более 23	—	12	ГОСТ 4977—52
		»	3,1—10,0	» » 24	—	12	
		Закаленные и естественно состаренные	0,3—2,5	Не менее 37	19	15	
		То же	2,6—10,0	» » 38	20	15	
	Профили	Закаленные и естественно состаренные	До 10	» » 36	22	12	ГОСТ 8617—57
		То же	Более 10	» » 38	23	10	
		Отожженные	Всех размеров	Не более 25	—	12	
	Прутки прессованные	Закаленные и естественно состаренные	До 160	Не менее 38	22	12	ГОСТ 4783—49
		То же	Более 160	» » 36	20	10	
	Трубы	» »	Диаметр до 22 толщина стенки до 1	» » 38	20	13	ГОСТ 4773—49
		» »	1,5—2	» » 38	20	14	
		» »	Диаметр 22—50 толщина стенки до 1	» » 40	23	12	

Продолжение табл. 65

Марка сплава	Наименование полуфабрикатов	Состояние материала	Толщина или диаметр, *мм*	Предел прочности при растяжении *кг/мм²*	Предел текучести *кг/мм²* (не менее)	Относительное удлинение % (не менее)	ГОСТ или ТУ
Д1	Трубы	Закаленные и естественно состаренные	1,5—2	Не менее 40	23	13	ГОСТ 4773—49
		То же	Диаметр более 50 всех размеров	» » 40	23	11	
		» »	Фасонные	» » 40	23	12	
		Мягкие	Всех размеров	Не более 25	—	10	
Д16	Листы плакированные	Мягкие	0,3—2,5	Не более 23	—	10	ГОСТ 4977—52
		Мягкие	2,6—10	» » 24	—	10	
		Закаленные и естественно состаренные	0,3—2,5	Не менее 41,5	27,5	13	
		То же	2,6—6,0	» » 43,5	28,0	11	
		» »	6,1—10,0	» » 43,5	28,0	10	
		Наклепанные после закалки и естественного старения	0,8—2,5	» » 43,5	34,0	10	
		Наклепанные после закалки и естественного старения	2,6—6,5	» » 46,5	35,0	8	
		Мягкие	Всех размеров	» » 25	—	10	ГОСТ 4773—49
	Трубы	Закаленные и естественно состаренные	Диаметр до 22 толщина стенки до 1	Не менее 42	26	13	
		То же	1,5—2	» » 42	26	14	
		» »	Диаметр 22—50 всех размеров	» » 43	29	12	
		» »	Диаметр более 50	» » 43	29	10	
		» »	Фасонные всех размеров	» » 43	27	10	
	Прутки прессованные	Закаленные и естественно состаренные	До 22	Не менее 40	26	12	ГОСТ 4783—49
			23—160	» » 43	28	10	
		То же	Свыше 160	» » 42	26	8	
	Профили	Закаленные и естественно состаренные	До 5	» » 40	30	10	ГОСТ 8617—57
			5,1—10,0	» » 42	30	10	
		То же	Свыше 10	» » 43	—	10	
		Отожженные	Всех размеров	Не более 25	31	12	

Продолжение табл. 65

Марка сплава	Наименование полуфабрикатов	Состояние материала	Толщина или диаметр, *мм*	Предел прочности при растяжении *кг/мм²*	Предел текучести *кг/мм²* (не менее)	Относительное удлинение l_0 (не менее)	ГОСТ или ТУ
Д6	Прутки прессованные	Закаленные и естественно состаренные	До 22	Не менее 40	26	12	ГОСТ 4783—49
		То же	23—160	» » 43	28	10	
			>160	» » 42	26	8	
	Трубы	Мягкие	Всех размеров	Не более 25	—	10	ГОСТ 4773—49
		Закаленные и естественно состаренные	Диаметр до 22 толщина стенки до 1	Не менее 42	26	13	
		То же	1,5—2	» » 42	26	14	
		» »	Диаметр 22—50 всех размеров	» » 43	29	12	
		» »	Диаметр более 50 всех размеров	» » 43	29	10	
	Трубы фасонные	» »	Всех размеров	» » 43	27	10	
	Профили прессованные	» »	До 5	» » 40	30	10	ГОСТ 8617—57
		» »	5,1—10,0	» » 42	30	10	
		» »	>10	» » 43	31	10	
		Отожженные	Всех размеров	Не более 25	—	12	
АВ	Прутки прессованные	Закаленные и естественно состаренные	Всех размеров	Не менее 30	—	12	ГОСТ 4783—49
	Трубы	Мягкие	То же	Не более 15	—	17	ГОСТ 4773—49
		Закаленные и естественно состаренные	» »	Не менее 21	—	14	
		Закаленные и искусственно состаренные	» »	» » 31	—	8	
	Профили прессованные	Закаленные и естественно состаренные	» »	» » 18	—	14	ГОСТ 8617—57
		Закаленные и искусственно состаренные	» »	» » 28	21	10	

Продолжение табл. 65

Марка сплава	Наименование полуфабрикатов	Состояние материала	Толщина или диаметр, *мм*	Предел прочности при растяжении *кг/мм²*	Предел текучести *кг/мм²*	Относительное удлинение %	ГОСТ или ТУ
					не менее		
АК2,	Прутки прессованные	Закаленные и естественно состаренные	Всех размеров	Не менее 36	—	10	ГОСТ 4783—49
АК4,		То же	То же	» » 36	—	8	
АК6,		» »	» »	» » 36	—	12	
АК8		» »	До 22	» » 45	—	10	
		» »	23—160	» » 46	—	10	
		» »	Свыше 160	» » 44	—	8	
В95	Прутки прессованные	Закаленные и искусственно состаренные	До 22	» » 50	38	7,0	ГОСТ 4783—49
		То же	23—160	» » 54	41	6,0	
		» »	Свыше 160	» » 52	41	5,0	
	Профили	» »	До 10	» » 50	42	6	ГОСТ 8617—57
		» »	Свыше 10	» » 52	45	6	
		Отожженные	Всех размеров	Не более 29	—	10	

Примечания: 1. Сортамент на профили прессованные всех марок по ГОСТ 8110—56, 8111—56, 8112—56 и 8113—56. Для толщины полки 10 *мм* и менее $l_5 = 11{,}3\sqrt{F}$, более 10 *мм* $l_0 = 5\,d_0$.

2. Для закаленных труб из сплава АВ при содержании цинка не более 0,1% и меди не более 0,1% предел прочности при растяжении может быть снижен, но не более, чем на 3 *кг/мм²*.

§ 2. МАГНИЙ И ЕГО ВАЖНЕЙШИЕ СПЛАВЫ

Важнейшие свойства магния — это его малый удельный вес (~ 1,74) и отличная обрабатываемость резанием. Основной недостаток магния — его низкая коррозионная стойкость. Однако в настоящее время изысканы достаточно эффективные методы защиты магния от коррозии, что значительно расширило область его применения. К недостаткам магния также следует отнести его пониженные литейные и низкие упругие свойства. Магниевые сплавы обладают удовлетворительными механическими свойствами и с успехом применяются в автомобильной и авиационной промышленности.

1. Влияние примесей

Примеси калия, натрия, никеля, меди и железа являются вредными. Отрицательное влияние на магний оказывают также включения окислов и газы, особенно водород.

Алюминий влияет на магний положительно и поэтому в наиболее распространенные магниевые сплавы, наряду с цинком, марганцем и кремнием, вводится алюминий как обязательная добавка. Примеси кальция, церия, бериллия и циркония оказывают существенное влияние и вводятся в небольших количествах в специальные магниевые сплавы. Сплавы магния с литием, по литературным данным, являются весьма перспективными.

2. Коррозионные свойства магния и его сплавов

В атмосферных условиях, особенно в присутствии влаги, магний довольно быстро корродирует. Примеси железа, никеля, кобальта и меди весьма резко снижают коррозионную стойкость магния и его сплавов. Магний значительно корродирует в морской воде и в 3%-ном растворе хлористого

Физико-механические свойства и характери

Марка сплава	Плотность, г/см³	Коэффициент линейного расширения $\alpha_{20-100°} \cdot 10^6$	Коэффициент теплопроводности, кал/см·сек·°С	Модуль нормальной упругости, кг/мм²	Модуль сдвига, кг/мм²	Коэффициент Пуассона	Предел прочности при растяжении, кг/мм²
МА1	1,76	26	0,30 (30°)	4000	1600	0,34	21
МА2	1,78	26	0,25 (200°) 0,23 (25°)	4100	1600	0,34	26
МА3	1,80	25	0,16 (40°) 0,19 (200°)	4300	1700	0,34	30
МА5	1,80	26	0,23—0,18	4500	1700	0,34	30
МА8	1,78	23,7 (20—100°)	0,32 (20—200°)	4100	—	0,34	27
ВМ65-1	1,8	20,9 (20—100°)	0,28 (25°)	4300	—	0,34	33

натрия, причем скорость коррозии сильно возрастает с повышением температуры и концентрации. Сварку магниевых сплавов следует проводить с применением флюсов, не содержащих хлористых солей, или аргонно-дуговым методом.

Разбавленные минеральные кислоты, за исключением плавиковой, весьма сильно действуют на магний. Магний и его сплавы заметно корродируют в большинстве органических кислот.

Разбавленные щелочи, а также нейтральные и щелочные растворы фтористых солей, не агрессивны вследствие образования на поверхности магния прочной нерастворимой защитной пленки MgF_2.

Магний и его сплавы весьма устойчивы по отношению к спиртам (за исключением метилового), керосину, бензину (обычному и высокооктановому), фреону, фенолу и минеральным смазочным маслам.

Магний и его сплавы электроотрицательны, а потому быстро корродируют, находясь в электролите в контакте с другими металлами, например железом, алюминием, медью, никелем и их сплавами.

Статическое напряжение не оказывает влияния на общую коррозию магния и его сплавов но в присутствии ионов хлора они склонны к коррозионному растрескиванию.

Сернистый газ и его водные растворы, а также жидкий и газообразный аммиак, не вызывают коррозии магния.

Наилучшим способом защиты магния и его сплавов является химическая обработка (простое погружение в раствор солей хромовой кислоты или анодная обработка в этом растворе) с последующей грунтовкой поверхности с применением $ZnCrO_4$ и нанесением лака или эмали.

В табл. 66—70 приведены физические, механические свойства и химический состав, а также технологические характеристики магния и его важнейших сплавов.

Таблица 66

стика магниевых деформируемых сплавов

Относительное удлинение, %	Предел текучести кг/мм²	Предел усталости на базе $5 \cdot 10^7$ циклов, кг/мм²	Ударная вязкость, кгм/см²	Твердость по Бринелю, кг/мм²	Характеристика сплава
8	12	7,5	0,5	45	Сплав коррозионно устойчивый, обладает удовлетворительной пластичностью в горячем состоянии и пониженной в холодном. Свариваемость хорошая. Обрабатываемость резанием отличная. Термической обработкой не упрочняется
8	16	10	0,9	55	Сплав с пониженной коррозионной стойкостью. Обладает высокой пластичностью в горячем состоянии и удовлетворительной в холодном. Обрабатываемость резанием отличная. Термической обработкой не упрочняется
14	19	15	0,7	60	Сплав с пониженной коррозионной стойкостью и средней пластичностью. Термической обработкой не упрочняется
8	22	13	—	75	Сплав с пониженной коррозионной стойкостью и повышенной прочностью и пониженной пластичностью. Обрабатываемость резанием отличная. Подвергается термической обработке (нагрев при 410—425° с охлаждением на воздухе)
11	16—20	7	1	50	Сплав не склонен к коррозионному растрескиванию Хорошо сваривается. Термической обработкой не упрочняется
	28	13	0,7	60	Сплав обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью. Пластичен при 250—420°. Подвергается термической обработке. Нагрев при 170° в течение 10 час. Плохо сваривается

Химический состав деформируемых

Марка сплава	Химический				
	основные компоненты				
	алюминий	марганец	цинк	магний	алюминий
МА1	—	1,3—2,5	—	Ост.	0,3
МА2	3,0—4,0	0,15—0,5	0,2—0,8	»	—
МА3	5,5—7,0	0,15—0,5	0,5—1,5	»	—
МА4	5,0—7,0	0,20—0,5	2,0—3,0	»	—
МА5	7,8—9,2	0,15—0,5	0,2—0,8	»	—
МА8	—	1,5—2,5	Церий 0,15—0,25	»	0,3
ВМ65-1	—	Цирконий 0,3—0,9	4,0—5,5	»	0,05

Таблица 68

Физические и механические свойства магния

Наименование	Значение	Состояние металла
Атомный вес	24,32	—
Плотность при 20°, *г/см*³	1,74	—
Температура плавления, °С	650	—
Скрытая теплота плавления, *кал*	70	—
Увеличение объема при плавлении, %	4,2	—
Температура кипения, °С	1107	—
Скрытая теплота парообразования, *кал*	1315	—
Удельная теплоемкость при 25°, *кал/г·°С*	0,25	—
Теплопроводность при 20°, *кал/см·сек·°С*	0,37	—
Коэффициент линейного расширения:		
$\alpha_{0-100°}$	$25,5 \cdot 10^{-6}$	—
$\alpha_{0-200°}$	$26,2 \cdot 10^{-6}$	—
$\alpha_{0-300°}$	$27,0 \cdot 10^{-6}$	—
Удельное электросопротивление при 18°, *ом·мм²/м*	0,047	—
Температурный коэффициент электросопротивления	$3,9 \cdot 10^{-3}$	—
Поверхностное натяжение при 681°, *дин/см*	563	—
Стандартный электродный потенциал, *в*	—2,34	—
Электрохимический эквивалент, *г/а-ч*	0.454	—
Модуль нормальной упругости, *кг/мм²*	4360	—
Модуль сдвига, *кг/мм²*	1700	—
Предел упругости, *кг/мм²*	1,2	—
Предел текучести, *кг/мм²*	2,1	Литой
То же	18,9	Деформированный
» »	9,8	Отожженный
Предел усталости при $50 \cdot 10^7$ циклов, *кг/мм²*	6,3	»
Предел прочности при растяжении, *кг/мм²*	8,5—13	Литой
То же	25	Деформированный
» »	18	Отожженный
Относительное удлинение, %	3—6	Литой
То же	8—10	Деформированный
» »	15—17	Отожженный
Сопротивление срезу, *кг/мм²*	12	»
Твердость по Бринелю, *кг/мм²*	25—30	Литой
То же	50	Деформированный
» »	40	Отожженный

Таблица 67

магниевых сплавов по АМТУ 371—56

состав, %						
примеси (не более)						
медь	никель	цинк	кремний	бериллий	железо	прочие примеси
0,05	0,01	0,3	0,15	0,02	0,05	0,2
0,05	0,005	—	0,1	0,02	0,05	0,3
0,05	0,005	—	0,3	0,02	0,05	0,3
0,05	0,005	—	0,3	0,02	0,05	0,3
0,05	0,005	—	0,3	0,02	0,05	0,3
0,05	0,01	0,3	0,15	0,02	0,05	0,3
0,05	0,005	Марганец 0,1	0,05	0,02	0,05	0,3

Таблица 69

Химический состав магния по ГОСТ 804—56

Марка магния	Химический состав, %							
	магния не менее	примесей, не более						
		железо	кремний	хлор	никель	алюминий	медь	всего примесей
Мг1	99,92	0,04	0,01	0,005	0,001	0,02	0,01	0,08
Мг2	99,85	0,05	0,03	0,005	0,002	0,05	0,02	0,15

Примечание. Завод-изготовитель гарантирует содержание натрия в марке Мг1 не более 0,01% в марке Мг2 не более 0,02%, калия в марках Мг1 и Мг2 не более 0,005%.

Таблица 70

Механические свойства полуфабрикатов из магниевых деформируемых сплавов

Наименование материала	Марка	Состояние материала	Размеры (толщина или диаметр), мм	Предел прочности при растяжении (не менее), кг/мм²	Предел текучести (фактический), кг/мм² (не менее)	Относительное удлинение, % (не менее)	Твердость по Бринелю, кг/мм² (не менее)	АМТУ
Листы	МА1	Отожженные при 300—350° в течение 30 мин.	0,8—2,5	19	11	5	—	АМТУ 228—52
			2,6—3,5	19	11	3	—	
			3,6—10,0	17	9	3	—	
	МА8*	Отожженные при 300—350° в течение 30 мин.	0,8—3,0	23	14	14	—	
			3,1—10,0	22	13	13	—	
		Полунаклепанные и отожженные при 240+10° в течение 30 мин.	1,2—3,0	25	16	10	—	
			3,1—10,0	24	14	8	—	

Продолжение табл. 70

Наименование материала	Марка	Состояние материала	Размеры (толщина или диаметр), *мм*	Предел прочности при растяжении (не менее) *кг/мм²*	Предел текучести (фактический), *кг/мм²* (не менее)	Относительное удлинение, % (не менее)	Твердость по Бринелю, *кг/мм²* (не менее)	АМТУ
Профили	МА1	Горячепрессованные	—	26	—	4	—	АМТУ 286—49 (с изменением № 1 за 1955 г.)
	МА8	Горячепрессованные	—	23	—	10	—	
Трубы	ВМ65-1	Горячепрессованные и искусственно состаренные	—	32	25	7	60	АМТУ 289—50
Трубы	МА8	Отожженные при 300—350° в течение 30 мин.	25×1,5 28×1,5 32×1,5	23	—	8	—	АМТУ 299—50
Прутки	МА1	Горячепрессованные	По ГОСТ 1945—46 (до 130 *мм*)	18	—	2	40	АМТУ 227—49 (с изменениями № 1—3 1955 г.)
	МА2	»		26	—	5	45	
	МА3	Отожженные		26	—	8	50	
	МА4	Горячепрессованные		29	—	7	—	
	МА4	Закаленные после гомогенизации		30	—	10	—	
	МА5	Закаленные		30	—	8	55	
	МА8	Горячепрессованные	До 50	22	—	4	—	
			Свыше 50	22	—	3	—	
	ВМ65-1	Горячепрессованные и искусственно состаренные	—	32	25	60	60	288—50

* Образцы для механических испытаний вырезают поперек направления прокатки, а в остальных случаях — вдоль прокатки. Отжиг магниевых сплавов следует производить в электропечах в железных муфелях с воздушной вентиляцией (сухим воздухом), термическую обработку этих сплавов, во избежание взрывов, нельзя производить в селитровых ваннах.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Бек. Магний и его сплавы, Оборонгиз, 1941.
2. А М Бочвар. Исследование белых антифрикционных сплавов. 1918
3. С В Виноградов, К П Калинин. Антифрикционные сплавы на цинковой основе. Трение и износ в машинах. 1947.
4. А Е Вол Цинк и его сплавы, 1933.
5. С. М. Воронов Процессы упрочнения сплавов алюминий-магний-кремний, Оборонгиз, 1946.
6. Справочник Машиностроителя, Т. II, гл. 6. Цветные металлы и сплавы, Машгиз, 1956.
7. В. В. Крымов. Литье магниевых сплавов. Оборонгиз. 1948.
8. Л Ф. Мондольфо. Металлография алюминиевых сплавов. 1943.
9. А П Смирягин. Сборник научных работ Гипроцветметобработки, вып 12. Металлургиздат, 1950.
10. А П Смирягин. Сборник работ по металлообработке и сплавам. ОНТИ, 1937.
11. В Фусс. Металлография алюминия и его сплавов. ОНТИ, 1937.
12. Zink — Taschenbuch, Berlin, 1941.

ГЛАВА V

ОЛОВО, СВИНЕЦ, ЦИНК И ИХ СПЛАВЫ

§ 1. ОЛОВО ТЕХНИЧЕСКОЕ

Олово имеет две аллотропических модификации: обычное белое олово β с тетрагональной объемноцентрированной решеткой и постоянной решетки a равной 5,8194Å, и серое олово α с кубической решеткой и постоянной решетки a равной 6,46Å. Белое олово устойчиво при температурах выше 13,2°. При низких температурах оно переходит в серое, превращаясь в мелкий порошок. Этот переход сопровождается большими объемными изменениями, так как плотность белого олова равна 7,298 *г/см*³, а серого — 5,846 *г/см*³. Такое явление известное под названием «оловянной чумы», обычно наблюдается при хранении оловянных изделий и слитков при низких температурах.

Предварительная холодная обработка давлением повышает скорость превращения белого олова в серое. Скорость перехода возрастает также и с повышением чистоты олова. Чистое белое олово (99,99% Sn) при температуре — 40° превращается в серое со скоростью 0,028—0,097 *мм/сутки*, а при 0° — 0,02 *мм/сутки*.

Примеси висмута и сурьмы (в меньшей мере — свинца и кадмия) задерживают скорость этого аллотропического превращения, в частности, добавка 0,5% висмута к олову полностью предотвращает оловянную чуму.

Олово играет весьма важную роль в технике; оно отличается высокой коррозионной стойкостью, хорошо переносит обработку давлением и широко применяется в пищевой промышленности для пайки, лужения и производства фольги (по ГОСТ 1327—47 и МПТУ 4111—53), а также в производстве припоев, баббитов, легкоплавких сплавов, оловянных бронз и латуней.

1. Коррозионные свойства олова

В атмосферных условиях олово весьма устойчиво. Скорость коррозии олова (увеличение веса) в закрытом помещении равна 0,0004 *г/м² · сутки*, в сельской местности на открытом воздухе 0,0007 *г/м²сутки*, в городской местности и в промышленных районах 0,0067 *г/м²сутки*, вблизи от моря 0,011 *г/м²сутки*. В мягкой пресной и дистиллированной воде олово не корродирует. В жесткой водопроводной воде при pH = 7,4—8,6 скорость коррозии олова незначительна, равна 0,001 и 0,0046 *г/м² · сутки*. В минеральных и галогеноводородных кислотах олово быстро корродирует, особенно в присутствии кислорода и при повышенной температуре. Плавиковая и цианистоводородная кислоты действуют на олово медленно.

В органических кислотах — лимонной, яблочной, янтарной, уксусной и малоновой — олово корродирует со скоростью 0,05—0,1 *г/м² сутки* при концентрации ~ 0,75% и комнатной температуре. В присутствии кислорода и аэрации скорость коррозии повышенная.

В молочной и масляной кислотах при концентрации ~ 1% и комнатной температуре скорость коррозии олова весьма незначительна.

Олеиновая, стеариновая и особенно щавелевая кислоты весьма сильно действуют на олово при высоких температурах. Фруктовые соки (лимонный, томатный, виноградный, яблочный) оказывают незначительное влияние на олово: скорость коррозии олова в них при комнатной температуре равна 0,1—2,5 *г/м² · сутки*. Однако при температуре кипения действие их возрастает более чем в 10 раз.

Олово применяется при производстве пива, но не рекомендуется в виноделии. Смазочные масла, бензин и керосин на олово практически не влияют. В спирте олово корродирует весьма незначительно (0,011—0,013 *г/м²сутки*).

Олово сильно корродирует в хлоре, броме и иоде при комнатной температуре, а во фторе — при 100° и выше. Олово, являясь амфотерным металлом, быстро корродирует в растворах сильных щелочей и кислот. В разбавленных растворах слабых щелочей (сода, аммиак) олово корродирует весьма незначительно.

Химический состав, физические и механические свойства технического олова приведены в табл. 71—73.

Химический состав технического олова по ГОСТ 860—41 Таблица 71

Марка олова	Химический состав, %								
	олова (не менее)	примесей (не более)							
		мышьяк	железо	медь	свинец	висмут	сурьма	сера	всего примесей
О1	99,90	0,015	0,009	0,01	0,04	0,01	0,015	0,01	0,10
О2	90,56	0,02	0,02	0,03	0,25	0,05	0,05	0,02	0,44
О3	98,35	0,10	0,05	0,10	1,0	0,06	0,30	0,03	1,65
О4	96,25	0,10	0,05	0,15	3,0	0,10	0,30	0,05	3,75

Примечания: 1. Во всех марках олова содержание алюминия и цинка допускается не более 0,002% каждого.

2. В марках олова О1, О2, О3, применяемых для припоев, содержание свинца допускается до 3,0%.

3. В олове марки О2, применяемом для лужения кухонной посуды (для варки пищи), содержание мышьяка допускается не более 0,015%.

Таблица 72

Физические и механические свойства олова

Наименование	Значение	Состояние материала
Атомный вес	118,7	—
Плотность, *г/см*³	7,3	—
Температура плавления, °С	231,9	—
Скрытая теплота плавления, *кал/г*	14,4	—
Температура превращения белого олова в серое, °С	13,2	—
Скрытая теплота превращения, *кал/г*	4,46	—
Объемные изменения при переходе серого олова в белое, %	27	—
Температура кипения, °С	2270	—
Скрытая теплота испарения, *кал/г*	721	—
Удельная теплоемкость в интервале температур 0—100°, *кал/г* °С	0,054	—
Теплопроводность при 20°, *кал/см · сек* · °С	0,157	—
Температурный коэффициент теплопроводности $\alpha_{20—100°}$	$-0{,}7 \cdot 10^{-3}$	—
Коэффициент линейного расширения $\alpha_{20—100°}$	$2{,}3 \cdot 10^{-5}$	—
Удельное электросопротивление при 20°, *ом · мм²/м*	0,115	—
Температурный коэффициент электросопротивления $\alpha_{20—100°}$	0,0044	—
Поверхностное натяжение при 232°, *дин/см*	531	—
Стандартный электродный потенциал, *в*	—0,136	—
Электрохимический эквивалент (двухвалентное олово), *г/а-ч*	2,21	—
Модуль нормальной упругости, *кг/мм²*	4150	—
Модуль сдвига, *кг/мм²*	1680—1810	—
Предел упругости, *кг/мм²*	0,15	Отожженный
Предел текучести, *кг/мм²*	1,2	Литой
Предел прочности при растяжении, *кг/мм²*	1,9—2,1	»
То же	1,7	Отожженный
Сопротивление срезу, *кг/мм²*	2,0	Литой
Относительное удлинение, %	45—60	»
То же	80—90	Отожженный
Твердость по Бринелю, *кг/мм²*	4,9— 5,2	Литой

Таблица 73

Полуфабрикаты из олова и его сплавов

Наименование	ГОСТ и МПТУ	Примечание
Фольга листовая, оловянная	ГОСТ 1328—47	Состав фольги: 1,9—3,1% Sb остальное Sn, не ниже марки О2. Примеси не более: свинец 0,5% Pb, 0,05% Cu, сумма примесей 0,5%
Фольга листовая, оловянная для электропромышленности	ГОСТ 1327—47	—
Фольга листовая оловянная	МПТУ 4111—53	—

§ 2. СВИНЕЦ И ЕГО СПЛАВЫ

Свинец отличается высокой коррозионной стойкостью и большим удельным весом, чем и определяется его исключительно важная роль в технике. Свинец отлично обрабатывается давлением. Рекристаллизация свинца происходит при температуре ниже комнатной, а потому в этих условиях чистый свинец невозможно получить в наклепанном состоянии.

1. Влияние примесей

Примеси весьма сильно влияют на механические и физико-химические свойства свинца.

Висмут и *цинк* понижают кислотоупорность свинца.

Натрий, кальций и *магний* резко повышают твердость и прочность свинца, но снижают его химическую стойкость.

Медь повышает устойчивость свинца против действия серной кислоты и задерживает его рекристаллизацию.

Сурьма повышает твердость и кислотоупорность свинца в отношении серной кислоты.

Барий и *литий* повышают твердость свинца. *Кадмий, теллур* и *олово* повышают твердость и сопротивление усталости свинца.

2. Коррозионные свойства свинца

В атмосферных условиях свинец весьма устойчив. Загрязнения атмосферы и примеси сернистого газа, сероводорода, серной кислоты и угольного ангидрида, содержащиеся в сухом и влажном воздухе, на свинец не влияют. Скорость коррозии свинца в городской атмосфере и в промышленных районах равна 0,00043—0,00068 *мм/год*, вблизи моря 0,00041—0,00056 *мм/год*, в сельской местности 0,00023—0,00048 *мм/год*.

В пресной и дистиллированной воде свинец не корродирует. Однако в присутствии кислорода и ангидрида угольной кислоты скорость коррозии свинца заметно повышается.

Мягкая питьевая вода способна растворять свинец Пресная вода, содержащая в растворе более 0,1 части свинца на миллион, для питья не пригодна. Для уменьшения растворимости свинца рекомендуется добавлять известь или кремненатриевую соль, которые способствуют образованию на свинце прочной защитной пленки.

Морская вода весьма незначительно влияет на свинец. Скорость коррозии свинца в естественной морской воде равна 0,01—0,015 *мм/год*. Рудничные воды действуют на свинец весьма слабо. Скорость коррозии свинца в этом случае может повыситься лишь под воздействием больших скоростей воды или эрозии, разрушающих защитные пленки.

Свинец весьма стоек в растворах сернокислых солей. Щелочные соли вследствие гидролиза, а также соли азотной кислоты значительно ускоряют коррозию свинца

В азотной кислоте с концентрацией ниже 70% свинец быстро корродирует. В соляной кислоте свинец также недостаточно стоек Свинец весьма стоек в серной кислоте. Скорость коррозии свинца увеличивается при высоких концентрациях серной кислоты (выше 90%), а также с повышением температуры.

Свинец весьма устойчив в хромовой, сернистой, фосфорной и плавиковой кислотах при комнатной температуре, а также весьма стоек в концентрированной уксусной кислоте. Однако в разбавленной уксусной и муравьиной кислотах в присутствии кислорода свинец быстро корродирует. Свинец устойчив в щавелевой, винной и жирных кислотах в отсутствии кислорода. В растворах сильных щелочей свинец корродирует значительно медленнее.

Газы: хлор (до 100°), сероводород, сернистый газ и ангидрид серной кислоты почти не действуют на свинец как в сухом, так и во влажном состоянии. В сухих парах брома свинец также устойчив, но при низких температурах. Под действием фтористого водорода свинец быстро корродирует.

Скорость коррозии свинца в контакте с железом или медью в кислых растворах не увеличивается, так как свинец в этих условиях является катодом. В щелочных растворах, наоборот, при контакте с указанными металлами скорость коррозии свинца возрастает.

Химический состав, физические и механические свойства и примерное назначение свинца и его сплавов приведены в табл. 74—77.

Таблица 74

Химический состав и примерное назначение марок свинца по ГОСТ 3778—56

Марка свинца	Химический состав, %												Примерное назначение
	свинец (не менее)	примеси (не более)											
		серебро	медь	мышьяк	сурьма	олово	цинк	железо	висмут	магний	сумма кальция и натрия	всего примесей	
С0	99,992	0,0003	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,001	0,001	0,004	0,001	0,002	0,008	Для особо ответственного применения в аккумуляторной промышленности
С1	99,985	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,006	$\frac{Mg+Ca+Na}{0,003}$		0,015	Для применения в аккумуляторной промышленности, изготовления матричных пластин в полиграфической промышленности
С2	99,95	0,0015	0,001	0,002	0,005	0,002	0,002	0,003	0,03	0,005	0,01	0,05	Для аккумуляторного сурика, производства глета и сеток общего назначения, для специального назначения
С3	99,9	0,0015	0,002	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,06	0,01	0,03	0,1	Для футеровки кислотоупорных устройств и труб
С3Су . . .	Ост.	0,0015	0,002	0,005	0,4—0,8	0,008	0,005	0,005	0,06	0,01	0,03	—	Для припоев, баббитов, кабельных оболочек, красок, типографских сплавов и др.
С4	99,6	0,002	0,01	$\frac{As+Sb+Sn}{0,25}$			0,01	0,01	0,1	0,01	0,05	0,4	Для горячего свинцевания, закалочных ванн, зачеканки водопроводных и канализационных труб

Примечание. Методы химического анализа по ГОСТ 2076-58.

Физические и механические свойства свинца Таблица 75

Наименование	Значение	Состояние материала
Атомный вес	207,2	—
Плотность при 20°, *г/см*³	11,34	—
Температура плавления, °С	327,3	—
Скрытая теплота плавления, *кал/г*	6,32	—
Температура кипения, °С	1744	—
Скрытая теплота парообразования, *кал/г*	203	—
Удельная теплоемкость при 0°, *кал/г·/°С*	0,03	—
Теплопроводность при 20°, *кал/см·сек·°С*	0,083	—
Коэффициент линейного расширения 20—100°	29,5·10—6	—
Удельное электросопротивление при 20°, *ом·мм²/м*	0,20	—
Температурный коэффициент электросопротивления $\alpha_{20-100°}$	0,0042	—
Поверхностное натяжение при 410°, *дин/см*	437	—
Стандартный электродный потенциал, *в*	—0,12	—
Электрохимический эквивалент для двухвалентного свинца, *г/а-ч*	3,86	—
Модуль нормальной упругости, *кг/мм²*	1500—1700	—
Модуль сдвига, *кг/мм²*	780	—
Предел упругости, *кг/мм²*	0,25	—
Предел текучести, *кг/мм²*	0,5	Литой
Предел усталости при вибрации на базе 10⁷ циклов, *кг/мм²*	0,42	Деформированный
Предел ползучести (скорость ползучести) 10—4%/час при нагрузке 0,1 *кг/мм²*, *кг/мм²*	0,1	—
Предел прочности при растяжении, *кг/мм²*	1,1—1,3	Литой
То же	1,5	Деформированный
Относительное удлинение, %	30—40	Литой
То же	60—70	Деформированный
Относительное сужение, %	92—100	Литой
Твердость по Бринелю, *кг/мм²*	3,2—4,5	»
То же	3—4,8	Деформированный
Сопротивление срезу, *кг/мм²*	1,3	Литой

Состав и свойства деформируемых свинцовых сплавов Таблица 76

Химический состав, %						Верхняя критическая точка °С	Предел прочности при растяжении, *кг/мм²*	Предел выносливости при вибрации на базе, 10⁷ циклов, *кг/мм²*	Предел ползучести (скорость ползучести) 10—4%/час при нагрузке 0,1 *кг/мм²* в прессованном состоянии *кг/мм²*	Пластичность при изгибе (число изгибов при 20°)	Относительное удлинение, %	Твердость по Бринелю, *кг/мм²*	Область применения
олово	сурьма	медь	теллур	кадмий	свинец								
—	—	—	—	—	99,99	327	1,5	0,42	0,1	42	52	4,4	Кабели высокого напряжения
—	0,5	—	—	—	Ост.	324	1,9	0,66	1,8	23	49	5,7	Телефонные и морские кабели
—	—	0,06	—	—	»	327	1,4	0,43	⩽0,03	50	67	4,6	Кабели высокого напряжения
—	—	—	0,06	—	»	327	1,8	0,51	⩽0,03	49	48	5,8	Телефонные и морские кабели
2	—	—	—	—	»	324	2,1	0,69	1,0	20	56	6,1	Телефонные кабели
—	0,5	—	—	0,25	»	—	3,1	0,66	1,2	20	41	6,0	Морские кабели

Таблица 77

Полуфабрикаты из свинца и его сплавов

Наименование	ГОСТ или ТУ	Примечание
Роли свинцовые для освинцевания сернокислотных ванн	ГОСТ 89—41	Готовятся из всех марок свинца
Листы свинцовые для матриц стереотипа	ТУ ЦМО 1139—56	Готовятся из свинца марки С0
Плиты свинцовые	ТУ ЦМО 1104—56	Производятся из всех марок свинца не ниже С3
Листы свинцовой фольги, плакированные оловом	ГОСТ 1328—47	Производятся из свинца марки не ниже С3 с добавками 1,9—3,1% Sb и 1—3% Sn, из олова не ниже марки О2
Фольга свинцовооловянная для сальниковых набивок. Толщина 0,12—0,20 *мм*	ГОСТ 1114—56	Производится из сплава 2,2—3% Sn, 0,5—1,0% Sb, остальное Pb

§ 3. ЦИНК И ЕГО СПЛАВЫ

Цинк отличается достаточно хорошей коррозионной стойкостью, имеет удовлетворительные механические свойства и хорошо поддается обработке давлением. Недостатками цинка и его сплавов следует считать их низкий предел ползучести и значительные изменения свойств и размеров, происходящие при естественном старении.

Цинк имеет гексагональную кристаллическую сингонию с плотной упаковкой атомов и параметрами решетки: $a = 2{,}6595$ Å и $c = 4{,}9368$ Å. При деформации скольжение в гексагональных кристаллах цинка происходит по плоскости базиса, что связано с определенной их ориентацией. Поэтому деформированные полуфабрикаты (листы, ленты) имеют различные свойства вдоль и поперек проката. В частности, цинк имеет более высокий предел прочности поперек проката.

1. Влияние примесей

Примеси оказывают весьма существенное влияние на свойства цинка. *Свинец, висмут, сурьма* и *мышьяк* отрицательно влияют на технологические свойства цинка, так как эти элементы ничтожно мало растворимы в цинке в твердом состоянии.

Олово весьма незначительно растворимо в цинке в твердом состоянии. При затвердевании цинка, содержащего даже менее 0,05% олова, последнее выделяется в в де эвтектики, плавящейся при 199°. При одновременном содержании олова и свинца в цинке образуется тройная эвтектика с температурой плавления 150°. Располагаясь по границам кристаллитов, эвтектика нарушает их связь. При горячей обработке давлением такой цинк легко разрушается.

Железо задерживает рекристаллизацию цинка и способствует получению жестких наклепанных листов. При содержании железа свыше 0,02% в цинке появляется хрупкое интерметаллическое соединение $FeZn_7$, а при содержании железа 0,2% хрупкость настолько возрастает, что затрудняет прокатку.

Алюминий, магний и *медь* положительно влияют на свойства цинка, поэтому сплавы на цинковой основе, содержащие добавки

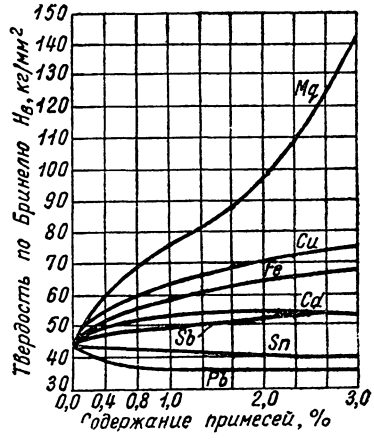


Рис. 213 Влияние примесей на изменение твердости цинка. Исходный материал цинк рафинированный, отлитый в кокиль

указанных металлов, нашли широкое распространение в промышленности.

Влияние некоторых элементов на изменение твердости цинка показано на диаграмме рис. 213.

2. Коррозионные свойства свинца

В атмосфере сухого помещения и под открытым небом в сельской местности цинк корродирует весьма незначительно. В ат-

мосфере промышленных районов цинк корродирует значительно сильнее, так как конденсирующаяся влага всегда имеет кислую реакцию, затрудняющую образование защитной пленки на поверхности цинка.

Особенно неблагоприятными условиями являются частые увлажнения и высыхания влаги на цинке в промышленных районах.

Скорость коррозии цинка в сельской местности равна 0,001—0,0001 *мм/год*, вблизи моря 0,0015 *мм/год*, в промышленной местности 0,005 *мм/год*.

В пресной воде цинк достаточно устойчив, причем жесткая вода является менее агрессивной, чем мягкая. Хлорирование питьевой воды не увеличивает коррозии цинка.

Наличие в аэрированной воде кислорода, двуокиси углерода или сернистого газа повышает скорость коррозии цинка от 0,03 до 0,3 *мм/год*. Скорость коррозии цинка в морской воде колеблется от 0 025 до 0,05 *мм/год*. С повышением температуры скорость коррозии цинка увеличивается до 0,35 *мм/год*.

В качестве замедлителей коррозии цинка в воде применяют гексаметафосфат натрия, кремненатриевую и двухромовонатриевую соли, а также буру и ланолин при применении антифризов в автомобильных радиаторах.

Цинк под действием органических веществ, например кислых пищевых продуктов, образует токсичные соли, а потому применения цинка в пищевой промышленности следует избегать.

Органические нейтральные жидкости (глицерин, бензин и другие) на цинк не действуют.

Механическая обработка не снижает коррозионных свойств цинка, так как последний рекристаллизуется при комнатной температуре.

При повышенном содержании свинца, олова, кадмия или магния скорость коррозии цинка значительно увеличивается, особенно при воздействии горячей воды или пара.

Цинк весьма сильно корродирует в растворах кислых и щелочных солей.

Скорость коррозии цинка резко повышается при контакте его с более электроположительными металлами, поэтому в технике цинк применяется в качестве протектора для всех более благородных металлов, за исключением свинца.

Химический состав, физические и механические свойства и примерное назначение цинка и его сплавов приведены в табл. 78—81.

На диаграммах рис. 214—216 дано изменение механических свойств, скорости ползучести и удельного электросопротивления чистого цинка в зависимости от степени деформации и температуры отжига.

На рис. 217 приведена диаграмма рекристаллизации цинка.

Таблица 78

Химический состав цинка различных марок по ГОСТ 3640—47

Марка цинка	Химический состав, %									Примерное назначение
	цинк не менее	примеси (не более)								
		свинец	железо	кадмий	медь	мышьяк	сурьма	олово	всего примесей	
ЦВ	99,99	0,005	0,003	0,002	0,001	—	—	—	0,01	Для отливаемых под давлением особо ответственных деталей авиа- и автоприборов В химической и химико-фармацевтической промышленности
ЦО	99,96	0,015	0,010	0,010	0,001	—	—	—	0,04	Для гальванических элементов. Для ответственных деталей авто- и авиаприборов. Для цинковых сплавов, обрабатываемых давлением

Продолжение табл. 78

Марка цинка	Химический состав, %									Примерное назначение
	цинк не менее	примеси (не более)								
		свинец	железо	кадмий	медь	мышьяк	сурьма	олово	всего примесей	
Ц1	99,94	0,024	0,015	0,014	0,002	—	—	—	0,06	Для изготовления сплавов, обрабатываемых давлением, гальванических элементов, анодов, высококачественных белил, специальных латуней и медно-алюминиевых сплавов на цинковой основе. Для цинкования
Ц2	99,9	0,05	0,04	0,02	0,002	—	—	—	0,1	Для изготовления цинковых листов, медноцинковых сплавов и бронз, муфельных белил. Для горячего цинкования проволоки
Ц3	98,7	1,0	0,07	0,2	0,005	0,01	0,02	0,002	1,3	Для изготовления цинковых листов, медноцинковых сплавов, в полиграфической промышленности. Для горячего цинкования стальных листов
Ц4	97,5	2,0	0,15	0,2	0,05	0,01	0,02	0,05	2,5	Для изготовления обычных литейных и свинцовистых медноцинковых сплавов, цинковых листов. Для горячего цинкования

Примечания. 1. В цинке марок Ц1, Ц2 и Ц3, предназначенном для изготовления медноцинковых сплавов, примесь меди не нормируется.

2. В цинке марки Ц3 с согласия потребителя допускается повышение содержания примеси свинца до 1,3%.

3. В цинке марок ЦВ, ЦО, Ц1 и Ц2 присутствие олова в количестве до 0,001% считается допустимым.

4. Методы химического анализа по ГОСТ 2085—56.

Таблица 79

Физические и механические свойства цинка

Наименование	Значение	Состояние материала
Атомный вес	65,38	—
Плотность при 27°, *г/см*³	7,13	—
Температура плавления, °С	419,5	—
Скрытая теплота плавления, *кал*	24,09	—
Температура кипения при 760 *мм* рт. ст., °С	907	—

Продолжение табл. 79

Наименование	Значение	Состояние материала
Скрытая теплота парообразования, *кал*	425,6	—
Удельная теплоемкость в твердом состоянии, *кал/г·* °С при температуре, °С:		
0	0,0875	—
100	0,0965	—
Теплопроводность, *кал/см.* °С, при температуре, °С:		
18	0,268	—
500	0,138	—
Коэффициенты линейного расширения:		
$\alpha_{20-100°}$	$39{,}5\cdot10^{-6}$	—
$\alpha_{20-200°}$	$39{,}7\cdot10^{-6}$	—
Удельное электросопротивление при 20°, *ом·мм²/м*	0,062	—
Температурный коэффициент электросопротивления	0,00417	—
Поверхностное натяжение при 450°, *дин/см*	755	—
Стандартный электродный потенциал, *в*	—0,76	—
Электрохимический эквивалент, *г/а-ч*	1,22	—
Модуль нормальной упругости, *кг/мм²*	8000—13000	—
Модуль сдвига *кг/мм²*	800	—
Предел текучести при 15°, *кг/мм²*	7,5	Литой
То же	8—10	Деформированный
Предел прочности при растяжении, *кг/мм²*	12—14	Литой
То же	12—17	Деформированный
То же	7—10	Отожженный
Относительное удлинение, %	0,3—0,5	Литой
То же	40—50	Деформированный
То же	10—20	Отожженный
Относительное сужение, %	30	Литой
То же	60—80	Деформированный
Ударная вязкость *кгм/см²*	0,6—0,75	—
Твердость по Бринелю, *кг/мм²*	30—40	Литой
То же	35—45	Деформированный

Химический состав и физико-механические свойства

Марка сплава	Химический состав, %				Верхняя критическая точка °С	Удельный вес, *г/см³*	Теплопроводность *кал/см сек.* °С
	алюминий	медь	магний	цинк			
ЦАМ0,2-4	0,2	4	—	Ост.	470	7,25	0,22—0,25
ЦАМ2-5	2	5	—	»	450	7,05	—
ЦАМ4-1	4	1	0,03	»	390	6,68	0,22—0,24
ЦАМ10-2	10	2	0,03	»	419	6,21	0,23—0,24
ЦАМ10-5	10	5	0,03	»	395	6,3	0,24
ЦА15	15	—	0,05	»	443	5,75	—
ЦМ-1	—	1	—	»	422	7,18	0,25

Таблица 81

Полуфабрикаты, выпускаемые из цинка

Наименование	ГОСТ или ТУ	Примечание
Листы цинковые офсетные	ГОСТ 6499—53	Производятся из цинка не ниже марки Ц2
Листы цинковые для клише	ГОСТ 1202—54	Производятся из цинка марки Ц3
Полосы цинковые	ТУ ГИМО 1168—57	Производятся из цинка марки Ц3 с содержанием 0,4—0,6% Pb
Фольга цинковая для электродов, толщина 0,05—0,07 *мм*	ВТУ ЦМО 1004—53	Производятся из цинка марки Ц0

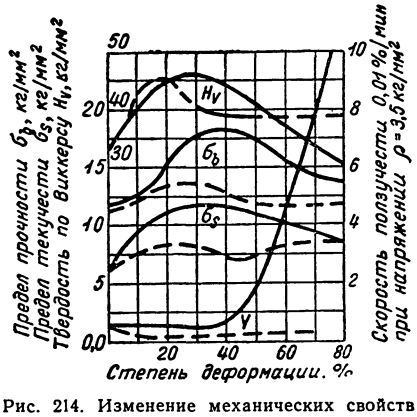


Рис. 214. Изменение механических свойств и ползучести чистого цинка и зависимости от степени деформации. Свойства определены непосредственно после деформации (сплошная линия) и по истечении одного месяца (пунктирная линия)

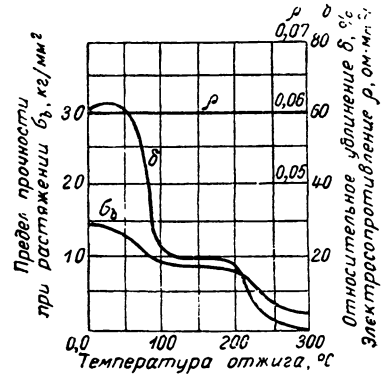


Рис. 215. Изменение механических свойств и удельного электросопротивления чистого цинка (99,98%) в зависимости от температуры отжига

Таблица 80

деформируемых цинковых сплавов

Коэффициент линейного расширения $\alpha_{20-100} \cdot 10^6$	Предел прочности при растяжении *кг/мм²*	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Ударная вязкость (с надрезом) *кгм/см²*	Твердость по Бринелю *кг/мм²*	Примечание
26—30	30—36	25—30	60—70	1,0—2,0	80—90	Для прессовки, прокатки и для изделий, изготовляемых глубокой вытяжкой
—	40	9,5—11	—	—	100—105	Для прессовки
27,4	36—40	8—10	52	1,5—2,0	85—95	Для прессовки (заменитель латуни)
27—30	35—45	15—20	45—60	1,7—2,2	95—100	Для прессовки
27	30—40	12—18	—	1,0	95—100	Для прессовки и литья
—	44—58	5—8	—	2,2	105—115	Для прессовки
34,8	>20	>20	—	—	>50	Для прессовки (заменитель латуни)

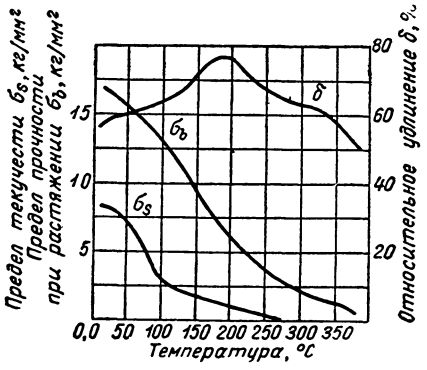


Рис. 216. Изменение механических свойств цинка при высоких температурах. Исходный материал: прутки диаметром 10 *мм*, отожженные при 350°

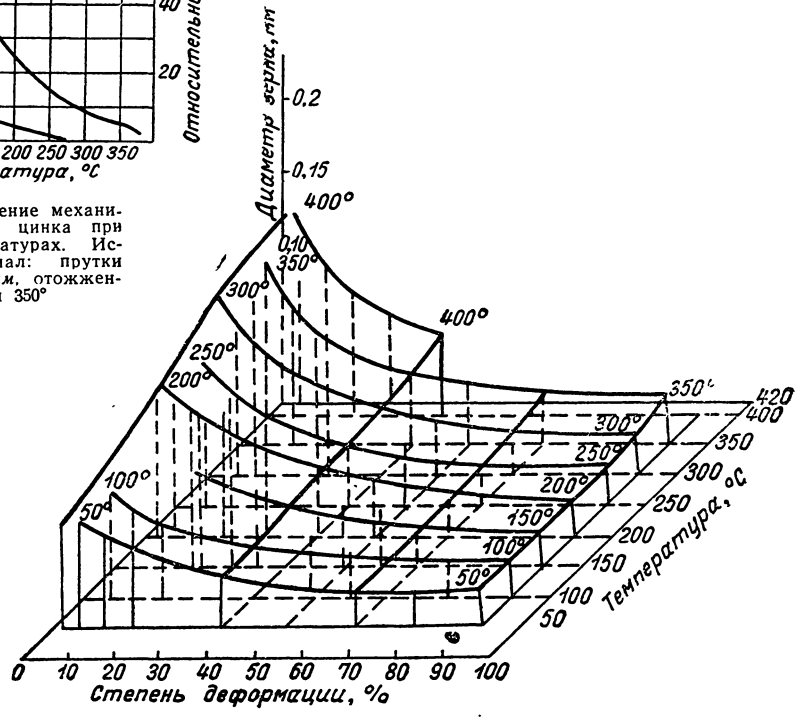


Рис 217. Рекристаллизация цинка. Исходный материал: цинк электролитический (0,015% Fe; 0,013% Cd; остальное Zn)

ГЛАВА VI

ТИТАН И ЕГО СПЛАВЫ

Титан и сплавы на основе титана отличаются высокими механическими свойствами и высокой коррозионной стойкостью, кроме того, особым преимуществом титановых сплавов является их малый удельный вес. Вместе с тем, запасы промышленных титановых руд в земной коре весьма значительны, следовательно, титановые сплавы являются очень перспективным конструкционным материалом для авиации, судостроения, химической промышленности и других областей техники.

§ 1. ТЕХНИЧЕСКИЙ ТИТАН

1. Влияние примесей

Титан энергично взаимодействует почти со всеми окислами других металлов и газообразными элементами, что вносит значительные трудности в технологию производства из него полуфабрикатов и изделий.

Примеси *кислорода, азота, водорода,* чаще всего встречающиеся в титане, оказывают отрицательное влияние на его свойства. Кислород при повышенных температурах сильно диффундирует в титан с образованием твердого и хрупкого поверхностного слоя, резко снижая его технологические свойства. *Азот* также отрицательно влияет на свойства титана. Под влиянием незначительных количеств азота (сотые доли процента) резко повышается твердость титана и сильно снижается его пластичность. В этом же направлении на свойства титана действует и *углерод.* Ввиду этого содержание указанных примесей в титане допускается в ограниченном количестве.

Водород оказывает весьма отрицательное влияние на свойства титана и его сплавов, сообщая им повышенную хрупкость. Под влиянием водорода наблюдается разрушение полуфабрикатов и изделий из титана и его сплавов при хранении. Поэтому содержание водорода в титане и его сплавах не следует допускать более 0,015%.

2. Коррозионные свойства титана

Титан и сплавы на основе титана отличаются высокой коррозионной стойкостью в отношении подавляющего большинства агрессивных сред. Титан и его сплавы устойчивы в атмосфере воздуха, в естественной холодной и горячей воде и в морской воде. Кроме того, титан устойчив против кавитационной эрозии и усталостной коррозии.

Титан и его сплавы устойчивы в растворах щелочей, неорганических солей и органических кислот и соединений как при нормальной комнатной температуре, так и при кипячении, даже при наличии внутренних напряжений.

Известно очень ограниченное число веществ, сильно разрушающих титан. Из минеральных кислот сильно действует на титан и его сплавы плавиковая, соляная, серная и ортофосфорная кислоты. Из органических кислот сильно разрушают титан следующие горячие концентрированные кислоты: щавелевая, муравьиная, трихлоруксусная и трифторуксусная.

Под воздействием двуокиси азота титан легче подвергается коррозионному растрескиванию. При взаимодействии титана, легированного марганцем с дымящейся азотной кислотой реакция протекает весьма бурно — со взрывом.

В табл. 82 приведены физико-химические, механические свойства и технологи-

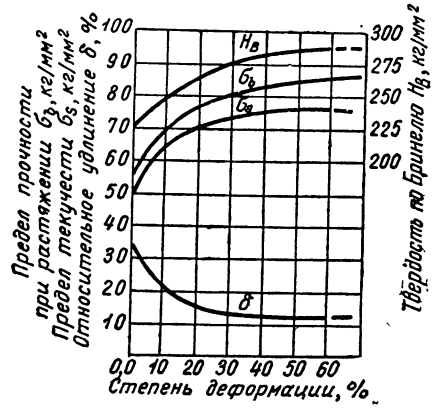


Рис. 218. Изменение механических свойств технического титана в зависимости от степени деформации

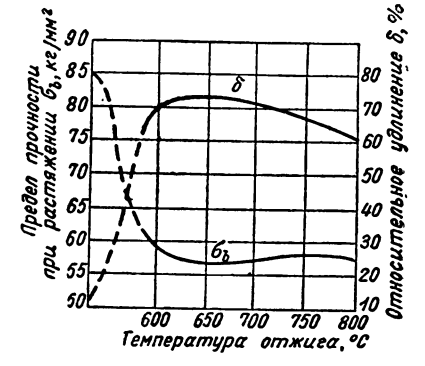


Рис. 219. Изменение механических свойств технического титана в зависимости от температуры отжига. Продолжительность отжига 1 час. Исходный материал: листы, деформированные на 50%

Таблица 82

Физико-химические и механические свойства и технологические характеристики титана

Наименование свойств	Значение	Наименование свойств	Значение
Температура плавления, °С	1680±20	Параметры β-модификации:	
Температура кипения, °С . .	(3500)	кристаллическая структура	Кубическая объемноцентрированная
Плотность, *г/см*³:			
α-титана при 20°	4,5		
β-титана при 885°	4,3		
Коэффициенты линейного расширения:		константа решетки, Å. .	$a = 3{,}32$
$\alpha_{20-100°}$	$8 \cdot 10^{-6}$	межатомное расстояние, Å	2,87
$\alpha_{300-400°}$	$9{,}6 \cdot 10^{-6}$	Сверхпроводимость при температуре, °К	Ниже 1,73
Удельная теплоемкость, *кал/г·°С*, при температуре, °С:		Модуль нормальной упругости при 20° С, *кг/мм*²	10500
—196.	0,05	Коэффициент сжимаемости при 30° С, *см*²/*кг*	0,8
20.	0,12	Модуль сдвига	4550
100.	0,13	Предел прочности при растяжении, *кг/мм*²	60—70
500.	0,15		
Теплосодержание (энтальпия), *кал/г*, при температуре, °С:		Технический титан при 20°С:	
100	11,3	предел текучести, *кг/мм*²	45—50
200	25,3		
300	44,5	относительное удлинение, %	20—30
400	63,7	относительное сужение, %	40—50
Теплопроводность, *кал/см·сек·°С*, при температуре, °С:		Твердость по Бринелю, (в зависимости от чистоты), *кг/мм*².	60—200
20	0,039		
300	0,40	Температура, °С:	
500	0,43	горячей прокатки. . . .	850—900
Электросопротивление, *ом·мм*²/*м*	0,47	ковки	750—950
Температурный коэффициент электросопротивления	0,00425	штамповки	350—500
Магнитные свойства.	Парамагнитный	прокатки (теплой). . . .	600—650
		отжига	600—700
Удельная магнитная восприимчивость	$+ 1{,}25 \cdot 10^{-6}$	Критическая степень деформации, %	2,5—5
Температура аллотропического превращения $\alpha \rightarrow \beta$, °С . . .	882	Обрабатываемость резанием	Удовлетворительная
Параметры α-модификации:		Свариваемость	то же
кристаллическая структура	Гексагональная плотная	Коррозионная стойкость . .	Высокая
константы решетки, Å. .	$a = 2{,}946$; $c = 4{,}686$	Рабочая температура деталей, °С.	До 350
межатомное расстояние, Å	2,9		

ческие характеристики технического титана.

На рис. 218, 219 и 220 показано изменение механических свойств технического титана в зависимости от степени деформации, температуры отжига и изменения свойств при повышенных температурах.

На рис. 221 дана диаграмма рекристаллизации технического титана.

В табл. 83, 84 и 85 приведен химический состав и механические свойства губчатого и иодидного титана.

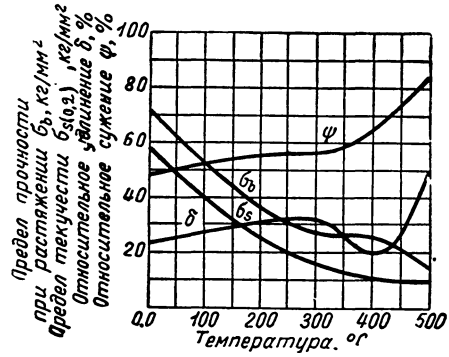


Рис. 220. Изменение механических свойств технического титана при высоких температурах

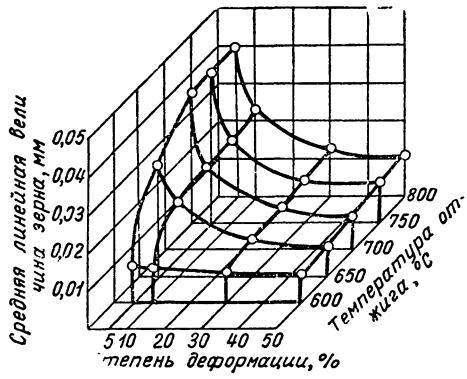


Рис. 221. Диаграмма рекристаллизации технического титана. Продолжительность отжига 1 час.

Таблица 83

Химический состав губчатого магниетермического титана по ТУ ЦМЗ 02—59

Марка	Примесей не более, %						Примечание
	железо	кремний	углерод	хлор	азот	кислород	
ТГ-00. . . .	0,15	0,05	0,05	0,06	0,03	0,1	Для научно-исследовательских целей
ТГ-0	0,15	0,05	0,05	0,06	0,03	0,1	
ТГ-1	0,30	0,10	0,06	0,08	0,05	0,2	
ТГ-2	0,30	0,10	0,06	0,10	0,06	0,2	
ТГ-3							

Примечания: 1. Крупность губчатого титана всех марок должна быть от 5 до 50 *мм*.
2. Определение содержания примесей производится по МПТУ 4310—58.
3. Губчатый титан марки ТГ-2, поставляемый предприятиям авиационной промышленности, должен иметь предел прочности не выше 57 *кг/мм²*.
4. Технические требования по химическому составу и механическим свойствам губки марки ТГ-3 согласовываются между поставщиком и потребителем.

Таблица 84

Механические свойства титановой губки

Марка	Предел прочности при растяжении *кг/мм²* (не более)	Относительное удлинение % (не менее)	Относительное сужение % (не менее)	Твердость по Бринелю 3000/10/30 факультативно *кг/мм²*, (не более)
ТГ-00. . . .	38	36	64	115
ТГ-0	46	28	50	145
ТГ-1	53	24	42	165
ТГ-2	60	20	35	185
ТГ-3				

Примечание. Слиток, выплавленный из губки, проковывается при 800—950° на пруток диаметром 12 *мм*. Пруток отжигается при 700° в течение 30 мин. Готовятся 3 гагаринских образца диаметром 5 *мм*. Испытание на разрыв проводят по ГОСТ 1497—42. Скорость испытания на разрыв не более 1,35 *мм/мин*.

Таблица 85

Химический состав йодидного титана по ТУ-МУ-МОС № 8029—59

Сорт	Содержание примесей (не более), %							
	магний	кремний	алюминий	железо	никель	хром	марганец	углерод
1	0,01	0,01	0,02	0,020	0,01	0,01	0,005	0,015
2	0,02	0,01	0,02	0,035	0,015	0,015	0,015	0,03
3	0,03	0,02	0,03	0,05	0,03	0,03	0,02	0,04

Примечания: 1. Кислород и азот определяются факультативно.
2. Твердость R_B (не более) составляет, для сорта.

1-го 30
2-го 40
3-го 55

3. Для изготовления йодидного титана применяется проволока из технического титана диаметром не более 2,5 *мм*.

§ 2. СПЛАВЫ НА ОСНОВЕ ТИТАНА

Сплавы титана с добавками элементов переходных групп, например молибдена, ванадия, хрома, марганца и др., а также с добавками алюминия и олова в различных сочетаниях являются более перспективными, чем технический титан.

Эти сплавы более жаростойки и имеют высокие механические свойства. Молибден, хром, ванадий, марганец, железо и др. стабилизируют высокотемпературную β-фазу. Под влиянием этих добавок, а также в сочетании с алюминием прочность указанных сплавов повышается до 140 *кг/мм²*, а твердость — до 400 *кг/мм²*. Относительное удлинение при этом значительно снижается. Эти сплавы достаточно широко применяются в зарубежной практике для изготовления листов, полос, поковок и пр. Прочность многих из них может быть значительно повышена термической обработкой.

Алюминий, олово, а также азот, кислород и углерод стабилизируют α-фазу. Под влиянием алюминия и олова прочность и жаростойкость сплавов могут быть значительно повышены. Кроме того, эти добавки благоприятно влияют на процесс сварки

В табл. 86 и 87 приведен химический состав и механические свойства в различных состояниях сплавов на основе титана, применяемых за рубежом. Зарубежные марки сплавов обозначены символами, принятыми в Советском Союзе.

Таблица 86

Химический состав титановых сплавов

Марка сплава	Содержание, %						
	алюминий	олово	хром	ванадий	молибден	марганец	железо
Ti-5Al	5	—	—	—	—	—	—
Ti-5Al-2,5Sn	5	2,5	—	—	—	—	—
Ti-2,75Al-13Sn	2,75	13	—	—	—	—	—
Ti-3Al-5Cr	3	—	5	—	—	—	—
Ti-6Al-4V	6	—	—	4	—	—	—
Ti-2,5Al-15V	2,5	—	—	15	—	—	—
Ti-7Al-3Mo	7	—	—	—	3	—	—
Ti-3Al-6Mo	3	—	—	—	6	—	—
Ti-4,5Al-3Mo-1V	4,5	—	—	1	3	—	—
Ti-4Al-2V-1Cr-1Mo	4	—	1	2	1	—	—
Ti-3,5Al-4,5Mn	3,5	—	—	—	—	4,5	—
Ti-2Al-2,5Fe	2	—	—	—	—	—	2
Ti-2Cr-2Mo-2Fe	—	—	2	—	2	—	2
Ti-1Cr-1Mo-1V-1Fe-3Mn	—	—	1	1	1	3	1

Таблица 87

Механические свойства титановых сплавов

Марка сплавов	Состояние материала	Предел прочности при растяжении *кг/мм²*	Предел текучести *кг/мм²*	Относительное удлинение %
Ti-5Al	Отожженный при 850°	55	42	18
Ti-5Al-2,5Sn	То же	81	77	18
Ti-2,75Al-13Sn	То же	105	85	22
Ti-3Al-5Cr	Горячекованный	105	98	6
То же	Закаленный с 870° и отожженный при 650°	126	119	8
Ti-6Al-4V	Отожженный при 800°	104	96	13
То же	Закаленный с 930° и отожженный при 500°	139	126	9
Ti-2,5Al-15V	Отожженный	70	28	15
То же	Закаленный с 745° и отожженный при 495° в течение 24 час.	125	113	7
Ti-7Al-3Mo	Закаленный с 850° и отожженный при 550° в течение 24 час.	101—119	90—102	8—10
Ti-3Al-6Mo	Отожженный	94	—	15
То же	Термически обработанный	125	113	7
Ti-4,5 Al-3Mo-1V	Отожженный	105	88	15
То же	Термически обработанный	119	105	10
Ti-4Al-2V-1Cr-1Mo	Отожженный	70	—	15
То же	Термически обработанный	125	105	8
Ti-3,5Al-4,5Mn	Отожженный при 850°	110—113	97—102	15—17
То же	Закаленный с 850° и отожженный при 540°	133	123	10
Ti-2Al-2Fe	Отожженный	102	95	12
Ti-2Cr-2Mo-2Fe	Отожженный	91—105	84—95	12
Ti-1Cr-1Mo-1Fe-3Mn	Отожженный	95	88	20

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Д. Макквиллэн и М. К. Макквиллен. Титан, Металлургиздат, 1958.
2. В. Н. Еременко. Титан и его сплавы. Изд. АН УССР, Киев, 1955.
3. Д. Л. Эверхарт. Титан и его сплавы, Металлургиздат, 1956.

Раздел второй

ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ МЕТАЛЛОВ

§ 1. ОБЩИЕ ОСНОВЫ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

С развитием металлургии, являющейся ведущей отраслью народного хозяйства, тесно связано развитие обработки металлов давлением. О большом значении обработки металлов давлением можно судить по тому, что более 75% всей производимой в стране стали обрабатывается прокаткой, кроме того, часть выплавляемой стали подвергается ковке и штамповке.

Обработке давлением подвергается значительная часть производимых цветных металлов и сплавов, без которых невозможно развитие современной техники. Обработка металлов давлением придает изделиям определенную форму и размеры, а также необходимые механические и физико-химические свойства.

1. Различные способы образования формы тела

Каждое тело характеризуется формой (шар, куб, и др.) и определенными размерами. Существует целый ряд способов образования тел различной формы. Эти способы можно разделить на три основные группы [23]:

1) образование формы с переходом от большей массы к меньшей;

2) образование формы с переходом от меньшей массы к большей;

3) образование формы с сохранением массы.

Образование формы с переходом от большей массы к меньшей возможно, когда некоторое количество вещества отделяется от имеющейся массы тела. Примерами такого образования формы, применительно к металлам, являются: механическая обработка резанием; вырезка, разрезка на части и вырубка; получение определенной формы металлических тел, связанное с расплавлением и сжиганием металла (местное оплавление, газовая и электрическая резка и др.); растворение в кислотах и щелочах (вытравливание рельефного рисунка на металлическом изделии и пр.) и электроэррозионная обработка металлов.

Образование формы с увеличением массы происходит, если определенные пространственные границы заполняются постепенным осаждением или наращиванием вещества, а также соединением отдельных частей. К этому виду образования форм относятся электролитическое осаждение, литье различных видов, сварка.

Образование формы с сохранением массы происходит при пластической деформации тела.

2. Основные процессы пластической деформации

К основным процессам пластической деформации относятся. растяжение, сжатие, кручение, изгиб, истечение, вдавливание, протягивание и прокатка. Эти процессы пластической деформации лежат в основе производственных процессов обработки металлов давлением и механических испытаний (растяжение, сжатие, кручение, твердость при вдавливании конуса, пирамиды и шарика).

Основными процессами обработки металлов давлением являются прокатка, прессование, волочение, листовая штамповка, открытая ковка и объемная штамповка. Все виды обработки давлением основаны на пластичности металлов и сплавов, т. е. на их способности под внешним воздействием необратимо изменять форму и размеры без разрушения.

3. Основные направления учения о пластичности

Научное обоснование процессов обработки металлов давлением базируется на учении о пластичном изменении формы твердого вещества. Учение о пластичном изменении формы твердого вещества состоит из физической и физико-химической теории деформации и математической теории пластичности.

Физическое направление теории деформации занимается изучением физической природы механизма изменения формы твердого вещества и явлений, сопровождающих это изменение. В задачу физики твердого тела входит также определение влияния на механизм деформации условий ее прохождения (температуры и скорости деформации, вида напряженного состояния) и установление законов течения, определяющих зависимость между напряжениями и соответствующими им деформациями. Физическое направление теории пластичности

устанавливает условия, при которых начинаются пластические деформации или наступает разрушение [1], т. е. устанавливает условия предельных состояний.

Одним из основателей физической и физико-химической теории пластичности является русский ученый Ф. Н. Шведов, который еще в 80-х годах XIX в. нашел много общего в процессах течения жидких, вязких и твердых тел, дал впервые толкование уравнению релаксации Максвелла, исправил и дополнил его. Значительные работы по современной физике твердого тела принадлежат В. Д. Кузнецову и его школе [1, 2, 3], по теории механических испытаний — Н. Н. Давиденкову [4, 5], Я. Б. Фридману [6, 7], в области физики кристаллов — А. Ф. Иоффе [8], в области рентгеновского изучения текстур — С. Т. Конобеевскому [9] и др.

Физико-химическое направление теории деформации, которое неразрывно связано с физическим направлением, занимается изучением физико-химической природы течения твердого вещества, установлением влияния фазового состояния, химического состава, примесей и структуры на пластическое состояние и механические свойства, изучением законов течения и условий наступления предельных состояний твердого вещества.

Физико-химическое направление теории пластичности, основанное Ф. Н. Шведовым, в последующем нашло продолжение в работах Н. С. Курнакова и его школы [10, 11] и др. Значительная роль в изучении механизмов деформации принадлежит А. А. Бочвару [12, 13] и его школе.

Математическое направление теории пластичности описывает напряженное и деформированное состояние, устанавливает математическую связь между напряжениями и деформациями (скоростями), дает анализ распределения напряжений в пластической среде, разрабатывает методы расчета усилий при различных процессах пластической деформации. Наиболее важные работы по математической теории пластичности принадлежат А. А. Ильюшину [14], В. В. Соколовскому [15], Г. А. Смирнову-Аляеву [16] и др. Значительный вклад в развитие теории пластичности сделали также Надаи [27], Зибель [28], Закс [29], Генки, Мизес и др. [30].

Теория обработки металлов давлением является одним из разделов теории пластичности. Основателями теории обработки металлов давлением являются П. П. Аносов [17] и Д. К. Чернов [18]. П. П. Аносовым при изготовлении легированной, в частности булатной, стали был впервые научно поставлен вопрос о влиянии химического состава и температурного режима на свойства готовой поковки.

Д. К. Чернов впервые указал на метод линий скольжения для изучения напряженного состояния при пластической деформации. Основные положения современной теории обработки давлением разработаны в трудах С. И. Губкина [19, 20, 21], И. М. Павлова [22, 23], Е. П. Унксова [24], Н. И. Корнеева [25], А. Д. Томленова [26] и др.

§ 2. НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ

1. Силы внешние и внутренние

Если к какому-нибудь телу приложить внешнюю силу и создать препятствие движению тела, то в теле возникнут внутренние силы и произойдет его деформация. Внешние силы, действующие при деформации, делятся на силы активные (приложенные) и реактивные.

Активные силы — силы, производящие воздействие на тело. Активные силы создаются механическим воздействием и передаются деформируемому телу при помощи соответствующего инструмента.

Реактивные силы возникают в результате создания препятствия движению деформируемого тела под действием активных сил.

Почти во всех процессах обработки давлением на поверхности соприкосновения деформируемого тела с инструментом возникают силы трения, направление которых противоположно направлению движения металла. Силы трения могут быть как активными, так и реактивными.

Внешние силы уравновешиваются внутренними силами. Интенсивность внутренних сил, т. е. отношение элементарной силы к элементарной площадке $\sigma = \frac{dP}{dF}$, называется напряжением.

Напряжение σ может быть разложено на нормальное напряжение σ_n, перпендикулярное к рассматриваемой площадке, и касательное (сдвигающее) напряжение τ, действующее в плоскости площадки:

$$\sigma^2 = \sigma_n^2 + \tau^2.$$

2. Напряженное состояние тела

Под напряженным состоянием тела понимается стремление атомов вернуться к местам своего устойчивого равновесия, из которого они были выведены в результате механического воздействия на тело, физического или физико-химического процесса. В результате механического воздействия на тело происходит повышение потенциальной энергии кристаллической решетки. При повышении потенциальной энергии атомы отклоняются от положения устойчивого равновесия и происходит изменение межатомных расстояний, ведущее к изменению формы и размеров тела.

После удаления причин, вызвавших повышение потенциальной энергии, величина последней вновь станет минимальной, напряженное состояние тела исчезнет, атомы вернутся к местам устойчивого равновесия, форма и размеры тела восстановятся. Деформация, исчезающая после удаления

причин, ее вызвавших, называется упругой или обратимой деформацией. Упругая деформация происходит в металле за счет изменения межатомных расстояний кристаллической решетки.

Практически полная обратимость деформации имеет место, если напряжения в теле не превышают предела пропорциональности. До предела пропорциональности существует однозначно обратимая связь между напряжением σ и относительным удлинением ε. Прямая пропорциональность между напряжением и деформацией математически выражается в виде уравнения $\sigma = E\varepsilon$, где E — коэффициент пропорциональности, называемый модулем продольной упругости или модулем Юнга. Это соотношение является математическим выражением закона Гука и служит основой теории упругости. При упругой деформации в продольном направлении (в направлении растяжения) происходит увеличение размера, а в поперечном — уменьшение. Объем тела при упругой деформации изменяется. Отношение поперечного сжатия ε к продольному удлинению ε называется коэффициентом Пуассона μ, т. е. $\mu = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon}$.

Коэффициент Пуассона определяет величину изменения объема тела при упругой деформации. Деформация, остающаяся после удаления причин, ее вызвавших, называется пластической (необратимой или остаточной) деформацией Пластическая деформация происходит в упруго деформированном теле и представляет собой необратимое перемещение отдельных атомов или их групп.

Необратимое изменение формы тела происходит вследствие движения инструмента, который также деформируется упруго или упруго-пластически. После прекращения воздействия инструмента происходит снятие упругой деформации инструмента и полученного изделия. Эти изменения необходимо учитывать при выборе размеров инструмента и технологии обработки Изменения размеров изделия при снятии нагрузки, по сравнению с размерами, заданными инструментом, называются упругим пружинением Величина упругой деформации, сопровождающей пластическую, теоретически может быть определена согласно закону Гука. Рассматривая вопросы, связанные с упругой деформацией пластически деформируемого тела и особенно инструмента, необходимо предусматривать возможность упругих несовершенств из-за неоднородности структуры металла и условий деформации К числу упругих несовершенств относятся упругое последействие и упругий гистерезис [6].

3. Напряженное состояние точки

Напряженное состояние точки определяется величиной и направлением напряжения, действующего на элементарную площадку, проходящую через данную точку и ориентированную любым способом. Напряженное состояние на любой площадке, проходящей через данную точку, станет известным, как доказывается в механике, если известны напряжения на трех взаимно перпендикулярных площадках, проходящих через исследуемую точку (рис. 1).

Каждый вектор напряжения можно разложить по направлениям трех осей В результате на каждой площадке будет действовать одно нормальное и два сдвигающих напряжения. Таким образом, в общем

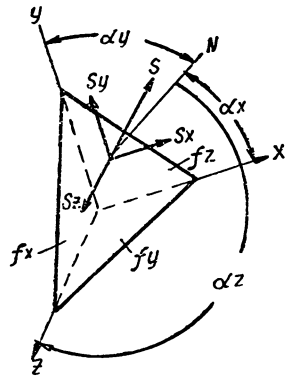


Рис. 1. Напряжения на площадке, наклонной к осям координат

случае напряженное состояние точки определяется тремя нормальными напряжениями σ_1, σ_y и σ_z и шестью сдвигающими τ_{xy}, τ_{yx}, τ_{xz}, τ_{zx}, τ_{yz}, τ_{zy}. Из условий равновесия рассматриваемого элемента тела следует, что сдвигающие напряжения попарно равны

$$\tau_{xy} = \tau_{yx};\quad \tau_{xz} = \tau_{zx};\quad \tau_{yz} = \tau_{zy}.$$

В механике сплошных сред доказывается, что в деформированном теле существуют три взаимно перпендикулярных направления, на нормальных площадках к которым сдвигающие напряжения разны нулю. Такие направления и нормальные площадки называются главными. Нормальные напряжения, действующие на главных площадках, называются главными напряжениями (индексы главных осей и напряжений цифровые).

Нормальное напряжение, действующее на любой площадке,

$$\sigma_n = \sigma_1 \alpha_1^2 + \sigma_2 \alpha_2^2 + \sigma_3 \alpha_3^2,$$

где σ_1, σ_2, σ_3 — главные напряжения;
α_1, α_2, α_3 — косинусы углов нормали к площадке с главными направлениями

Касательное напряжение на той же площадке

$$\tau = \sqrt{\sigma_1^2 \alpha_1^2 + \sigma_2^2 \alpha_2^2 + \sigma_3^2 \alpha_3^2 - (\sigma_1 \alpha_1^2 + \sigma_2 \alpha_2^2 + \sigma_3 \alpha_3^2)^2}.$$

Касательные напряжения, имеющие максимальную величину и действующие на площадках, проходящих через одну из главных осей и делящих угол с двумя другими пополам, называются главными. Главные касательные напряжения связаны с главными напряжениями соотношениями:

$$\tau_1 = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}; \quad \tau_2 = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2};$$

$$\tau_3 = \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{2};$$

$$\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 0.$$

Напряжения, действующие на площадках, равнонаклоненных к главным осям, для которых $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1/3$, т. е. на плоскостях октаэдра, называются октаэдрическими.

Октаэдрическое напряжение (нормальное)

$$\sigma_{окт} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}.$$

Касательное октаэдрическое напряжение

В процессах обработки металла давлением наиболее часто встречается схема всестороннего сжатия.

Линейная схема растяжения имеет место в первой стадии испытания на растяжение. Линейная схема сжатия фактически не встречается ввиду наличия трения на поверхности контакта деформируемого металла и инструмента.

Характер нагружения, который определяется схемой главных напряжений, существенно влияет на пластичность и сопротивление деформации.

Наличие растягивающих напряжений понижает пластичность. Растягивающие напряжения не препятствуют развитию межкристаллитной деформации, которая нарушает связь между зернами и ведет к разрушению. Растягивающие напряжения вызывают также разрушение кристаллитов. В физике твердого тела доказывается, что сжимающие напряжения не могут вызвать разрушения.

Сопротивление деформации тем больше чем больше одноименных напряжений в схеме главных напряжений. Разноименность напряжений (растяжение, сжатие) ведет к понижению сопротивления деформации.

$$\tau_{окт} = 1/3\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} = 2/3\sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2 + \tau_3^2}.$$

4. Схема главных напряжений

Напряженное состояние в точке или в некотором объеме деформируемого тела принято характеризовать схемой главных напряжений.

Схема главных напряжений дает графическое представление о наличии и направлении главных напряжений в рассматриваемых точке или объеме. Всего имеется девять схем главных напряжений (рис. 2).

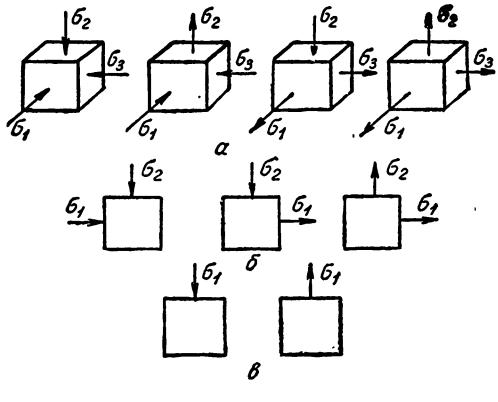


Рис. 2. Схемы главных напряжений:
а — объемные; *б* — плоские; *в* — линейные

5. Условие постоянства объема

Изменение объема при упругой деформации, сопровождающей пластическую, незначительное и исчезает с удалением причин, ее вызвавших. При пластической деформации объем изменяется. При горячей обработке давлением (деформации) плотность обычно повышается за счет частичной запрессовки пустот и раковин Величина повышения плотности определяется качеством литья и достигает для кипящей стали 0.88% [23]. При холодной деформации плотность понижается за счет появления межкристаллитных и внутрикристаллитных нарушений (табл. 1), а при последующем отжиге (рекристаллизации) в значительной степени восстанавливается.

Ввиду незначительности изменений объема при пластической деформации ими, как правило, пренебрегают, принимая объем постоянным:

$$V_1 = V_2; \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{H_1 B_1 L_1}{H_2 B_2 L_2} = 1, \qquad (1)$$

где V_1, H_1, B_1, L_1 — объем и размеры до деформации;

V_2, H_2, B_2, L_2 — объем и размеры после деформации.

На условии постоянства объема основаны все расчеты, связанные с определением знака и величины деформации. Величина деформации считается положительной, если она характеризует увеличение размера, и отрицательной, если она характеризует уменьшение размера.

Влияние холодной деформации на плотность некоторых металлов [23] Таблица 1

Материал	Плотность, г/см³		Вид обработки	Уменьшение плотности %
	деформированный отожженный	деформированный		
Платина	21,4403	21,4133	Волочение	0,13
Алюминий	2,7030	2,6995	»	0,13
	2,7133	2,7107	Прокатка (степень деформации 50%)	0,10
Железо (фортепианная проволока)	7,7970	7,7772	Волочение	0,25
Серебро	10,4475	10,4410	»	0,06
Медь	8,8317	8,8313	»	—
Цинк	7,2831	7,2827	»	—
Алюминиевая бронза БрА5.	8,2388	8,2188	Волочение (степень деформации 75%)	0,24

6. Главные деформации

Степень формоизменения обычно определяется в направлении главных осей. Пластические деформации, возникающие в направлении главных осей, называются главными деформациями.

Абсолютная главная деформация — приращение исходного размера элемента или тела в направлении одной из главных осей:

$$\Delta H = H_2 - H_1;\quad \Delta B = B_2 - B_1;\quad \Delta L = L_2 - L_1. \tag{2}$$

Относительная главная деформация — отношение абсолютной главной деформации к начальному или конечному размеру:

$$\delta_1 = \frac{\Delta H}{H_1};\quad \delta_2 = \frac{\Delta B}{B_1};\quad \delta_3 = \frac{\Delta L}{L_1}. \tag{3}$$

$$\varphi_1 = \frac{\Delta H}{H_2};\quad \varphi_2 = \frac{\Delta B}{B_2};\quad \varphi_3 = \frac{\Delta L}{L_2} \tag{4}$$

Действительная (истинная) главная деформация — интеграл отношения бесконечно малого приращения размера к размеру в данный момент деформации:

$$\left.\begin{aligned} e_1 &= \int_{H_1}^{H_2} \frac{dH_x}{H_x} = \ln\frac{H_2}{H_1} \cong \ln(1+\delta_1);\\ e_2 &= \int_{B_1}^{B_2} \frac{dB_x}{B_x} = \ln\frac{B_2}{B_1} \cong \ln(1+\delta_2);\\ e_3 &= \int_{L_1}^{L_2} \frac{dL_x}{L_x} = \ln\frac{L_2}{L_1} \cong \ln(1+\delta_3). \end{aligned}\right\} \tag{5}$$

Из условия постоянства объема следует, что

$$\ln\frac{H_2}{H_1} + \ln\frac{B_2}{B_1} + \ln\frac{L_2}{L_1} = 0. \tag{6}$$

Из уравнения (6) следует, что одна из главных деформаций, которую называют максимальной главной деформацией, а в практических расчетах степенью деформации, имеет знак, противоположный знаку других.

7. Схемы главных деформаций

Деформированное состояние в точке или в некотором объеме характеризуется схемой главных деформаций. Согласно условию постоянства объема может быть только три схемы главных деформаций (рис. 3). Вид схемы главных деформаций оказывает

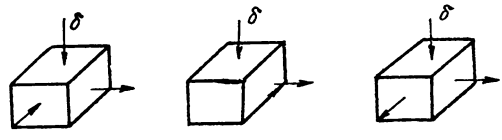


Рис. 3. Схемы главных деформаций

влияние на пластичность. Наилучшее условие имеет место при объемной схеме с двумя деформациями сжатия, наихудшее условие — при объемной схеме с двумя деформациями растяжения. Схемы главных деформаций определяют характер изменения зерна при деформации. Максимальная главная деформация определяет ориентировку (текстуру) деформации.

8. Смещенный объем

Смещенным объемом называется изменение объема при деформации в одном из главных направлений за счет изменения

объема в двух других главных направлениях. В общем случае смещенный объем будет равен

$$V_x = \int_h^H F_x dx,$$

где $F_x = \frac{V}{h_x}$ — проекция поверхности деформируемого тела, подвергнутой непосредственному воздействию деформирующего усилия, на плоскость, перпендикулярную к оси X (если ось X совпадает с направлением максимальной главной деформации); изменяется в процессе деформации;

H, h_x, h — начальная, текущая и конечная длины (высоты) деформируемого тела в направлении действия внешней силы;

V — объем деформируемого тела.

В случае свободного осаживания цилиндра или любой правильной призмы, если образующие боковой поверхности остаются прямолинейными и параллельными оси X, смещенный объем будет следующим:

$$V_x = \int_h^H F_x dh_x = \int_h^H \frac{V}{h_x} dh_x =$$

$$= V \ln \frac{H}{h} = V \ln \frac{f}{F},$$

где F, F_x, f — начальная, текущая и конечная площади.

Если начальная площадь поперечного сечения F остается постоянной по высоте исходной заготовки, то средний смещенный объем может быть определен по формуле [35]

$$V_x = \int_{x_1}^{x_2} F_x \ln \frac{F_x}{F} dx,$$

где F_x — переменная по своей величине площадь поперечных по отношению к оси X сечений конечной фигуры деформируемого тела.

Возможность вычислений смещенного объема определяется знанием закона изменения площади сечений конечной фигуры $F_x = f(x)$ и возможностью математического решения интеграла вида

$$\int \varphi(x) \ln \frac{\varphi(x)}{F} dx,$$

В случае, если общее значение функции (F_x) в пределах от x_1 до x_2 неизвестно и конечная фигура имеет форму, более сложную, чем элементарные геометрические фигуры, но ее можно представить как сочетание элементарных геометрических фигур, имеющих одну общую ось, смещенный объем может быть точно или приближенно определен как сумма отдельно вычисленных смещенных объемов для отдельных частей фигуры, имеющих (точно или приближенно) вид элементарных геометрических фигур. В этих случаях действительное значение средней степени деформации определяется по формуле

$$e = \frac{\Sigma V_x}{\Sigma V}.$$

Действительная степень деформации $e = \ln \frac{H}{h}$ является относительным смещенным объемом, т. е. смещенным объемом V_x, отнесенным к единице деформируемого объема V, или

$$e = \frac{V_x}{V} = \ln \frac{H}{h}.$$

9. Дифференциальные условия равновесия

Для того чтобы найти распределение напряжений по всему деформируемому телу, составляют дифференциальное уравнение равновесия. Распределение напряжений и деформирующих усилий определяют интегрированием дифференциальных уравнений равновесия. Дифференциальное уравнение равновесия представляет собой сумму проекций сил, действующих на гранях

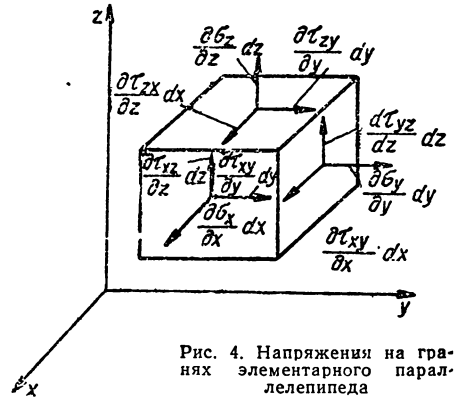


Рис. 4. Напряжения на гранях элементарного параллелепипеда

элементарного параллелепипеда (рис. 4), на соответствующей оси:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = 0.$$

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} = 0;$$

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} = 0.$$

Три дифференциальных уравнения равновесия содержат шесть неизвестных:

$$\sigma_x,\ \sigma_y,\ \sigma_z,\ \tau_{yx}=\tau_{xy},$$
$$\tau_{zx}=\tau_{xz},\ \tau_{yz}=\tau_{zy},$$

Для ряда практических задач с достаточной точностью можно принять, что в плоскостях, параллельных какой-либо плоскости координат, происходят одинаковые процессы деформации. Этот случай носит название «плоской задачи», для которой уравнения равновесия будут иметь вид

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z}=0.$$
$$\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x}+\frac{\partial \sigma_z}{\partial z}=0.$$

«Плоская задача» может относиться либо к плоскому деформированному состоянию:

$$e_3=0;\ \sigma_3=\frac{\sigma_1+\sigma_2}{2};$$
$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z}=0;\ \tau_{xz}=\tau_{zx}=0,$$

либо к плоскому напряженному состоянию:

$$e_3=-\frac{e_1+e_2}{2};\ \sigma_z=\sigma_3=0;$$
$$\tau_{zx}=\tau_{xz}=0.$$

Таким образом, количество дифференциальных уравнений равновесия во всех случаях меньше, чем количество неизвестных, и задача нахождения напряжений является, вообще говоря, статически неопределимой. Для нахождения напряжений и усилий необходимы дополнительные уравнения, составляемые исходя из рассмотрения физических свойств деформируемых металлов. Для упрощения решения уравнений равновесия следует применять приближенные методы интегрирования уравнений, либо упрощать уравнения путем введения достаточно обоснованных допущений, дающих возможность их аналитического решения [24].

10. Скорость деформации

Скоростью деформации называется изменение относительной деформации в единицу времени. Скорость деформации в точке тела, или средняя скорость деформации в некотором объеме, характеризуется тремя скоростями в направлении трех главных осей деформации. Обычно рассматривают только скорость максимальной главной деформации.

Скоростью истинной относительной деформации называют изменение степени деформации в единицу времени

$$w=\frac{de}{dt}=\frac{1}{L}\frac{dL}{dt}=\frac{d[\ln(1+\delta)]}{dt}\ \text{сек.}^{-1},$$

где $\delta=\frac{L_2-L_1}{L_1}$ — степень деформации (относительное приращение размера).

Средней скоростью истинной относительной деформации называют отношение

$$w_{\text{ср}}=\frac{l}{t}=\frac{\ln(1+\delta)}{t}.$$

Скорость машины, т. е. скорость, с которой производится деформация, может быть выражена через скорость деформации следующим образом:

$$w_{\text{м}}=\frac{dL}{dt}=\frac{d[L_1(1+\delta)]}{dt}=L_1 v(1+\delta).$$

11. Связь между пластическими деформациями и напряжениями

Для пластических деформаций принимаются такие же, как и для упругих деформаций, соотношения между величиной деформаций и напряжений, но вместо постоянного коэффициента пропорциональности $\frac{1}{2G}$ вводится переменный коэффициент $\frac{\psi}{2G}$. Связь между пластическими деформациями и напряжениями имеет следующий вид:

$$e_1=\frac{\psi}{3G}\left[\sigma_1-\frac{1}{2}(\sigma_2+\sigma_3)\right],$$
$$e_2=\frac{\psi}{3G}\left[\sigma_2-\frac{1}{2}(\sigma_3+\sigma_1)\right],$$
$$e_3=\frac{\psi}{3G}\left[\sigma_3-\frac{1}{2}(\sigma_1+\sigma_2)\right],$$

где G — модуль сдвига;

ψ — переменный коэффициент.

Установление величины коэффициента ψ и зависимости его от условий деформации и физических свойств металла является одной из основных задач теории пластичности.

§ 3. НЕРАВНОМЕРНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ

Напряжения при пластической деформации распределяются неравномерно. Основными причинами неравномерного распределения напряжений являются: характер формы деформируемого тела и инструмента, внешнее трение, неравномерное распределение деформаций и температуры, неоднородность структуры. Важнейшими последствиями неравномерности распределения напряжений при пластической деформации являются повышение сопротивления деформации, понижение пластичности и появление дополнительных и остаточных напряжений

Повышение сопротивления деформации связано с необходимостью увеличения напряжения по всему деформируемому объему выше предела текучести, а также с появлением дополнительных напряжений, что требует соответствующей затраты энергии.

Понижение пластичности при неравномерном распределении напряжения обусловливается повышением сопротивления деформируемого тела, в то время как сопротивление разрушению практически остается постоянным.

1. Дополнительные напряжения

Вследствие неравномерного распределения напряжений в пластически деформируемом теле отдельные его слои и элементы стремятся к различному изменению размеров. Все слои тела, будучи между собой связаны целостностью тела, не могут изменять своих размеров без влияния на соседние слои.

Напряжения, выравнивающие размеры тела в целях сохранения его целостности, называются дополнительными, в отличие от основных напряжений.

Основные напряжения уравновешиваются внешним усилием. Дополнительные напряжения являются взаимно уравновешивающимися. С. И. Губкин, впервые разработавший теорию дополнительных напряжений, дает следующее правило знаков этих напряжений: «В слоях и элементах деформируемого тела, стремящихся в данном направлении к большему изменению размеров, возникают дополнительные напряжения, знак которых отвечает уменьшению размеров в рассматриваемом направлении. В слоях и элементах, стремящихся к меньшему изменению размеров, возникают дополнительные напряжения, знак которых отвечает увеличению размеров» [20].

2. Остаточные напряжения

Остаточные напряжения деформации — это дополнительные напряжения, остающиеся в теле после прекращения процесса пластической деформации. Остаточными напряжениями называют взаимно уравновешивающиеся напряжения, остающиеся в теле после снятия сил, вызвавших формоизменение. Появление остаточных напряжений является одним из следствий неравномерности распределения напряжений. Остаточные напряжения, так же как и дополнительные, делятся на остаточные напряжения первого, второго и третьего родов.

Напряжения, взаимно уравновешивающиеся между большими частями деформируемого объема, называются дополнительными напряжениями первого рода. Напряжения, взаимно уравновешивающиеся между малыми частями деформируемого объема (т. е. между двумя или несколькими кристаллитами), называются дополнительными напряжениями второго рода. Напряжения, взаимно уравновешивающиеся между частями одного кристаллита, называются дополнительными напряжениями третьего рода.

Остаточные напряжения вызывают понижение прочности и пластичности, понижение сопротивления коррозии, а иногда и растрескивание деталей вследствие интер- или транскристаллитной коррозии (например, коррозионное растрескивание латуни в атмосфере, содержащей сернистый газ или аммиак [48]).

Снятие остаточных напряжений со временем при службе детали вызывает коробление и изменение размеров деталей, так как снятие напряжений происходит неравномерно.

Для уменьшения остаточных напряжений в деформируемом теле, необходимо обеспечить соответствующие условия деформаций, уменьшающие величину дополнительных напряжений. Величина дополнительных, а следовательно, и остаточных напряжений будет тем меньше, чем равномернее распределение напряжений и деформаций. При этом особо необходимо иметь в виду, что неравномерность температуры и наличие фазовых превращений ведут к значительному росту дополнительных и остаточных напряжений. Для снятия остаточных напряжений первого рода необходим низкотемпературный отпуск. Напряжения второго рода снимаются несколько труднее. Для снятия остаточных напряжений третьего рода необходима полная рекристаллизация.

Если термообработка нежелательна, то в некоторых случаях запас остаточных напряжений может быть снижен местной или поверхностной деформацией. Поверхностная или местная деформация вызывает в поверхностных слоях дополнительные напряжения сжатия, а в центральных — дополнительные напряжения растяжения. Следовательно, поверхностная деформация уменьшает остаточные напряжения, если изделие имеет в поверхностных слоях напряжения растяжения.

3. Теория жестких концов

Сохранение целостности тела при неравномерном распределении напряжений вызывает, как указывалось, появление дополнительных и остаточных напряжений. Существенным фактором, значительно влияющим на процесс обработки металла давлением, является взаимодействие между внешними частями (называемыми «жесткими концами») деформируемого тела и частью его, находящейся под действием инструмента [23].

Это взаимодействие вызывает соответствующие изменения напряженного состояния, деформаций и скоростей движения металла как в самих внешних частях, так и в зоне непосредственного действия инструмента. Применение теории жестких концов, впервые разработанной И. М. Павловым, дает возможность для различных конкретных случаев определить характер течения металла и причины образования трещин.

§ 4. ВНЕШНЕЕ ТРЕНИЕ

Внешнее трение при пластической деформации играет весьма значительную роль. Внешнее трение при обработке металлов давлением:

1) изменяет характер нагружения, ведет при сжатии к переходу от линейного к объемному напряженному состоянию деформируемого тела;

2) усиливает неравномерность распределения напряжений и деформаций;

3) увеличивает сопротивление деформации, т. е. ведет к увеличению удельного и полного давления металла на инструмент и увеличению затраты энергии на деформацию;

4) вызывает износ инструмента.

Условия внешнего трения при обработке металлов давлением значительно отличаются от условий трения скольжения и качения в машинах и механизмах, т. е. от условий так называемого машинного трения.

Основными особенностями внешнего трения при обработке металлов давлением являются:

1. Обновление поверхности в процессе деформации в связи с изменением формы и размеров деформируемого тела.

2. Отпадение первичной окалины (если она имеется) при горячей обработке вследствие обновления поверхности и образования вторичной окалины.

3. Наличие высоких удельных давлений на поверхности контакта деформируемого металла и инструмента, доходящих при горячей прокатке до 50 *кг/мм*², а при холодной прокатке до 250 *кг/мм*² [4] и более, в то время как удельные давления на тяжелонагруженные подшипники (прокатных станов) не превышают 4 *кг/мм*² [32].

4. Высокая температура на поверхности контакта деформируемого металла и инструмента (при горячей обработке), доходящая до 1200°.

Б. В. Дерягин дает следующее аналитическое выражение закона трения:

$$F = fN + f\rho S,$$

где F — сила трения;
f — коэффициент трения;
N — нормальное давление;
ρ — величина удельного сцепления, или величина удельного прилипания;
S — истинная площадь соприкосновения двух поверхностей (из-за неровности поверхности соприкосновения происходят не по всей площади контакта).

Первое слагаемое учитывает влияние нормального давления, второе — силы молекулярного сцепления.

При пластической деформации благодаря высоким удельным давлениям происходит смятие неровностей, при трении же скольжения имеет место только упругая деформация выступов на трущихся поверхностях. Поэтому величина S, а следовательно, и второе слагаемое при обычном трении скольжения невелики, и поэтому принимают, что $F \cong fN$.

При пластической деформации величина S значительна, и вторым слагаемым пренебречь нельзя. Однако определение величин удельного сцепления в истинной площади соприкосновения практически затруднительно Поэтому закон трения и при пластической деформации выражают аналитически в обычной простой форме: $F = \mu N$, где μ — коэффициент трения при пластической деформации Величина μ учитывает силы молекулярного сцепления (прилипания).

Различают три вида трения: сухое трение, трение с адсорбционной смазкой и трение с гидродинамической смазкой.

Сухое трение — трение при котором трущиеся поверхности абсолютно чисты и соприкасаются непосредственно.

Трение с адсорбционной смазкой — трение, при котором между трущимися поверхностями имеется только адсорбционный слой смазки. Адсорбционный слой смазки — слой, которому соответствует такое давление, начиная с которого дальнейшее повышение давления не уменьшает толщины слоя.

Трение с гидродинамической смазкой — трение, при котором между двумя трущимися поверхностями имеется слой смазки, обладающий свойствами жидкости (идеальной текучестью) и измеряющийся тысячами атомных размеров.

При обработке давлением, в зависимости от условий трения (величины удельного давления, наличия и характера смазки, температуры), имеет место в большей или меньшей степени трение с адсорбционной смазкой, так как на поверхности соприкосновения металла и инструмента всегда имеются адсорбированные частицы и окислы, а удельные давления достигают значительной величины. Последнее приводит к уменьшению толщины слоя смазки.

Трение при обработке давлением делят на трение с естественной смазкой (т. е. со смазкой за счет адсорбированных на поверхности металла и инструмента частиц и окислов), трение без смазки и трение с искусственной смазкой.

Как показали работы П. А. Ребиндера, А. К. Чертавских и других советских исследователей, смазывающее действие определяется наличием в смазке оптимального количества поверхностно активных веществ, т. е. веществ, которые имеют сродство к металлу и молекулы которых содержат полярную группу. К полярным группам относятся OH, COOH, COONa, COOK и др. Поверхностно активными веществами являются жирные кислоты (олеиновая $C_{17}H_{33}COOH$, стеариновая $C_{17}H_{35}COOH$, пальметиновая $C_{15}H_{31}COOH$), соли жирных кислот и др.

П. А. Ребиндер указывает, что смазка не только адсорбируется на поверхности ме-

талла, но и проникает по порам и трещинам вглубь. Благодаря такому «расклиниванию» трещин поверхность увеличивается, облегчая адсорбцию смазки.

Основными факторами, определяющими условия внешнего трения и величину коэффициента внешнего трения, являются:

а) состояние поверхности, химический состав и температура инструмента и обрабатываемого тела;

б) наличие смазки и ее состав;

в) скорость относительного перемещения поверхности деформируемого тела и поверхности инструмента.

Наиболее важным фактором, определяющим величину коэффициента внешнего трения, является состояние поверхности инструмента. Состояние поверхности инструмента определяется чистотой и направлением обработки ее; характером окислов (т. е. химическим составом и температурой) и наличием на поверхности трещин, налипшего металла и окалины. И М. Павлов указывает, что условия внешнего трения различны в различных направлениях, т. е. трение «анизотропно» [23].

4. Коэффициент трения и его определение

Величина коэффициента трения определяется природой трущейся пары металлов и условиями трения при деформации. Для определения коэффициента трения при обработке металлов давлением разработан целый ряд методов: конических бойков, осаживания двух образцов различных размеров, бочкообразности, определения по углу захвата при прокатке, максимального угла касания, клещевого захвата, истечения, вращающейся волоки, обратной тяги, свертки и др.

Для осаживания наиболее чувствительными и оправдавшими себя методами являются: метод конических бойков и метод бочкообразности. При прокатке величина коэффициента трения, найденная по углу захвата, характерна только для момента угла захвата валками. При установившемся процессе прокатки рекомендуется пользоваться методами максимального угла касания и клещевого захвата. При волочении коэффициент трения следует определять по методу врашающейся волоки.

Метод конических бойков состоит в осаживании цилиндрических образцов с коническими выточками и подборе угла конического бойка, при котором образец при осаживании сохраняет цилиндрическую форму. Если $\mu > \operatorname{tg}\alpha$, где α — угол между образующей конуса и его основанием, то образец приобретает бочкообразную форму; если $\mu < \operatorname{tg}\alpha$, то вогнутую форму. Если $\mu = \operatorname{tg}\alpha$, то образец деформируется в условиях линейного сжатия и получает цилиндрическую форму.

Метод бочкообразности заключается в замере размеров образца до и после осаживания. Коэффициент трения вычисляют по формуле

$$\mu = \frac{6{,}25(\delta + 2\delta^2)}{1+\varepsilon}\left(\frac{d}{h}\right)^{1,5},$$

где

$$\delta = \frac{D_{макс} - D_{мин}}{D_{макс}};$$

$$\varepsilon = \frac{H - h}{H};$$

$D_{мин}$, $D_{макс}$ — минимальный и максимальный диаметры бочки после осаживания;

H, h — высота образца до и после осаждения;

d — диаметр образца до осаживания.

Метод максимального угла касания состоит в прокатке клиновидных образцов. Обжатие при прокатке возрастает до определенного предела, после чего происходит пробуксовывание валков Для момента пробуксовывания определяется угол захвата α, угол трения β определяется из соотношения

$$\beta = \frac{\alpha}{n},$$

где n — коэффициент, равный от 1,67 до 1,92.

Метод клещевого захвата состоит в том, что прокатываемую полосу соединяют с динамометром и задают в валки прокатного стана. В момент начала пробуксовывания валков замеряют полное давление на валки P и усилие тяги T. Величину коэффициента трения определяют по формуле

$$\mu = \frac{T}{2P} + \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}.$$

Метод вращающейся волоки состоит в определении усилий и соответствующих им напряжений при волочении через вращающуюся и неподвижную волоку. Коэффициент трения находят по формуле

$$\mu = \frac{K - \sigma_0}{K}\operatorname{tg}\alpha,$$

где K — удельное давление при волочении через неподвижную волоку;

α — угол наклона волочильного очка;

$$\sigma_0 = K - \frac{K - K_{вр}}{1 - \cos\beta},$$

где $K_{вр}$ — удельное давление при волочении через вращающуюся волоку;

$$\cos\beta = \frac{v_в}{\sqrt{v_в^2 - v_0^2}},$$

где $v_в$ — скорость волочения;

$v_о$ — окружная скорость вращения поверхности конуса волоки в сечении, проходящем через ее центр тяжести.

Значения коэффициента трения приведены в табл. 2—20.

Таблица 2

Коэффициенты трения без смазки при осаживании различных материалов бойками из стали твердостью $H_B = 650$ [43]

Материал	Средний коэффициент трения	Угол конусности бойка, град	Среда, в которой производился отжиг	Температура отжига, °С
Цинк	0,39	137	Трансформаторное масло	120
Железо-армко	0,71	100	Вакуум	800
Латунь Л59	0,44	132,5	Подогретый воздух	600
Алюминий	0,97	92	Селитровая ванна	375
Никель	0,32	145	Вакуум	900
Свинец	0,33	143,5	Цилиндровое масло	180
Висмут	0,27	149	Воздух	150
Кадмий	0,24	152	»	180
Олово	0,18	159	Вода	100
Серебро	0,51	—	—	—
Медь	0,36	140,5	Вакуум	750
	0,34	142,5	Водород	750
	0,32	145	Азот	750
	0,53	124	Воздух	750
	0,51	126	Окись углерода	750

Коэффициенты трения при осаживании [38]

Таблица 3

Материал	Температура °С	Состояние поверхности	Коэффициент трения	
			метод конических бойков	метод бочкообразности
Дуралюмин	20	Без смазки	0,306	0,310
	20	Смазка эмульсией графита в машинном масле	0,287	0,275
	20	Смазка графитом	0,087	0,080
	400	То же	0,194	0,210
Медь	20	Без смазки	0,230	0,240
	20	Смазка зеленым мылом	0,052	0,060

Таблица 4

Влияние толщины пленки на коэффициенты трения при осаживании меди коническими бойками [43]

Наименование пленки	Толщина окисла, *мк*	Цвет окисленных образцов	Коэффициент трения
Неокисленная медь, отожженная в вакууме	—	—	0,36
Закись меди	7	Красно-сиреневый	0,90
	12	Коричнево-бурый	0,97
	0,75	Золотисто-коричневый	0,79
Окись меди	2	Черно-вороненый	0,97

Таблица 5

Коэффициент трения при осаживании бойками из стали твердостью $H_B = 650$ [43]

Смазка	Среднее значение коэффициента трения		Смазка	Среднее значение коэффициента трения	
	медь	алюминий		медь	алюминий
Вазелиновое масло . .	0,15	0,09	1%-ный раствор зеленого мыла в воде	0,09	—
1%-ный раствор олеиновой кислоты в вазелиновом масле	0,07	0,05	Мыло зеленое.	0,09	—
Олеиновая кислота . .	0,06	0,04	1%-ный раствор натрового мыла (стружка) в воде	—	0,04
Технический керосин	0,26	0,30	Триэтаноламин $(HOCH\,CH_2)_3\,N$	0,08	0,03
Трансформаторное масло	0,15	0,14	1%-ный раствор триэтаноламина в воде . . .	—	0,03
Масло машинное С . .	0,12	0,07	Мыло натровое (стружка) . .	—	0,03
Мазут № 9	0,11	0,04	Эмульсия состава: 1,6% масла машинного С; 8% натрового мыла (стружка), 0,2% олеиновой кислоты; остальное вода .	0,10	—
Мазут № 10	—	0,07	1%-ный раствор Na_2CO_3 в воде	0,27	0,24
Вода	0,19	0,14			

Таблица 6

Коэффициент трения при осаживании металлов коническими бойками [43]

Обработка поверхности	Медь	Свинец	Алюминий	Железо
Шлифовка и полировка . .	0,09	0,10	0,3	0,1
Грубая обработка	0,4	0,4	0,4	0,32

Таблица 7

Коэффициент трения при осаживании дуралюмина между плоскопараллельными плитами из стали У8 [23]

Обработка плит	Наличие смазки	Коэффициент трения	
		вдоль направления обработки	поперек направления обработки
Строжка . . .	Без смазки	0,78—0,88	0,91—1,03
	Со смазкой	0,45—0,47	0,50—0,55
Двойная шлифовка . . .	Без смазки	0,51—0,54	0,63—0,71
	Со смазкой	0,21—0,39	0,25—0,44

Таблица 8

Влияние скорости деформации на коэффициент трения при осаживании образцов из дуралюмина [43]

Скорость деформации *м/мин*	Коэффициент трения
0,24	0,22
0,04	0,287
0,005	0,306

Таблица 9

Влияние температуры на коэффициент трения при осаживании дуралюмина [43]

Температура °С	Смазка	Коэффициент трения	
		метод конических бойков	метод осаживания образца до двух степеней сжатия
20	Без смазки	0,31	0,31
200		0,32	0,31
300		0,33	0,33
400		0,34	0,34
20	Смазка эмульсией	0,29	0,28
200		0,30	0,28
300		0,31	0,30
400		0,32	0,32
20	Смазка графитом	0,09	0,08
400		0,15	0,21
500		0,29	0,28

Таблица 10

Коэффициенты трения при осаживании металлов и сплавов при различной температуре и скорости деформации (метод конических бойков) [20]

Температура деформации (в долях от температуры плавления)	Коэффициент трения							
	алюминиевых сплавов		магниевых сплавов		сплавов тяжелых цветных металлов		жаростойких цветных металлов и сплавов	
	v_1	v_2	v_1	v_2	v_1	v_2	v_1	v_2
(0,8—0,9) $T_{пл}$	0,50	0,48	0,40	0,35	0,32	0,30	0,28	0,25
(0,5—0,8) $T_{пл}$	0,48	0,45	0,38	0,32	0,34	0,32	0,26	0,22
(0,3—0,5) $T_{пл}$	0,35	0,30	0,32	0,24	0,26	0,24	0,24	0,20

Примечание. $T_{пл}$ — температура плавления по абсолютной шкале;
v_1 — скорость деформации меньше 1 *м/сек*;
v_2 — то же, больше 1 *м/сек* (ударное воздействие).

Таблица 11

Влияние смазки на коэффициент трения при холодной прокатке металлов (по Рокотяну) [37]

Материал	Без смазки	Со смазкой	
		керосином	минеральным маслом
Медь . . .	0,20—0,25	0,13—0,15	0,10—0,13
Алюминий	0,20—0,30	0,10—0,15	0,08—0,09
Латунь . .	0,12—0,15	0,06	0,05
Цинк . . .	0,25—0,30	0,12—0,15	—

Таблица 12

Коэффициент трения различных металлов при прокатке в момент захвата валками (42) (коэффициент трения определен по формуле $f = \operatorname{tg}\alpha_0$)

Характеристика прокатки	Коэффициент трения
Горячая прокатка меди . . .	0,33
Горячая прокатка латуни . .	0,29
Горячая прокатка алюминия	0,27
Холодная прокатка (грубая)	0,17
Холодная прокатка (более тонкая)	0,09—0,1
Ленточная прокатка (тонкая)	0,05—0,07

Таблица 13

Влияние смазки на коэффициент трения при холодной прокатке металлов [23]

Материал	Без смазки	Со смазкой			
		топленым салом	керосином	воском	машинным маслом
Травленый алюминий в шлифованных валках	0,212	0,112	0,174	0,089	—
Травленый алюминий в валках с налипшим алюминием	0,247	0,124	0,254	0,215	—
Травленая латунь в шлифованных валках	0,109	0,095	0,119	—	0,095
Травленая латунь в валках с налипшей латунью	0,116	0,099	0,129	—	0,126
Нетравленая медь в шлифованных валках	0,123	0,101	—	—	—
Нетравленая медь в валках с медным налетом	0,141	0,108	—	—	—

Таблица 14

Влияние шероховатости поверхности на коэффициент трения при горячей прокатке металлов [23]

Материал	Температура прокатки °С	Валки грубошлифованные	Валки с развитой сеткой	Валки с налипшим металлом
Медь	750—800	0,269—0,329	0,416—0,420	0,545—0,560
Алюминий	400—500	0,227—0,272	0,423—0,466	0,535—0,558

Таблица 15

Коэффициент трения при истечении цветных металлов [21]

Материал	Температура °С	Давление кг/мм²	Коэффициент трения	Материал	Температура °С	Давление кг/мм²	Коэффициент трения
Медь	900	1,5—1,8	0,10—0,12	Латунь Л59	800—750	1,0	0,15—0,18
	850	2—2,25	0,15—0,18		780—700	1,3	0,18—0,21
	800	2,3—2,5	0,15—0,18		750—700	1,4	0,23—0,24
	750	3,0—3,5	0,18—0,22		730—650	1,4	0,25—0,26
Дуралюмин	480	1,5—1,6	0,33—0,35	Латунь Л62	780	1,0—1,2	0,18—0,20
	450	2,0	0,33		750	1,3—1,4	0,24
	400	3,4—3,6	0,25—0,28		700	1,4—1,5	0,26
					600	1,6—1,8	0,28
Латунь Л60	20	1,25	0,20				
				Латунь Л70	20	1,3—1,5	0,20
Алюминий	20	1,5	0,25—0,28				

Таблица 16

Влияние различных смазок на коэффициенты трения при волочении латунной проволоки [45]

Угол конусности матрицы град	Обжатие %	Смазка	Коэффициент трения
2,8	27,3	Натровое мыло	0,042
		10% ный раствор эмульсола в воде	0,067
		Касторовое масло	0,072
		Суспензия графита в масле	0,088
		Гипоидная смазка SAE-90	0,100
3,0	47	Натровое мыло	0,033
		10% ный раствор эмульсола в воде	0,064
		Касторовое масло	0,069
		Суспензия графита в масле	0,095
		Гипоидная смазка SAE-90	0,105
6,1	48	Натровое мыло	0,060
		10% ный раствор эмульсола в воде	0,077
		Касторовое масло	0,081
		Суспензия графита в масле	0,096
		Гипоидная смазка SAE-90	0,110

Таблица 17

Коэффициент трения при волочении медной проволоки с различными смазками [47]

Смазка	Коэффициент трения
Минеральное масло (вязкость 20 сантистоксов при 37,8°)	0,21
Минеральное масло (33,5 сантистокса при 100°)	0,28
Олеиновая кислота	0,23
Стеариновая кислота	0,15
Парафин (точка плавления 57—58°)	0,095
Пчелиный воск (точка плавления 60,5°)	0,086
Хлорированный нафталин (точка плавления 33—139°)	0,14
Ароклор (7 сантистоксов при 100°)	0,28
Нефтяной асфальт (точка плавления 77°)	0,49
Без смазки (с разрушением проволоки)	0,58

Таблица 18

Коэффициент трения при глубокой вытяжке различных металлов со смазкой [39]

Материал	Смазка	Коэффициент трения
Алюминий	Сало	0,10
Медь	Сурепное масло	0,15
Латуни:		
Л85	То же	0,08
Л72	» »	0,12
Л63	» »	0,11

Таблица 19

Коэффициент трения при глубокой вытяжке дуралюмина [41]

Смазка	Коэффициент трения
50% воска + 50% скипидара	0,037
80% ОП65 + 20% веретенного масла	0,052
20% графита + 40% ОП65 + 40% веретенного масла	0,075
20% графита + 40% технического вазелина + 40% веретенного масла	0,075
50% воска + 25% керосина + 25% веретенного масла	0,075
30% воска + 70% скипидара	0,075
20% воска + 80% скипидара	0,077
Нейтральная масляная паста	0,096
20% воска + 80% веретенного масла	0,096
50% ОП65 + 50% веретенного масла	0,096
Веретенное масло 3	0,159
Без смазки	0,22

Таблица 20

Коэффициент трения при свертке алюминия и дуралюмина [33]

Смазка	Коэффициент трения	
	алюминия	дуралюмина
Минеральное масло (машинное, веретенное)	0,15	0,16
Растительное масло (соевое)	0,10	—
Смазка с наполнителями (графит, мел)	0,10	0,08—0,10
Без смазки	0,35	0,22

§ 5. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

1. Физическая природа пластической деформации

Все металлы в твердом состоянии являются веществами кристаллическими, т. е. атомы металлов расположены в определенном порядке и образуют пространственную атомную решетку.

Металлические атомные решетки бывают следующих типов: куб с центрированными гранями (медь, никель, алюминий, свинец и др.), центрированный куб (литий, натрий, ванадий, хром, α- и β-железо, молибден, вольфрам и др.), гексагональная плотноупакованная (бериллий, магний, цинк, титан и др.), тетрагональная (белое олово, марганец), ромбоэдрическая (висмут, сурьма и мышьяк).

Большинство металлов, применяемых в технике, имеют поликристаллическое строение, т. е. представляют собой конгломерат отдельных кристаллов. Вследствие отсутствия условий для свободного роста в процессе кристаллизации каждый кристалл имеет неправильную форму и называется зерном или кристаллитом. Строение кристаллита не является идеальным: пространственная решетка в некоторых местах может быть искажена внедрением атома примесей, в ней могут отсутствовать в отдельных узлах атомы основного металла и т. п.

Особенно большое количество этих первичных несовершенств, так называемых дислокаций, имеется в поверхностном слое зерна, который по своим свойствам и даже химическому составу отличается от сердцевины. Каждое зерно состоит из отдельных блоков, имеющих размер около одного микрона и повернутых один относительно другого на небольшой угол (10—20 мин.), т. е. имеет мозаичную структуру.

Условия деформации поликристаллов характеризуются неоднородностью напряженного состояния зерен поликристалла, различием их свойств, величины и ориентировки, различным состоянием их границ.

Существенное влияние на процесс пластической деформации поликристаллов оказывают следующие факторы:

1. Дефекты в поликристаллическом веществе, наличие которых ведет к сосредоточению напряжений на границах ослабленных мест.

2. Межкристаллитная прослойка в виде посторонних включений, не растворившихся в зернах.

3. Соприкосновение по границам зерен различно ориентированных кристаллических решеток, ведущее к сильному искажению силового поля и повышению сопротивления деформации.

4. Величина зерна поликристалла, которая на практике колеблется от единиц до сотых долей миллиметра и доходит иногда до 10—20 Å (мартенсит); равномерность величины зерна и его форма. Уменьшение величины зерна ведет к увеличению сопротивления деформации благодаря действию сил поверхностного натяжения и сил, создаваемых взаимодействием с окружающими зернами Совокупность этих сил искажает решетку в поверхностных слоях зерна. Неравномерность величины зерна, повышая неравномерность распределения напряжений и деформаций, понижает пластичность.

5. Квазиизотропность металлического вещества, являющаяся следствием его поликристаллического строения и ведущая при соответствующих степенях деформации к текстуре.

Пластическая деформация представляет собой совокупность ряда сложных явлений, к числу которых относится скольжение, двойникование, диффузия и межфазовое перемещение атомов, межкристаллитное перемещение и поворот зерен.

Основным механизмом пластической деформации является скольжение. Скольжение заключается в смещении отдельных частей кристаллита относительно других его частей. Скольжение есть необратимое перемещение атомов под действием сдвигающего напряжения. Скольжение происходит в определенных плоскостях и направлениях, как правило, наиболее усеянных атомами (табл. 21).

Таблица 21

Элементы скольжения металлов и сплавов

Металл или сплав	Тип решетки	Элементы скольжения			
		при 20°		при повышенной температуре добавляются	
		плоскости скольжения	направления скольжения	плоскости скольжения	направления скольжения
Алюминий	Кубическая гранецентрированная	(111)	[10$\bar{1}$]	(100)	[10$\bar{1}$]*
Медь		(111)	[10$\bar{1}$]	—	—
Серебро		(111)	[10$\bar{1}$]	—	—
Золото		(111)	[10$\bar{1}$]	—	—
Никель		(111)	[10$\bar{1}$]	—	—
Свинец		(111)	[10$\bar{1}$]	—	—
α-латунь		(111)	[10$\bar{1}$]	—	—
α-Cu—Al		(111)	[10$\bar{1}$]	—	—
Al—Cu		(111)	[10$\bar{1}$]	—	—
Al—Zn		(111)	[10$\bar{1}$]	—	—
α-железо	Кубическая объемноцентрированная	(110)	[111]	—	—
		(112)	[111]	—	—
		(113)	[111]	—	—
β-латунь		(110)	[111]	(110)	[111]
Молибден		(112)	[111]	(123)	[111]
Калий		(123)	[111]	(110)	[111]
Натрий		(112)	[111]	(123)	[111]
Вольфрам		(112)	[111]	—	—
Магний	Гексагональная плотно-упакованная	(0001)	[2$\bar{1}\bar{1}$0]	(1011)	[2$\bar{1}\bar{1}$0]**
Цинк		(0001)	[2$\bar{1}\bar{1}$0]	(0001)	[2$\bar{1}\bar{1}$0]
Кадмий		(0001)	[2$\bar{1}\bar{1}$0]	—	—
Бериллий		(0001)	[2$\bar{1}\bar{1}$0]	—	—
Zn—Cd		(0001)	[2$\bar{1}\bar{1}$0]	—	—
Zn—Sn		(0001)	[2$\bar{1}\bar{1}$0]	—	—
β-олово (белое)	Тетрагональная	(110)	[001]	—	—
		(110)	[001]	(110)	[111]***
		(101)	[101]	—	—
		(121)	[101]	—	—

* От 450°
** От 225°
*** От 150°

Скольжение представляет собой прерывистое движение, охватывающее пачку атомных слоев (полосу скольжения) соответствующего кристаллографического индекса. Скольжение сопровождается повреждением пачки скольжения, искажением атомной решетки, что вызывает упрочнение. Возникающие в процессе деформации полосы скольжения разбивают кристаллит на отдельные пластинки. Пластинки в процессе деформации повертываются, стремясь занять определенное положение по отношению к действующей силе, т. е. образуется ориентировка (текстура). Если имеется несколько кристаллографических равноправных групп плоскостей, то скольжение начинается в той группе плоскостей, в которой раньше достигается величина критического сдвигающего напряжения. Пластичность металла с увеличением количества возможных плоскостей и направлений скольжения увеличивается, а сопротивление деформации падает. В настоящее время получили распространение теории, объясняющие механизм скольжения в металле как движение первичных несовершенств пространственной решетки (дислокаций) с последующей их разрядкой на внешней границе кристаллов.

Предполагается, что количество дислокаций в процессе пластической деформации увеличивается.

Процесс скольжения часто и неразрывно связан с двойникованием. Двойникование заключается в перебросе относительно так называемой плоскости двойникования узлов решетки одной части кристалла в положение, симметричное другой ее части. При двойниковании не происходит непрерывного изменения ориентировки и кристалл переходит в новое положение почти мгновенно.

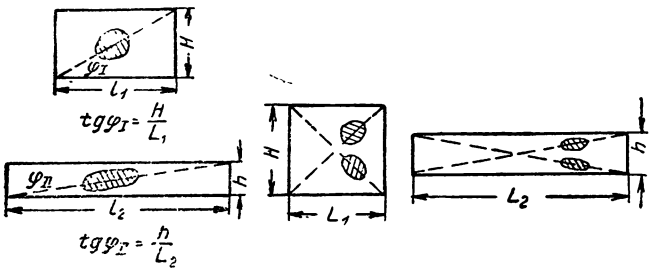


Рис. 5. схема действия геометрического фактора деформации [23]

Повышение скорости деформации и понижение температуры, благоприятный вид напряженного состояния (сдвиг и сжатие) содействуют двойникованию. Наибольшую способность к двойникованию при пластической деформации имеют металлы с гексагональной решеткой и решеткой центрированного куба. Величина возможной пластической деформации при двойниковании незначительна. Двойникование в процессе пластической деформации является предвестником разрушения.

Сдвиговой механизм деформации является преобладающим при низких температурах При повышении температуры (выше 0,3 $T_{пл}$) большое значение приобретают диффузионные процессы. Под действием напряженного состояния процесс диффузионного перемещения атомов облегчается в одном направлении и затрудняется в другом. Предполагается, что на границах блоков мозаичных кристаллитов преобладающим является механизм диффузионной пластичности С повышением температуры выше 0,3 $T_{пл}$ у гетерогенных сплавов может вступить в действие растворно-осадительный механизм пластической деформации. заключающийся в быстром переносе атомов с кристаллов одной фазы на кристаллы другой фазы. Для этого необходимо, чтобы растворимость заметно изменялась либо с температурой, либо с величиной и кривизной поверхности сосуществующих фаз и чтобы диффузионный процесс растворения или обратного осаждения совершался достаточно быстро и успевал протекать во время деформации [12, 13].

Помимо различных видов внутрикристаллитной деформации, может иметь место межкристаллитная деформация, которая состоит во взаимном перемещении отдельных зерен или их групп. Межкристаллитная деформация обычно ведет к нарушению границ и связи между зернами и разрушению, если процесс восстановления границ зерен вследствие рекристаллизации не опережает их нарушения.

2. Упрочнение

Пластическая деформация поликристалла сопровождается упрочнением (наклепом). Процесс упрочнения представляет собой сложное явление, при котором изменяется форма зерен, появляется ориентировка зерен и образуется текстура, появляются дополнительные и остаточные напряжения, изменяются физико-химические и механические свойства и накапливаются внутрикристаллитные и межкристаллитные нарушения. В процессе деформации зерно вытягивается в направлении максимальной главной деформации и развивается волокнистая структура.

Одной из причин волокнистости структуры является действие геометрического фактора деформации [23]. Действие геометрического фактора деформации видно из примера, показанного на рис. 5. Беспорядочно ориентированные до деформации зерна приходят в упорядоченное состояние Плоскости скольжения занимают определенное положение по отношению к действующим силам и появляется определенная ориентировка зерен, так называемая текстура. Характер текстуры определяется в первую очередь схемой главных деформаций и природой кристаллитов. Появление упорядочения ориентировки ведет к анизотропии физико-химических и механических свойств поликристаллов.

С увеличением степени деформации сумма дополнительных и остаточных напряжений первого и второго рода увеличивается, причем при высоких степенях деформации это увеличение идет главным образом за счет напряжений второго и третьего рода.

Процесс деформации сопровождается повреждением пачек скользящих слоев и искажением решетки вблизи пачек, измельчением зерна и накоплением межкристаллитных нарушений. Все это ведет к повышению сопротивления деформации, снижению пластичности и в конечном счете, как правило, к разрушению. В результате пластической деформации уменьшается химическая стойкость и сопротивление коррозии, умень-

шается плотность и изменяется электропроводность.

3. Влияние различных факторов на вид пластической деформации

В процессе пластической деформации, наряду с упрочнением, может происходить разупрочнение. Разупрочнение происходит при повышении температуры в результате возврата и рекристаллизации. Явление возврата заключается в возвращении атомов к местам своего устойчивого равновесия, что ведет к снятию остаточных напряжений (в первую очередь напряжений первого рода), к снижению запаса потенциальной энергии и значительному восстановлению механических и физико-химических свойств.

Явление рекристаллизации состоит в интенсивном обмене атомов решетки местами и ведет к изменению величины и формы деформированных зерен. Рекристаллизация полностью уничтожает результаты упрочнения: 1) зерна вытянутой формы становятся сфероидальными; 2) уничтожается ориентировка (текстура) деформации и связанная с ней анизотропия свойств; 3) снимаются оставшиеся после возврата остаточные напряжения второго и третьего рода и происходит дальнейшее снижение потенциальной энергии; 4) восстанавливаются внутрикристаллитные и межкристаллитные нарушения; 5) восстанавливаются физические и физико-химические свойства, повышается пластичность и понижается сопротивление деформации.

Процесс разупрочнения, т. е. возврат и рекристаллизация, при соответствующих температурах может происходить одновременно с процессом деформации и упрочнения.

Процессы возврата и рекристаллизации происходят во времени с определенной скоростью, зависящей от температуры и природы вещества (наличия примесей). Время разупрочнения в процессе деформации определяется скоростью деформации. Следовательно, степень разупрочнения определяется температурой и скоростью деформации. Чем выше температура, тем больше разупрочнение, чем выше скорость деформации, тем меньше время разупрочнения. Поэтому при анализе процессов деформации факторы температуры и скорости нельзя отрывать друг от друга, а следует рассматривать совместно. Однако повышение скорости и сокращение времени разупрочнения ведет во многих случаях к повышению температуры деформируемого тела в процессе деформации, так как от 75 до 90% всей затраченной энергии превращается в тепло и вызывает повышение температуры. Повышение температуры (температурный эффект) тем больше, чем больше скорость деформации и чем ниже температура (при прочих равных условиях). Чем больше скорость деформации, тем большее количество тепла воспринимается единицей объема в единицу времени и тем меньше времени для рассеивания тепла. Чем выше температура, тем больше рассеивается тепло и тем меньше сопротивление деформации и меньшее количество тепла выделяется на единицу объема. Особенно большое количество тепла выделяется в деформируемом теле в областях, прилегающих к траекториям максимальных сдвигающих напряжений.

Из изложенного следует, что одновременно с процессом упрочнения может происходить разупрочнение, наличие и степень которого определяется температурой и скоростью деформации.

По наличию и степени разупрочнения различают следующие виды деформации [20]:

1. Холодная деформация, в процессе которой происходит упрочнение и не происходит разупрочнения.
2. Деформация, подобная холодной, при которой процесс упрочнения сопровождается процессом возврата.
3. Неполная горячая деформация, при которой в процессе деформации происходит упрочнение, возврат и частичная (неполная) рекристаллизация.
4. Горячая деформация, при которой в процессе деформации происходит упрочнение и полная рекристаллизация, т. е. происходит полное разупрочнение.

Холодная деформация связана с эффектом упрочнения при отсутствии в процессе деформации возврата и рекристаллизации. При холодной деформации зерна металла и примеси вытягиваются в направлении деформации и создается волокнистая структура.

Все показатели сопротивления деформации (предел текучести, предел прочности и др.) повышаются, а показатели пластичности (удлинение, сужение и др.) снижаются. Понижение пластичности связано с накоплением межкристаллитных нарушений, восстановления которых в процессе холодной деформации не происходит. Межкристаллитные и внутрикристаллитные нарушения ведут к уменьшению плотности. Благодаря образованию волокнистой структуры и появлению текстуры создается анизотропия свойств, которая ведет иногда к технологическим затруднениям, например фестонистости при листовой штамповке.

Характер текстуры деформации (которую следует отличать от текстуры рекристаллизации) определяется схемой главных деформаций, типом решетки и химическим составом. Разрушение межкристаллитного вещества и появление текстуры повышает, а межкристаллитные и внутрикристаллитные нарушения понижают электропроводность. Холодная деформация ведет к изменению магнитных свойств: коэрцитивная сила и потери на гистерезис увеличиваются, максимальная магнитная проницаемость уменьшается. Холодная деформация, благодаря накоплению остаточных напряжений, вызы-

вает повышение растворимости и понижение сопротивления коррозии. Холодная деформация ускоряет процесс распада твердых растворов.

Изменения физико-химических свойств холоднодеформированного металла, связанные с накоплением остаточных напряжений и искажением решетки, восстанавливаются путем возврата, т. е. нагрева до $t = (0.25 \div 0{,}3)\ T_{пл}$. Возврат повышает пластичность и понижает сопротивление деформации (если не происходит старения). Возврат понижает растворимость и повышает сопротивление коррозии. Текстура деформации, волокнистость структуры, анизотропия свойств и другие изменения физико-химических свойств, происшедшие при холодной деформации, сохраняются. Полное удаление последствий, связанных с упрочнением при холодной деформации, происходит в процессе рекристаллизации.

При деформации, подобной холодной, в процессе деформации происходит возврат, сопротивление деформации повышается, а пластичность понижается (однако в меньшей степени, чем при холодной деформации). Другие физико-химические свойства изменяются в том же направлении, что и при холодной деформации. Однако степень упрочнения при деформации, подобной холодной, меньше, чем при холодной, ввиду снятия части остаточных напряжений.

При горячей деформации литая дендритная структура разрушается, что ведет к увеличению показателей пластичности в 1,5—2 раза и более. В случае объемного сжатия при горячей деформации происходит некоторое повышение плотности. Структура после деформации получается рекристаллизованная (полиэдрическая). Однако вытянутость примесей в направлении деформации растяжения создает волокнистость (на макрошлифе), а в некоторых случаях ведет к слоистости (шиферности) излома, особенно при объемной штамповке и прессовании. Сопротивление деформации при горячей деформации в 5—10, а иногда в 15 раз меньше, чем при холодной.

Неполная горячая деформация характеризуется неполной рекристаллизацией, что ведет к неоднородности структуры, резкому возрастанию запаса дополнительных (и остаточных) напряжений, снижению механических и физико-химических свойств (пластичности, сопротивления коррозии и т. д.).

При сравнительной оценке видов деформации необходимо указать, что:

1) следует изыскивать возможности горячей деформации, так как сопротивление деформации при горячей деформации значительно меньше, чем при холодной.

2. Следует (как правило) избегать неполной горячей деформации, вызывающей значительный рост остаточных напряжений и снижение механических и физико-химических свойств.

3. После холодной и подобной холодной деформации, дополненной в некоторых случаях соответствующей термообработкой, можно получить, по сравнению с горячей деформацией, более высокие механические и физико-химические свойства обработанного металла.

4. При необходимости применения холодного и подобного холодному деформирования следует отдавать предпочтение деформации, подобной холодной, так как при этом меньше сопротивление деформации и меньше остаточные напряжения.

§ 6. ПРЕДЕЛЬНОЕ НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

1. Условия пластичности

Процесс деформации происходит при наличии в теле напряженного состояния. По мере увеличения напряжения тело упруго деформируется, а при определенном соотношении напряжений наступает необратимое изменение его формы. Процесс пластической деформации происходит в кристаллическом теле только в том случае, если в этом теле действует сдвигающее напряжение определенной величины, зависящей от природы тела и условий деформации [20]. Очевидно, что при трехосном сжатии или растяжении и равенстве главных напряжений ($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$) пластическая деформация не будет происходить, так как сдвигающее напряжение в этом случае равно нулю. При одноосном растяжении для наступления пластического состояния необходимо, чтобы напряжение достигло предела текучести. Соотношения напряжений, при которых наступает пластическое состояние, определялись экспериментально в ряде исследований.

На основании результатов этих исследований было предложено несколько гипотез условий пластичности, т. е. условий наступления пластического состояния. Так называемое энергетическое условие пластичности, разработанное Р. Мизесом, М. Губером и Г. Генки, наиболее обосновано данными, полученными в физике.

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2p^2,$$

где σ_1, σ_2, σ_3 — главные напряжения;
p — истинное напряжение при растяжении.

Величина p отвечает степени деформации, которая имеется в рассматриваемый момент деформации.

Уравнение, называемое уравнением или условием пластичности, в математической форме выражает закон независимости потенциальной энергии изменения формы тела от механической схемы деформации. Уравнение пластичности может быть представлено в другой более удобной для практических целей форме:

$$(\pm \sigma_1) - (\pm \sigma_3) = \beta p,$$

где σ_1, σ_3 — максимальное и минимальное значения главного напряжения;
β — коэффициент, учитывающий влияние среднего значения главного напряжения.

Величина β изменяется в пределах от 1 до 1,155. При $\sigma_1 = \sigma_2$ и $\sigma_2 > \sigma_3$, а также при $\sigma_2 = \sigma_3$ и $\sigma_1 > \sigma_2$ коэффициент $\beta = 1$.

При $\sigma_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}\beta = 1{,}155$.

Величина сдвигающего напряжения, действующая в плоскости октаэдра,

$$\tau = \frac{\sqrt{2}}{3} p.$$

Уравнение показывает, что при пластической деформации величина октаэдрического сдвигающего напряжения не зависит от вида напряженного состояния.

Уравнение пластичности показывает, что металл течет в том направлении, в котором разность между максимальным и минимальным значениями главного напряжения равна истинному сопротивлению деформации. Уравнение пластичности лежит в основе теоретического метода определения удельного давления течения. Из уравнения пластичности вытекает правило наименьшего сопротивления: в случае перемещения точек деформируемого тела в различных направлениях каждая точка деформируемого тела перемещается в направлении наименьшего сопротивления.

Если имеется возможность формоизменения в нескольких направлениях (например, осаживание), то перемещение каждой точки деформируемого тела происходит в направлении кратчайшей нормали к периметру (рис. 6).

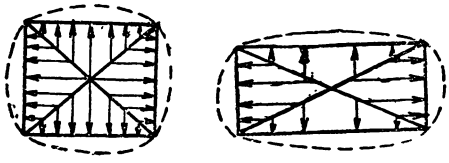


Рис. 6. Перемещение точек деформируемого тела в направлении наименьшего сопротивления (по кратчайшей нормали к периметру)

На основании правила наименьшего сопротивления можно заключить, что сечение тела, подвергаемое осадке, стремится получить форму круга.

2. Закон подобия

Различают условия геометрического, механического и физического подобия. Геометрически подобными являются тела, отношение площадей которых равно квадрату отношения линейных размеров. Закон механического подобия впервые сформулировал в 1874 г. В. Л. Кирпичев [31]. В последующем закон механического подобия был развит Н. Н. Давиденковым [5]. Авторы формулируют этот закон так: механическое подобие при деформировании геометрически подобных тел требует постоянства отношения соответствующих сосредоточенных сил к квадрату размеров и равенства соответствующих внешних давлений, т. е.

$$\frac{P}{a^2} = \text{idem}; \quad k = \text{idem},$$

где P — усилие;

k — удельное давление;

a — один из сравниваемых размеров.

При ударном нагружении необходимо соблюдение дополнительного условия:

$$\frac{v}{a} = \text{idem}; \quad \frac{M}{a} = \text{idem},$$

где v — скорость в начальный момент удара;

M — масса ударяющего тела.

Условия физического подобия тел при пластической деформации следующие:

1. Однообразие химического состава, структуры и фазового состояния.

2. Равенство температуры и скорости деформации.

3. Подобие распределения напряжений.

Подобие распределения напряжений в свою очередь требует:

а) геометрического подобия сравниваемых тел;

б) одинаковой величины внешнего трения;

в) одинакового направления главных осей, одинаковой величины и знака в главных напряжениях в соответствующих точках сравниваемых тел.

В случае подобных условий пластической деформации двух тел, имеющих различные размеры и получающих одну и ту же величину максимальной главной деформации, удельные давления течений равны между собой, отношение деформирующих усилий равно квадрату, а отношение затрачиваемых на изменение формы работ равно кубу отношения линейных размеров тел.

Соблюдение подобных условий деформации (геометрического, механического и физического подобия) является весьма затруднительным. Практически сопротивление деформации и пластичность при соблюдении геометрического и механического подобия, с переходом от малых лабораторных образцов к большим производственным заготовкам, уменьшаются.

§ 7. СОПРОТИВЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ

1. Показатели сопротивления деформации

Показателями сопротивления деформации и разрушения служат напряжения. Напряжения делятся на условные и истинные. Условным напряжением называют отношение нагрузки к площади первоначального сечения, а истинным напряжением — отношение нагрузки к площади сечения в данный момент.

Показатели сопротивления деформации делят на следующие виды:

1. Сопротивление малым пластическим деформациям: предел упругости, предел пропорциональности и предел текучести. Первые два показателя редко привлекаются для технологической оценки металла.

2. Сопротивление значительным пластическим деформациям: предел прочности (условное напряжение), истинное напряжение в момент появления шейки и другие истинные напряжения, определяемые из кривых истинных напряжений, т. е. кривых зависимости истинных напряжений от степени деформации.

Из испытания на растяжение определяют предел прочности

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0},$$

где P_b — максимальная нагрузка;
F_0 — начальное сечение.

Истинное напряжение в момент появления шейки (напряжение шейки):

$$p_ш = \frac{P_b}{F_ш},$$

где $F_ш$ — сечение в момент появления шейки (практически определяется по величине сечения равномерно растянутой части разорванного образца).

Из испытания на растяжение могут быть определены также относительное равномерное удлинение, относительное (полное) удлинение, относительное равномерное сужение (сужение шейки) и относительное (полное) сужение.

Относительное равномерное удлинение

$$\delta_р = \frac{\Delta l_р}{l_0},$$

где $\Delta l_р$ — абсолютное равномерное удлинение (находится по первичной диаграмме);
l_0 — начальная длина расчетной части образца.

Относительное удлинение

$$\delta = \frac{\Delta l}{l_0},$$

где Δl — полное абсолютное удлинение;
l — длина расчетной части образца после испытания.

Относительное равномерное сужение

$$q_ш = \frac{F_0 - F_ш}{F_0}.$$

Относительное сужение

$$\psi = \frac{F_0 - F_р}{F_0}.$$

Величина равномерной деформации показывает пластичность только хрупких металлов (не дающих сосредоточенного сужения), а в общем случае является показателем склонности металла к упрочнению.

Для пластичных металлов показателями пластичности могут служить относительное удлинение и относительное сужение. Более правильно применять в качестве показателя пластичности относительное сужение $\psi = \frac{F_0 - F_р}{F_0}$, так как действительная максимальная главная деформация при растяжении

$$\delta = \ln\frac{l}{L} \cong \frac{F_0 - F_р}{F_0} = \psi.$$

Кроме того, относительное удлинение сильно зависит от соотношения размеров образца, качества его изготовления, пороков материала.

2. Кривые истинных напряжений

На основании испытания на растяжение могут быть построены кривые истинных напряжений, т. е. кривые зависимости истинных напряжений от степени деформации, в том числе кривые истинных напряжений

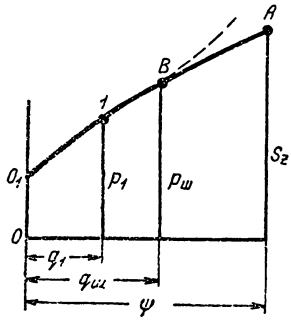


Рис 7. Кривая истинных напряжений второго вида (часть кривой, показанная пунктиром, соответствует повышению сопротивления деформации в области шейки за счет изменения характера нагружения)

первого вида (в координатах p, δ) и второго вида (в координатах p, q).

Кривые истинных напряжений показывают зависимость сопротивления деформации от степени деформации и дают необходимый материал для технологических расчетов, связанных с определением удельного давления и работы деформации.

Для построения кривой истинных напряжений второго вида (рис. 7) вначале наносят основные точки O_1, B и A. Ордината OO_1 соответствует пределу текучести, точка B — моменту появления шейки (координаты $p_ш$, $q_ш$), точка A — моменту разрыва (координаты S_z, ψ).

Ход кривой на участке O_1B (равномерное растяжение) определяют путем пересчета с первичной кривой (рис. 8). Так для определения точки 1 первичной диаграммы (рис. 8) на кривой истинных напряжений

(см. рис. 7) необходимо знать

$$p_1 = \frac{P_1}{F_1}; \quad q_1 = \frac{F_0 - F_1}{F_0}.$$

Величина F_0 известна; P_1 находят по первичной диаграмме (рис. 8); величину F_1 находят на основании условия постоянства объема:

$$F_0 l_0 = F_1 l_1 = \text{const}; \quad F_1 = \frac{F_0 l_0}{l_1};$$

$$l_1 = l_0 + \Delta l_1,$$

где Δl_1 находят по первичной диаграмме (рис. 8).

Таким образом, до точки B можно пересчитать и перенести любую точку с первичной диаграммы на кривую истинных напря-

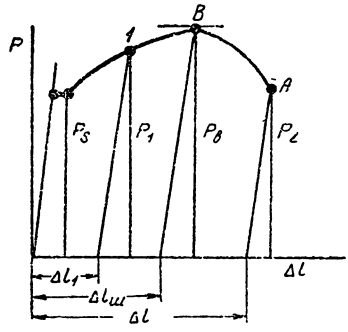


Рис. 8. Первичная кривая растяжения

жений до появления шейки. После точки B, соответствующей моменту появления шейки, до точки A, соответствующей разрыву, пересчет произвести нельзя, так как деформация идет в области шейки и объем, охваченный деформацией, меняется. Точки A и B кривой истинных напряжений обычно соединяют по прямой. Только в особоважных случаях промежуточные точки от B до A находят путем замера промежуточных нагрузок и площадей во время испытания. Приближенно, с достаточной для практики точностью, истинное напряжение можно определить по формуле [20]

$$p = \frac{\sigma_b}{1 - q_ш}\left(\frac{\psi}{q_ш}\right)\frac{q_ш}{1 - q_ш}.$$

Если упрочнение при заданных условиях деформации (температура, скорость) имеется, и степень деформации меньше $q_ш$, следует брать для расчетов величину истинного напряжения, если же степень деформации больше $q_ш$, то с достаточной для практики точностью можно использовать величину σ_b, определяемую из кривых зависимости предела прочности от степени деформации.

При отсутствии упрочнения ($q_ш \cong 0$, горячий вид деформации) следует использовать величину σ_b, определяемую из кривых зависимости предела прочности от температуры.

3. Влияние температуры на сопротивление деформации

С повышением температуры происходит падение показателей сопротивления деформации. Сопротивление деформации с повышением температуры уменьшается по экспоненциальной кривой и выражается формулой

$$\sigma_{t_1} = \sigma_{t_2} e^{\alpha(t_2 - t_1)},$$

где σ — истинное сопротивление при температуре t;

α — температурный коэффициент.

С изменением фазового состояния и переходом от одного вида деформации к другому величина температурного коэффициента, а следовательно, и ход кривой меняются. Если происходит фазовое превращение или изменение вида деформации, зависимость логарифма сопротивления от температуры представится в виде ломаной линии.

4. Влияние скорости на сопротивление деформации

Рассматривая вопрос о влиянии скорости на сопротивление деформации, необходимо иметь в виду, что пластическая деформация сопровождается упрочнением и разупрочнением.

Процесс упрочнения, состоящий из целого ряда явлений, как указывает В. Д. Кузнецов [1, 3], есть процесс атермический. Величина упрочнения определяется природой вещества и степенью деформации.

Процесс разупрочнения (отдыха) связан с возвратом и рекристаллизацией. Величина разупрочнения определяется временем разупрочнения и температурой деформации.

Влияние процессов упрочнения и разупрочнения на сопротивление деформации аналитически может быть выражено в следующем виде [1]:

$$d\sigma = d\sigma_1 - d\sigma_2,$$

где $d\sigma$ — изменение напряжения в процессе пластической деформации;

$d\sigma_1$ — повышение напряжения вследствие упрочнения;

$d\sigma_2$ — понижение напряжения вследствие отдыха.

Повышение скорости, уменьшая время разупрочнения, уменьшает величину $d\sigma_2$, и поэтому сопротивление деформации повышается. При температуре ниже $0{,}25\,T_{пл}$ процесс разупрочнения (возврат и рекристаллизация) практически не происходит. Поэтому влияние скорости на сопротивление деформации при этих температурах невелико. При повышенных температурах роль второго слагаемого значительна и чем больше скорость деформации, тем второе слагаемое меньше, а следовательно, тем больше повышение сопротивления деформации

по сравнению с таковым при небольших скоростях деформации.

Таким образом, повышение скорости, уменьшая возможность разупрочнения, т. е. возможность атомов вернуться к местам своего устойчивого равновесия, повышает сопротивление деформации.

Однако повышение скорости практически иногда вызывает не повышение, а понижение сопротивления деформации. Понижение сопротивления деформации при повышении скорости объясняется повышением температурного эффекта. Температурным эффектом называется повышение температуры деформируемого тела за счет тепла, выделяемого в процессе деформации, т. е. за счет теплового эффекта. Температурный эффект тем больше, чем больше скорость деформации, так как в этом случае меньше времени для рассеивания тепла. Температурный эффект, а поэтому и понижение сопротивления деформации, больше при низких температурах, чем при высоких, так как при низких температурах больше сопротивление деформации, а следовательно, и количество выделяемого тепла на единицу объема.

5. Удельное давление течения

При любом процессе формоизменения можно выделить очаг пластической деформации, т. е. объем, в котором фактически и происходит деформация. Очаг деформации может охватывать как весь объем деформируемого тела, как например при осаживании и истечении (рис. 9), так и его часть,

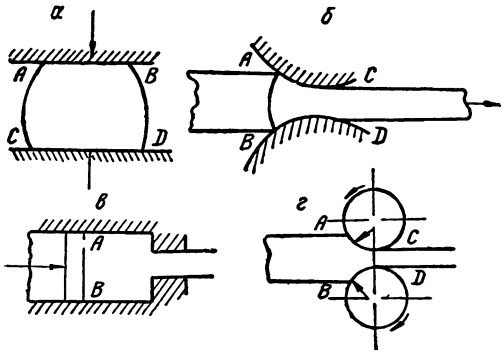


Рис. 9. Поверхность давления при различных технических процессах:
а — осадка; *б* — волочение; *в* — истечение; *г* — прокатка

как это имеет место при волочении, прокатке и других процессах.

Очаг деформации ограничивается поверхностями, которые могут быть как внутренними (например, поверхности *AB* и *CD* при прокатке и волочении), так и внешними (например, все поверхности при осаживании, поверхности *AC* и *BD* при прокатке). Поверхности, воспринимающие внешние приложенные активные силы, называются поверхностями давления (например, поверхности *AB* и *CD* при осаживании, поверхность *CD* при волочении, поверхность *AB* при прессовании, поверхности *AC* и *BD* при прокатке). Давление, создаваемое приложенной из вне (активной) силой на единицу поверхности и необходимое для протекания процесса пластической деформации, называется удельным давлением течения. Удельное давление течения распределяется по поверхности давления неравномерно и обычно его определяют как среднее удельное давление, представляющее отношение действующего усилия к площади давления, т. е.

$$k = \frac{P}{F}.$$

Площадью давления называется проекция поверхности давления на плоскость, перпендикулярную направлению деформирующего усилия.

Величина удельного давления течения определяет сопротивление деформации и работу деформации и лежит в основе всех расчетов прочностных и энергетических параметров машин — орудий для обработки металлов давлением.

Величина удельного давления течения

$$k = \varphi(p, \mu),$$

где μ — коэффициент внешнего трения;
p — истинное сопротивление деформации (определяемое химическим составом и природой материала).

В свою очередь

$$p = \varphi(v, t, z, \delta),$$

где v — скорость деформации;
t — температура деформации;
z — неравномерность напряжений и деформации;
δ — степень деформации.

Удельное давление течения может быть определено экспериментально и расчетным методом.

Экспериментальный метод состоит в определении при помощи соответствующих измерительных приборов фактической величины и распределения удельного давления течения. Этот метод является наиболее точным, однако требует большой затраты времени и средств. Особенно большие затруднения встречаются в случае замера удельных давлений при ударных и других процессах, проходящих с большими скоростями. Впервые идею о непосредственном замере удельных давлений при одном из основных процессов обработки давлением — прокатке, высказал в 1913 г. русский инженер Родзевич-Белевич. В настоящее время наилучшие результаты при определении усилий деформирования дает применение проволочных датчиков и при изучении распределения удельных давлений и напряжений — методы фотоупругости и фотопластичности.

Расчетный метод состоит в использовании эмпирических или полученных аналитическим путем формул.

Эмпирические формулы составляются на основе экспериментально установленных за-

висимостей с подбором зависящих коэффициентов. Основным аналитическим методом определения величины напряжений в пластически деформируемом теле, удельного давления течения и усилий при проведении различных технологических процессов обработки металлов давлением является метод совместного решения дифференциальных уравнений равновесия с уравнениями пластичности. Однако решение указанной системы уравнений представляет значительные трудности.

Для решения плоских задач был предложен и разработан так называемый метод характеристик. В математической теории пластичности доказывается, что характеристики дифференциального уравнения для плоской задачи совпадают с линиями скольжения и имеют два семейства, которые образуют ортогональную систему. Семейства характеристик пересекают направление главных напряжений под углом 45°. Угол между касательными к характеристикам одного семейства в точках пересечения с линиями другого семейства постоянный вдоль протяженности линии. Характеристики образуют с поверхностью, свободной от касательных напряжений, угол $\alpha = \pm 45°$ и с поверхностью, на которой касательные напряжения достигают своего максимального значения,—углы $\alpha_1 = 0$ и $\alpha_2 = 90°$. Метод характеристик может быть применен для определения напряжений, удельных давлений течения и усилий деформирования при отсутствии трения на контактной поверхности [14, 15].

В последнее время для определения удельных давлений и усилий деформирования получили развитие методы решения, предложенные Г. А. Смирновым-Аляевым и Е. П. Унксовым. Первый метод основан на доказанном Г. А. Смирновым-Аляевым положении, что при деформации всего объема металла любая элементарная сфера превращается в эллипсоид, размеры которого в направлении трех главных осей полностью определяют величину и характер формоизменения элементарного шарового объема. Устанавливается связь между напряжениями и деформациями, которая решается графически по методике, предложенной В. М. Розенберг. Применение этого метода при решении практических задач дало результаты, подтвердившиеся экспериментально [16, 33, 44].

Второй метод, названный автором инженерным, основан на приближенном аналитическом определении удельных давлений и усилий деформации. Автор метода исходит из следующих основных положений [24]:

1) приведение схемы деформируемого состояния при заданном технологическом процессе либо к плоскому, либо к симметричному оси деформированному состоянию;

2) использование приближенных уравнений равновесия, выведенных из дифференциальных точных уравнений равновесия при предположении, что нормальные напряжения зависят только от одной из координат;

3) использование при решении уравнения равновесия экспериментально обоснованных граничных условий.

Метод замены проекции сил проекциями поверхностей был предложен И. М. Павловым, применительно к обработке давлением. И. М. Павлов значительно упростил аналитическое определение усилий деформации. Проекция нормального усилия на любое направление равна произведению нормального удельного давления на проекцию поверхности давления на плоскость, перпендикулярную проекции нормального усилия, т. е.

$$P_z = k \Sigma s_x = k S_x,$$

где P_z — проекция нормального усилия;
k — нормальное удельное давление;
S_x — проекция поверхности давления;
s_x — проекция элементарного участка поверхности давления.

Для определения тангенциальных сил (сил трения) следует проектировать поверхность давления не на перпендикулярную, а на параллельную плоскость, т. е.

$$T_x = \mu k S_x,$$

где T_x — проекция тангенциального усилия;
μ — коэффициент внешнего трения.

§ 8. ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ДЕФОРМАЦИИ

Технологический процесс обработки металлов и сплавов давлением определяется в первую очередь термомеханическим режимом деформации.

Под термомеханическим режимом деформации понимается совокупность температурно-скоростного режима и режима обжатий. Оптимальный температурно-скоростной режим определяет, при какой температуре и скорости следует деформировать металл. Режим обжатий определяет, какими степенями деформации следует обрабатывать металл. Оптимальный термомеханический режим деформации должен указать, при каких температурах и скоростях, с какими степенями деформации за одну операцию (пропуск, удар) и в целом следует обрабатывать металл с тем, чтобы получить необходимую форму полуфабриката с требуемыми свойствами при наиболее высоких технико-экономических показателях (выход годного, затрата энергии, производительность).

Для разработки термомеханического режима процесса обработки металла давлением необходимо иметь: диаграмму состояния сплавов, к числу которых относится рассматриваемый; диаграмму пластичности; диаграмму рекристаллизации первого и второго рода и диаграмму сопротивления деформированию.

Диаграмма состояния является исходным материалом при разработке технологического процесса. Диаграмма состояния указывает на принципиальную возможность горячей обработки давлением.

Пользуясь диаграммой состояния, находят температурные интервалы, в которых от-

сутствуют фазовые превращения. Сплав, обработанный в температурном интервале с фазовыми превращениями, имеет пониженные механические свойства, неравномерную структуру и значительный запас потенциальной энергии в виде остаточных напряжений.

Линия солидуса на диаграмме состояния определяет верхний предел интервала горячей обработки, который обычно берут рав-

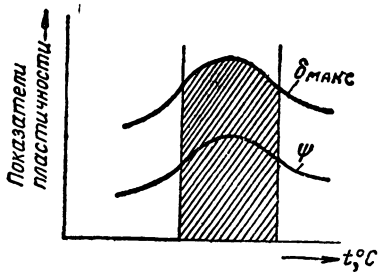


Рис. 10. Диаграммы пластичности: $\delta_{макс}$ — максимальное обжатие при осаживании. ψ — относительное сужение при растяжении (оптимальный температурный интервал обработки заштрихован)

ным 0,9—0,95 $T_{пл}$ ($T_{пл}$ — температура плавления).

Нижний предел температурного интервала обычно берут 0,65÷0,75 $T_{пл}$. Однако условия при построении диаграммы состояния сильно отличаются от условий деформации (высокие давления) и диаграмма состояния дает только качественную характеристику обрабатываемого металла.

Наиболее полное суждение о технологических свойствах металла, в первую очередь о пластичности, дают диаграммы пластичности (рис. 10), предложенные С. И. Губкиным и Е. М. Савицким [20]. По оси абсцисс диаграммы пластичности откладывается температура, а по оси ординат — показатели пластичности. За показатель пластичности следует принимать величину максимальной главной деформации при соответствующем виде нагружения. В большинстве случаев показатели пластичности определяют путем механических испытаний на растяжение и открытое осаживание как наиболее характерных видов нагружения. Характер нагружения при открытом осаживании (сжатии) весьма близок к характеру нагружения при плоской и сортовой прокатке, при открытой ковке, при объемной штамповке (при заполнении полости штампа преимущественно путем осаживания). Растягивающие напряжения являются наиболее опасными, так как служат причиной разрушения. Основными показателями пластичности, определяемыми испытанием на растяжение и сжатие, являются относительное сужение (ψ) и максимальное обжатие ($\delta_{макс}$).

$$\delta_{макс} = \frac{H - h_{тр}}{H},$$

где H — высота образца до испытания;
$h_{тр}$ — высота образца в момент появления первой трещины.

Диаграммы пластичности строятся как для статического, так и для динамического воздействия сил. Диаграммы пластичности дают возможность определить температурный интервал обработки, скоростной режим обработки и при выбранном температурно-скоростном режиме — максимально допустимые обжатия.

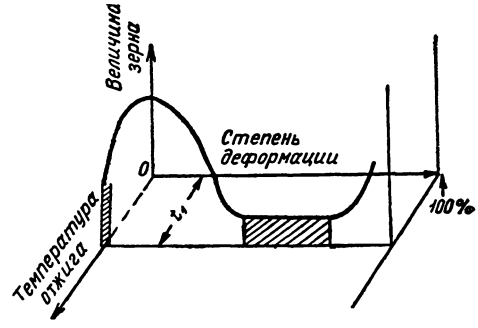


Рис. 11. Диаграмма рекристаллизации первого рода (оптимальные степени деформации перед отжигом при температуре t_1 заштрихованы)

Если термомеханический режим обработки должен обеспечивать равномерную структуру и определенную величину зерна, то при его проектировании необходимо использовать диаграммы рекристаллизации первого и второго рода. Диаграмма рекристаллизации первого рода определяет зависимость величины зерна от степени деформации и температуры нагрева при термообработке, следовавшей за деформацией.

Диаграмма рекристаллизации первого рода (рис. 11) определяет оптимальный режим деформации, дающий, при определенной температуре последующего отжига, равномерную и определенную величину зерна.

Необходимо отметить, что помимо общеизвестного максимума на диаграммах рекристаллизации, находящегося в области небольших степеней деформаций, имеется второй максимум при степенях деформации порядка 95% и выше. Это явление было впервые изучено советскими учеными и исследователями — И. М. Павловым, В. П. Северденко, С. А. Кушакевичем и др.

Диаграмма рекристаллизации второго рода (рис. 12) определяет зависимость величины зерна от степени деформации и температуры обработки (главным образом температуры конца обработки). Диаграмма рекристаллизации второго рода определяет оптимальный режим обжатий, дающий при температуре конца обработки равномерную структуру и определенную величину зерна. При построении диаграмм рекристаллизации часто пользуются испытанием на сжатие. При этом степень деформации определяют изменением геометрических размеров образца, а величи-

ну зерна — в середине сечения образца. Однако имеет место неравномерное распределение деформации, а следовательно, и величина зерна и степень деформации в середине образца не соответствуют средней степени деформации, определяемой геометрическими размерами образца.

На необходимость учета неравномерности распределения деформации при построении диаграммы рекристаллизации указал

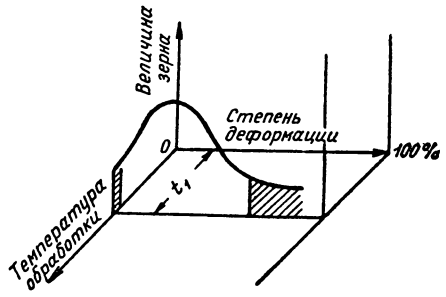


Рис. 12. Диаграмма рекристаллизации второго рода (оптимальные степени деформации при температуре окончания обработки t_1 заштрихованы)

И. М. Павлов. Диаграммы рекристаллизации, построенные с учетом неравномерности величины зерна, получили название истинных диаграмм рекристаллизации.

Для установления наиболее экономичных по затрате энергии термомеханических режимов обработки металлов давлением и определения силовых и энергетических параметров необходимого оборудования, необходимо знать сопротивление металла деформации.

Основными показателями сопротивления деформации являются предел прочности и истинное напряжение в момент появления шейки. Наиболее правильно пользоваться величиной истинных напряжений. Зависимость сопротивления металла деформации от степени деформации и температуры характеризуется диаграммами сопротивления деформации. Диаграммы сопротивления деформации строятся для холодной деформации в координатах показатели сопротивления деформации — степень деформации и для горячей деформации в координатах показатели сопротивления деформации — температура.

При построении и использовании диаграмм пластичности и сопротивления деформации необходимо обращать особое внимание на соответствие условий испытания и обработки в производственных условиях. Необходимо учитывать:

1. Химический состав (содержание основных компонентов и примесей).

2. Исходное состояние (литье, способ литья, характер деформации и вид деформации, последующей за литьем, или деформации при термообработке), изменение исходного состояния в процессе обработки (разрушение литой структуры, возможность перехода в другую фазовую область и т. п.).

3. Характер деформации (горячая, неполная горячая, холодная, подобная холодной). Степень упрочнения в процессе предыдущей обработки.

4. Изменение температурных условий (естественное или искусственное охлаждение, температурный эффект).

5. Скорость деформации (ударное и статическое нагружение) и ее изменение в процессе обработки.

6. Характер напряженного состояния и его изменение.

При определении удельного давления течения с точностью, достаточной для практики, при переходе от малых лабораторных образцов ($k_{лаб}$) к производственным заготовкам ($k_{пр}$) можно пользоваться следующим соотношением:

$$k_{пр} = ak_{лаб}.$$

Величина коэффициента a приведена в табл. 22 [21]

Таблица 22

Величина коэффициента a для определения удельного давления течения по формуле

$$k_{пр} = ak_{лаб}$$

Объем заготовки $дм^3$	a
0—25	1,0
25—100	1,0—0,9
100—1000	0,9—0,8
1000—5000	0,8—0,7
5000—10000	0,7—0,6
10000—15000	0,6—0,5
15000—25000	0,5—0,4
Свыше 25000	0,4

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Д. Кузнецов. Физика твердого тела, т II, Томск, 1941.
2 В. Д Кузнецов. Физика твердого тела, т. IV, Томск, 1944.
3. В. Д Кузнецов. Физика твердого тела, т. V, Томск, 1950.
4. Н Н Давиденков. Динамические испытания материалов. ОНТИ. 1936.
5. Н. Н. Давиденков. Некоторые проблемы механических испытаний материалов, Лениздат, 1943.
6. Я. Б. Фридман. Механические свойства металлов. Оборонгиз, 1952.
7. Я. Б. Фридман. Деформация и разрушение металлов при статических и ударных нагрузках, Оборонгиз, 1946.
8. А. Ф. Иоффе, Физика кристаллов, 1939.
9. С. Т. Конобеевский. ЖЭТФ. т. 13, 1943, № 6.
10. Н С. Курнаков и С. Ф. Жемчужный. Давление истечения и твердость пластических тел, ЖРМО, 1913, № 3.

11. Н. С. Курнаков. Введение в физико-химический анализ, ОНТИ, 1936.
12. А. А. Бочвар. О разных механизмах пластичности в металлических сплавах, Изв. АН СССР, ОТН, 1948, № 5.
13 А. А. Бочвар и З. А. Свидерская. Явление сверхпластичности в сплавах цинка с алюминием, Изв. АН СССР, ОТН, 1945, № 9.
14. А. А. Ильюшин. Пластичность, ОГИЗ, 1948.
15. В. В. Соколовский. Теория пластичности, Гостехиздат, 1950.
16. Г. А. Смирнов-Аляев. Сопротивление материалов пластическим деформациям, Машгиз, 1949.
17. П. П Аносов. Собрание сочинений, Изд. АН СССР, 1951.
18 Д. К. Чернов. Сб. «Д. К. Чернов и наука о металлах», под ред. акад. Н. Г. Гудцова, Металлургиздат, 1950.
19. С. И Губкин. Пластическая деформация металлов, ОНТИ, 1936.
20. С. И. Губкин. Теория обработки металлов давлением, Металлургиздат, 1947.
21. С. И Губкин. Деформируемость цветных сплавов, Изд. АН СССР, 1947.
22. Иг. М. Павлов. Теория прокатки и основы пластической деформации металлов, ГОНТИ, 1938.
23. Иг. М Павлов Теория прокатки (общие основы обработки металлов давлением), Металлургиздат, 1950.
24 Е. П Унксов. Инженерные методы расчета усилий при обработке металлов давлением, Машгиз, 1955.
25. Н. И Корнеев. Пластическая деформация металлов и термический режим обработки давлением сталей и сплавов, Машгиз, 1949.
26. А. Д Томленов Теория пластических деформаций металлов, Машгиз, 1951.
27. А. Надаи. Пластичность и разрушение твердых тел. Перев. с англ. Изд-во иностр. лит., 1954.
28 E. Siebel. Die Forgebung im bildsamen, Zustande der Metalle. Verb. Stahleisen, Düsseldorf, 1932
29. G. Sacks Praktische Metallkunde, Verl. f. Springer, Berlin, 1934.
30. Теория пластичности. Сб. под ред. Ю. Н. Работнова, Изд-во иностр. лит., 1948.
31. В. Л. Кирпичев. Журнал Русского физико-химического общества, VI, 1874.
32. А. И. Целиков. Прокатные станы, Металлургиздат, 1946.
33. Г. А. Смирнов-Аляев. Элементарные основы теории обработки металлов давлением, Лениздат, 1954.
34. Шандор Гелеи. Расчет усилий и энергии при пластической деформации металлов, Металлургиздат, 1958.
35. Ю. Н. Брюханов Основы аналитического метода определения степени деформации, Вестник инженеров и техников, 1949, № 6.
36 М. В. Сторожев и Е. А Попов. Теория обработки металлов давлением, Машгиз, 1957.
37. И. В. Крагельский, И. Э. Виноградова. Коэффициенты трения, Машгиз, 1955.
38. С. И. Губкин и др. Экспериментальные вопросы пластической деформации, вып. I, ОНТИ, Металлургиздат, 1934.
39. Л. А. Шофман. Элементы теории холодной штамповки, Оборонгиз, 1952.
40. А. К. Чертавских. Трение и смазка при обработке металлов давлением, Металлургиздат, 1949.
41. И. Г. Ковалев. Коэффициенты трения при глубокой вытяжке дюралюминия, Экспресс-информация Бюро новой техники, МАП, 1948, № 8.
42. А. А. Пресняков. В сб «Обработка металлов давлением», Металлургиздат, 1952.
43. А. К. Чертавских и К. Н. Кан. Влияние природы окислов и смазки на внешнее трение металлов, ЖТФ, т. 14, 1944, вып. 9.
44. Г. А. Смирнов-Аляев и В. М. Розенберг. Технологические задачи теории пластичности, Лениздат. 1951
45. Baron and Thomson. Friction ih ware, Drawing Journal of Institute of Metals, v. 78, 1950, Dec.
46. Sacks and Horn. Practical Metallurgy, 1944.
47. R. C. Williams. Lubrication, affected by physical properties of lubricants, Wire and wire Products, v. 10, 1935, p. 145.
48. А. В. Бобылев. Коррозионное растрескивание латуни, Металлургиздат, 1956

Раздел третий

ТЕОРИЯ ПРОКАТКИ

Принятые обозначения

Обозначение	Наименование	Размерность
	Геометрические размеры полосы и валков	
h_1	Начальная высота	*мм*
h_2	Конечная высота	*мм*
$h_{ср} = h = \frac{h_1 + h_2}{2}$	Средняя высота	*мм*
h_γ, $h_н$	Высота полосы в критическом (нейтральном) сечении	*мм*
$\Delta h = h_1 - h_2$	Абсолютное обжатие	*мм*
$\frac{\Delta h}{h_1} = \varepsilon$	Относительное обжатие	*мм*
B_1	Начальная ширина	*мм*
B_2	Конечная ширина	*мм*
$\Delta B = B_2 - B_1$	Уширение	*мм*
R, D	Радиус, диаметр валков	*мм*
$l = \sqrt{R\Delta h - \frac{\Delta h^2}{4}}$	Длина горизонтальной проекции дуги захвата. Обычно заменяется длиной хорды $l = \sqrt{R\Delta h}$	*мм*
$a = \psi l$	Плечо приложения равнодействующей давления металла. Выражается в долях l	*мм*
	Углы и коэффициент трения	
θ	Текущий угол от плоскости выхода металла из валков (линии центров)	радиан, градус
$\alpha \approx \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}$; $\cos\alpha = 1 - \frac{\Delta h}{2R}$	Угол захвата; $\sin^2\frac{\alpha}{2} = \frac{\Delta h}{4R}$	радиан, градус
γ	Критический (нейтральный) угол	радиан, градус
β; $\operatorname{tg}\beta = \mu$	Угол трения	радиан, градус
μ	Коэффициент внешнего трения между металлом и валком	—

Продолжение

Обозначения	Наименование	Размерность
	Скорости прокатки, скорости деформации и времена	
$v = \frac{\pi Dn}{60}$	Окружная скорость валков	*м/сек*
v_2	Скорость полосы по выходе из валков	*м/сек*
v_1	Скорость полосы перед входом в валки	*м/сек*
v_γ; $v_н$	Горизонтальная скорость полосы в плоскости критической (нейтральной) точки	*м/сек*
$S = \frac{v_2 - v}{v}$	Опережение	—
u_θ, u_x	Текущая скорость сжатия	сек.$^{-1}$
$u_{ср}$	Средняя скорость сжатия по дуге захвата	сек.$^{-1}$
$\lambda = S + 1$	Скорость выхода полосы из валков, деленная на окружную скорость валков	—
$\tau_{прох}$	Время прохода	сек.
$\tau_{паузы}$	Время паузы	сек.
	Усилия, напряжения	
p_x	Вертикальное удельное давление, действующее на элемент горизонтальной проекции дуги захвата	*кг/мм*^{2}
$p_{ср}$	Среднее удельное давление	*кг/мм*^{2}
σ_x	Горизонтальное напряжение, действующее на элемент высоты полосы	*кг/мм*^{2}
σ_2	Переднее натяжение	*кг/мм*^{2}
σ_1	Заднее натяжение	*кг/мм*^{2}
t_x	Касательное напряжение трения	*кг/мм*^{2}
$k = 1{,}15\ \sigma_s$	Вынужденный предел текучести	*кг/мм*^{2}
σ_s	Предел текучести материала при растяжении	*кг/мм*^{2}
σ_1, σ_2, σ_3	Главные нормальные напряжения	*кг/мм*^{2}
	Силы и моменты	
P	Полное давление металла на валки	*т, кг*
T	Сила трения	*т, кг*
K	Равнодействующая сил P и T	*т, кг*
$M_{ст}$	Статический момент прокатки	*тм, кгм*
$M_{пр}$	Момент прокатки	*тм, кгм*
$M_{тр.ш}$	Момент сил трения в подшипниках валков	*тм, кгм*
$M_{дин}$	Динамический момент	*тм, кгм*
$GD^2_{пр}$	Маховой момент вращающихся деталей стана и якоря, приведенный к валу якоря	*кгм*^{2}

Основные формулы приведения

(К функции от $\frac{l}{h}$)

Если обозначить относительное обжатие $\frac{h_1-h_2}{h_1}=\varepsilon$, то тогда

$$h_2 = h_1(1-\varepsilon);$$

$$h_1 - h_2 = h_1\varepsilon = \Delta h;$$

$$h_1 + h_2 = h_1(2-\varepsilon);$$

$$\sqrt{\frac{R}{h_2}} = \frac{2-\varepsilon}{2\sqrt{(1-\varepsilon)\varepsilon}} \cdot \frac{l}{h};$$

$$\sqrt{\frac{R}{h_1}} = \frac{2-\varepsilon}{2\sqrt{\varepsilon}} \cdot \frac{l}{h};$$

$$\sqrt{\frac{R}{\Delta h}} = \frac{2-\varepsilon}{2\varepsilon} \cdot \frac{l}{h};$$

$$\delta = 2\mu\sqrt{\frac{R}{\Delta h}} = \frac{\mu(2-\varepsilon)}{\varepsilon} \cdot \frac{l}{h};$$

$$\frac{\Delta h}{h_2} = \frac{h_1\varepsilon}{h_1(1-\varepsilon)} = \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}.$$

ГЛАВА I

ОСНОВЫ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ТЕОРИИ ПРОКАТКИ

§ 1. УСЛОВИЯ РАВНОВЕСИЯ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ПОВЕРХНОСТИ СОПРИКОСНОВЕНИЯ МЕТАЛЛА С ВАЛКАМИ, И ЗАХВАТ МЕТАЛЛА

Элементарная теория выводит основные положения прокатки как результат равновесия сил, действующих только на поверхности соприкосновения металла с валками (внешних сил).

В основу математического анализа явлений прокатки элементарная теория кладет три гипотезы.

Первая гипотеза, известная в литературе под названием «гипотеза плоских сечений», формулируется следующим образом: «*Плоские вертикальные сечения полосы перед прокаткой остаются плоскими и не искривляются во время прохождения металла через зев валков*».

Неискривляемость поперечных сечений обусловливает тот факт, что скорость металла по высоте сечения является величиной постоянной. Поэтому первая гипотеза иногда формулируется и следующим образом: «*Скорость металла по высоте сечения в любом вертикальном сечении полосы является постоянной*».

Как будет показано ниже, из этого условия неизбежно следует, что вдоль поверхности соприкосновения металла с валками происходит непрерывное скольжение и на контактной поверхности существует только одна «критическая» точка, в которой скорость металла и скорость валков являются одинаковыми. Поэтому первая гипотеза иногда формулируется и так: «*Вдоль контактной поверхности происходит непрерывное скольжение валков по металлу*».

Вторая гипотеза принимает, что вдоль контактной поверхности происходит сухое трение скольжения с постоянным по величине коэффициентом трения. В связи с этим вторая гипотеза может быть сформулирована так: «*Коэффициент трения имеет постоянную величину вдоль всей контактной поверхности*». Первая и вторая гипотезы сохраняют свою силу и для современной теории прокатки.

Третья гипотеза, коренным образом отличающая элементарную теорию прокатки от современной теории, формулируется следующим образом: «*Радиальное давление металла на валок распределяется равномерно вдоль дуги захвата*».

Последняя гипотеза совместно с гипотезой плоских сечений позволяет в элементарной теории рассматривать процесс прокатки только как процесс однородного сжатия полосы между окружностями валков. Горизонтальные напряжения, возникающие в полосе в результате действия сил трения и создающие неравномерное распределение давлений по дуге захвата, ею не учитываются.

Этим ограничивается возможность применения выводов элементарной теории к реальному процессу прокатки, так как выводы современной теории и экспериментальные исследования показывают, что удельное давление распределяется вдоль контактной поверхности неравномерно и имеет максимальное значение в нейтральной точке.

Рассмотрение выводов элементарной теории является, однако, необходимым для понимания современной теории прокатки.

Анализ сил, действующих между валками и полосой в зеве валков, показывает, что их действие на элемент дуги захвата обусловливается, с одной стороны, радиальным давлением валков на металл p_r, а с другой — проявлением внешнего трения между поверхностью валков и прокатываемой полосой, которое вызывает действие касательных сил трения, протаскивающих металл через зев валков (рис. 1).

Внешнее трение, порождая втягивающие силы трения, является важнейшим фактором при прокатке, и если бы его не было, процесс прокатки был бы невозможен.

Ввиду того, что объем металла, проходящего через любое поперечное сечение в зе-

ве валков, сохраняется постоянным, а толщина полосы до прохода h_1 больше, чем толщина после прохода h_2, скорость v_2, с которой полоса выходит из валков, будет больше скорости v_1, с которой она входит

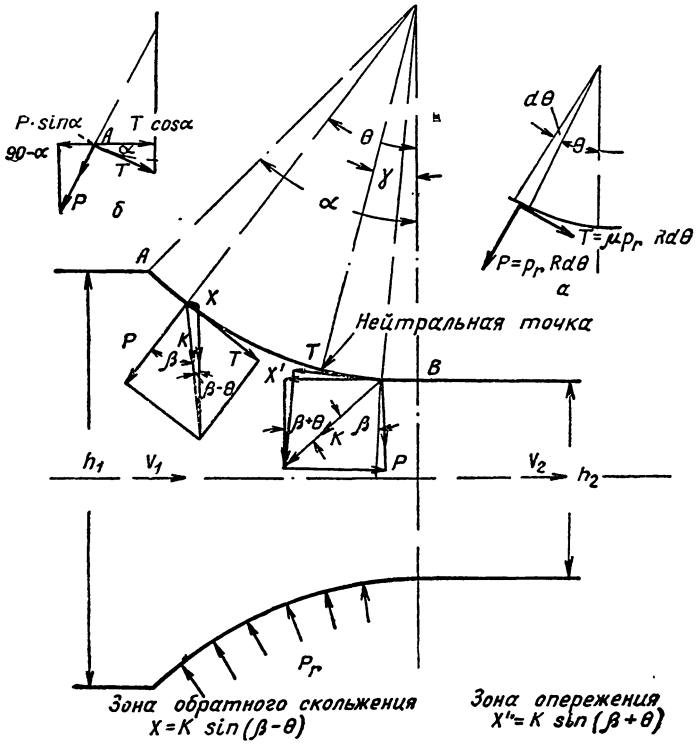


Рис. 1. Силы, действующие на дуге соприкосновения металла с валками

в валки. При захвате полосы скорость может быть не меньше v_1 и не больше v_2 и может лежать между этими крайними значениями.

Принимая гипотезу, что плоские вертикальные сечения полосы перед прокаткой остаются плоскими и не искривляются во время прокатки, можно аналитически доказать, что на дуге соприкосновения металла с валками имеется только одна точка, в которой поверхность валков имеет ту же скорость, что и поверхность полосы. Эта точка называется «нейтральной» точкой, или нескользящей, или критической точкой. Между нейтральной точкой и точкой входа полосы в валки поверхность валков движется быстрее поверхности полосы, и силы трения T между валками и металлом стремятся протянуть полосу между валками.

Наоборот, между нейтральной точкой и точкой, у которой полоса выходит из валков, поверхность полосы движется быстрее, чем окружность валков, и силы трения T между полосой и валками противодействуют выходу полосы из валков. Следовательно, вдоль дуги соприкосновения металла с валками, кроме нейтральной точки, происходит скольжение металла по валкам.

Для определения сил, действующих между полосой и валками, выделим элемент дуги захвата $Rd\theta$, образующий с линией, соединяющей центры валков, угол θ (см. рис. 1,*а*). На единицу ширины элемента будут действовать следующие силы:

$p = p_r\, Rd\theta$ — радиальное давление валков на полосу;

$T = \mu p_r\, Rd\theta$ — касательная сила трения, направление которой зависит от того, находится элемент до или за нейтральной точкой.

Настоящий анализ произведем на основании гипотез, о которых говорилось выше.

1. Радиальное давление p_r принимаем равномерно распределенным вдоль дуги захвата. Это допущение приблизительно правильно для случаев горячей прокатки толстых полос с небольшим обжатием. При горячей прокатке тонких полос и холодной прокатке оно не соответствует действительности.

2. Коэффициент трения μ принимается постоянным по всей дуге захвата. Это допущение также является произвольным, так как в связи с изменением скорости проскальзывания и с возникновением в процессе прокатки новых поверхностей прокатываемой полосы μ изменяется от точки к точке по дуге захвата.

3. Уширением пренебрегаем, так как предполагаем, что ширина полосы во много раз больше ее толщины.

4. Считаем, что оба валка одного диаметра приводные, а скорость прокатки постоянная.

Так как в рассматриваемом случае на полосу не действуют никакие другие силы, кроме передаваемых валками, то очевидно, что в системе, составляемой валками и обрабатываемой частью металла, все силы находятся в равновесии, т. е. все силы, как вертикальные, так и горизонтальные, взаимно уничтожаются.

Отсюда можно сделать два важных вывода:

1. Так как сумма всех горизонтальных сил равна нулю, то равнодействующая давления металла на валки направлена вертикально — вывод, к которому впервые пришли советские исследователи Верещагин и Соболевский.

2. Положение нейтральной точки на поверхности полосы определяется условием, что сумма горизонтальных сил слева от нее будет равна сумме горизонтальных сил справа от нее.

Направление действующих сил является таким, что горизонтальные составляющие X (рис. 1) стремятся втянуть полосу в валки, и величина горизонтальной силы в точке входа A определяет возможность захвата полосы без принудительного вталкивания.

Согласно рис. 1 *б*, в точке входа (точка A) горизонтальная составляющая силы P равна $P\sin\alpha$, а сила трения равна $T\cos\alpha$. Следовательно, сила X_A, втягивающая металл в валки, равна

$$X_A = T\cos\alpha - P\sin\alpha.$$

Захват полосы валками становится невозможным, когда $X_A = 0$, т. е. когда $T\cos\alpha = P\sin\alpha$, или при $\frac{T}{P} = \operatorname{tg}\alpha$, или, наконец, когда $\operatorname{tg}\beta \leqslant \operatorname{tg}\alpha$, где β — угол трения. Захват металла валками возможен только тогда, когда угол захвата будет меньше угла трения. Другими словами, угол трения является предельной величиной угла захвата при прокатке без принудительного вталкивания.

Тот факт, что между точкой входа полосы в валки и нейтральной точкой силы трения втягивают полосу в валки, а между нейтральной точкой и точкой выхода полосы из валков противодействуют ее выходу, приводит иногда к явлению, называемому «заеданием». В этом случае полоса входит в валки до нейтральной точки, где начинают действовать противодействующие силы трения, после чего полоса останавливается и валки начинают буксовать по ее поверхности.

Таким образом, величина коэффициента внешнего трения ограничивает величину обжатия или вытяжки, которую можно получить в данном проходе. Иногда на практике в целях повышения коэффициента трения у обжимных станов на валках делают желобки, врезанные в валки по диагонали, называемые «насечкой», или на валки наваривают неровности. Прокатка затрудняется, когда коэффициент внешнего трения очень мал или очень велик. В первом случае, имеющем место при холодной прокатке с обильной смазкой на шлифованных валках, обычно бывает затруднен захват полосы валками. Наоборот, холодная прокатка на грубых валках и без смазки, когда коэффициент внешнего трения μ является высоким, сопровождается частыми обрывами лент и растрескиванием кромок.

При горячей прокатке, когда коэффициент трения вообще является высоким, в первых проходах на поверхности металла часто возникают неглубокие волосяные трещины, которые окисляются и в последующем уже не свариваются. Это обстоятельство, а также выступающая на поверхность полос внутренняя неплотность слитков приводит к тому, что после горячей прокатки заготовки медных и никелевых сплавов приходится подвергать двусторонней поверхностной фрезеровке.

Вместе с тем вследствие высокой пластичности многие цветные металлы и сплавы способны выдерживать при горячей прокатке очень высокие обжатия без разрушения или раскалывания и без глубоких разрывов кромок. Этот факт впервые был экспериментально установлен С. А. Кушакевичем, который прокатывал вгорячую с обжатием более 50% за проход три марки стали, медь, три марки латуни и алюминиевую бронзу марки Бр.А5. Затем это было подтверждено в работе С. И. Губкина, П. С. Истомина и И. Л. Перлина, которые доказали возможность прокатки меди, цинка и алюминия с обжатиями 70—85% за проход, т. е. возможность применения сверхвысоких обжатий (более 75% за проход), согласно предложенной авторами классификации.

В результате своего исследования С. А. Кушакевич пришел к следующим выводам:

а) горячая прокатка с обжатием более 50% за проход для многих металлов и сплавов не лимитируется их свойствами;

б) несмотря на то, что в этом случае уширение является значительным по величине и подтверждает известный факт, что суммарное уширение при одинаковом общем обжатии меньше в случае прокатки за несколько проходов с небольшими обжатиями, чем в один проход с большим обжатием, оно тем не менее является равномерным. Течение материала происходит равномерно как в длину, так и в ширину, и полоса после прокатки имеет форму сравнительно правильного прямоугольника;

в) увеличение обжатий ограничено прочностью валков, рабочей линией и мощностью главного привода;

г) увеличение обжатий ограничено условиями устойчивого захвата.

Поэтому при прокатке цветных металлов, когда применение насечек на валки или наварок недопустимо, для задачи слитков в валки в первом проходе при больших обжатиях целесообразно в конструкции станов предусматривать специальный механизм — толкатель. Для этих же целей иногда отливают слитки с передним концом в виде клина. [1]

[1] Кроме того, при прокатке прочных алюминиевых сплавов передняя грань слитка в виде клина, служит «замком» против возникающего иногда дефекта, называемого раскрытием

Практикой установлены максимальные значения углов захвата для разных условий прокатки, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость между максимально допустимым углом захвата и величиной $\frac{\Delta h}{D}$ при различных случаях прокатки (А. И. Целиков)

Случай прокатки	Угол захвата, град.	$\frac{\Delta h}{D}$ *
При холодной прокатке со смазкой на хорошо шлифованных валках	3—4	$\frac{1}{700}-\frac{1}{400}$
При холодной прокатке на грубых валках	5—8	$\frac{1}{250}-\frac{1}{100}$
При горячей прокатке листов	15—22	$\frac{1}{30}-\frac{1}{15}$
При прокатке сортового металла	22—24	$\frac{1}{15}-\frac{1}{12}$
При прокатке в валках с насеченной или наваренной поверхностью	27—34	$\frac{1}{9}-\frac{1}{6}$

* $\Delta h = h_1 - h_2$ — обжатие за проход: D — диаметр бочки валков.

§ 2. НЕЙТРАЛЬНАЯ ТОЧКА И КРИТИЧЕСКИЙ УГОЛ

Условие, определяющее положение нейтральной точки, аналитически может быть выражено следующим образом:

$$\sum_{\gamma}^{\alpha} X = \sum_{0}^{\gamma} X_1, \qquad (I.\ 1)$$

где сила X — горизонтальная составляющая всех действующих сил от точки входа до нейтральной точки;

X_1 — то же, от нейтральной точки до точки выхода.

Если θ — угол между радиусом к какой-либо точке дуги захвата и линией, соединяющей центры валков, то, согласно рис. 1, это равенство может быть написано следующим образом:

$$\sum_{\gamma}^{\alpha} K \sin(\beta-\theta) = \sum_{0}^{\gamma} K \sin(\beta+\theta), \qquad (I.\ 1a)$$

где K — равнодействующая сила P и T. Так как

$$K = \sqrt{P^2+T^2} = \sqrt{1+\mu^2}\, p_r R d\theta,$$

где p_r — радиальное давление;

β — угол трения (т. е. $\mu = \operatorname{tg}\beta$);

то, вынося все постоянные величины за знак интегрирования и сокращая, имеем

$$\int_{\gamma}^{\alpha} \sin(\beta-\theta)\, d\theta = \int_{0}^{\gamma} \sin(\beta+\theta)\, d\theta.$$

После интегрирования Экелунд получил

$$\sin\gamma = \frac{\cos(\beta-\alpha)-\cos\beta}{2\sin\beta}. \qquad (I.\ 2)$$

В 1932 г. И. М. Павлов другим методом дал два вывода (аналитический и графический) уравнения, связывающего α, β и

$$\sin\gamma = \frac{\sin\frac{\alpha}{2}\sin\left(\beta-\frac{\alpha}{2}\right)}{\sin\beta} = \frac{\sin\alpha}{2} - \frac{\sin^2\frac{\alpha}{2}}{\mu}. \qquad (I.\ 2a)$$

При малых углах захвата синусы могут быть заменены дугами, следовательно,

$$\gamma = \frac{\alpha}{2} - \frac{1}{\mu}\left(\frac{\alpha}{2}\right)^2, \qquad (I.\ 2б)$$

где γ и α — углы, выраженные в радианах.

Уравнение (I. 2б) получено Экелундом и независимо от него Павловым.

Так как

$$\alpha \approx \frac{\text{хорда дуги захвата}}{\text{радиус валка}} = \frac{\sqrt{R(h_1-h_2)}}{R},$$

то уравнение (I. 2б) приближенно может быть написано также следующим образом:

$$\gamma = \sqrt{\frac{h_1-h_2}{2D}} - \frac{1}{\mu}\,\frac{h_1-h_2}{2D}, \qquad (I.\ 3)$$

где D — диаметр валков;

γ — угол, выраженный в радианах.

И. М. Павлов, Т. Даль, А. И. Целиков различными методами получили другое выражение для критического угла:

$$\sin\gamma = \frac{\mu\sin\alpha+\cos\alpha-1}{2\mu}, \qquad (I.\ 4)$$

которое может быть использовано для исследования условий, при которых $\gamma = 0$ и $\gamma =$ максимуму. Из уравнения (I. 4) непо-

средственно следует, что $\gamma = 0$ или при $\alpha = 0$ или когда $\mu \sin\alpha = 1 - \cos\alpha$, откуда

$$\mu = \operatorname{tg}\beta = \frac{1-\cos\alpha}{\sin\alpha} = \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}.$$

Следовательно, критический угол превращается в ноль, когда $\alpha = 0$ или когда $\alpha = 2\beta$.

Между значениями $\alpha = 0$ и $\alpha = 2\beta$ должен находиться максимум критического угла.

Можно доказать, что $\frac{d\sin\gamma}{d\alpha} = 0$, когда $\alpha = \beta$, т. е. критический угол имеет максимум, когда угол захвата равен углу трения. Подставляя в уравнение (I. 4) значение $\alpha = \beta$, получаем максимальное значение критического угла.

$$\sin\gamma_{макс} = \frac{1}{2}\operatorname{tg}\frac{\beta}{2}, \qquad (I.\ 5)$$

или приближенно

$$\gamma_{макс} = \frac{\beta}{4}. \qquad (I.\ 5а)$$

Так как критический угол становится максимальным при $\alpha = \beta$, а при угле захвата α, большем угла трения β, полоса без вталкивания в валки не войдет, то максимальное значение критического угла γ имеет место только тогда, когда полоса входит в валки без вталкивания.

В том случае, когда полоса вталкивается в зев валков и процесс прокатки устанавливается, прокатка возможна с углом захвата, большим угла трения.

Из уравнения (I. 2б) видно, что при критическом угле $\gamma = 0$ максимально возможный угол захвата достигает величины $\alpha = 2\beta$, или

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{\alpha_{макс.\ уст.}}{\alpha_{макс.\ захв.}} = \frac{\sqrt{\frac{\Delta h_у}{R}}}{\sqrt{\frac{\Delta h_з}{R}}} = 2 \qquad (I.\ 5б)$$

Прокатка с еще большим углом захвата неосуществима: валки будут буксовать по полосе.

Из уравнения (I. 5б) вытекает, что

$$\frac{\Delta h_у}{\Delta h_з} = 4,$$

т. е. максимально возможное обжатие при установившемся процессе прокатки в четыре раза больше обжатия при захвате.

Произведенные в последние годы экспериментальные исследования не подтвердили уравнения (I. 5б). И. Я. Тарновский, А. А. Поздеев и В. В. Ляшков в опытах по прокатке клиновидных прямоугольных свинцовых образцов на лабораторном стане со стальными грубообработанными валками диаметром 210 *мм* получили

$$\frac{\alpha}{\beta} = 1{,}40 \div 1{,}45,$$

а С. В. Макаев в производственных условиях при прокатке на блюминге нашел, что это отношение еще меньше и составляет

$$\frac{\alpha}{\beta} = 1{,}25 \div 1{,}35.$$

Причина этого несоответствия в том, что в начальный момент захвата полосы валками возникает налипание металла на валки и условия равновесия, выводимые из гипотезы плоских сечений, нарушаются. При налипании металла максимальное обжатие за проход зависит не только от коэффициента внешнего трения, но и от размеров полосы.

1. Влияние натяжения на величину критического угла

Уравнение (I. 1а) позволяет учесть влияние натяжения на величину критического угла. Пусть со стороны выхода ленты из валков будет приложено на единицу ширины ленты переднее натяжение величиной σ_2, а со стороны входа ленты — заднее натяжение σ_1; тогда из условий равновесия горизонтальных сил, действующих на прокатываемую полосу, можно написать

$$\sum_{\gamma}^{\alpha} K\sin(\beta-\theta) - \frac{\sigma_1 h_1}{2} = \sum_{0}^{\gamma} K\sin(\beta+\theta) - \frac{\sigma_2 h_2}{2}; \qquad (I.\ 6)$$

$$\int_{\gamma}^{\alpha} \sin(\beta-\theta)\,d\theta - \int_{0}^{\gamma} \sin(\beta+\theta)\,d\theta = \frac{1}{\sqrt{1+\mu^2}\,p_r R}(\sigma_1 h_1 - \sigma_2 h_2).$$

После интегрирования и несложных преобразований получаем

$$\sin\gamma = \frac{\cos(\beta-\alpha)-\cos\beta}{2\sin\beta} + \frac{1}{4\mu\,p_r R}(\sigma_2 h_2 - \sigma_1 h_1). \qquad (I.\ 6а)$$

Соответственно уравнению (I. 2б) уравнение (I. 6а) может быть написано (приближенно) как

$$\gamma = \frac{\alpha}{2}\left(1-\frac{\alpha}{2\mu}\right) + \frac{1}{4\mu\,p_r R}(\sigma_2 h_2 - \sigma_1 h_1). \qquad (I\ 6б)$$

На основании уравнения (I. 6а) можно сделать следующие выводы о влиянии натяжения на величину критического угла:

а) при равенстве переднего и заднего натяжений ($\sigma_2 h_2 = \sigma_1 h_1$) критический угол имеет такую же величину, как и при прокатке без натяжения;

б) переднее натяжение ($\sigma_2 h_2 > \sigma_1 h_1$) увеличивает величину критического угла и, следовательно, отодвигает нейтральную точку от точки выхода металла из валков;

в) заднее натяжение ($\sigma_1 h_1 > \sigma_2 h_2$) уменьшает величину критического угла и, следовательно, приближает нейтральную точку к точке выхода металла из валков.

Необходимо ясно подчеркнуть, что влияние натяжения на процесс прокатки является гораздо более глубоким, чем это видно из уравнения (I. 6а). Как показывают выводы современной теории прокатки, натяжение снижает величину удельного давления металла на валки и вследствие этого уменьшает фактическую площадь соприкосновения металла с валками.

§ 3. ОПЕРЕЖЕНИЕ

За нейтральной точкой скорость полосы больше окружной скорости валков v, следовательно, полоса выйдет из валков со скоростью v_2, большей скорости v. Это явление, наблюдаемое на практике, называется опережением и определяется как отношение

$$S = \frac{v_2 - v}{v} \cdot 100\%,$$

где v_2 — скорость полосы по выходе из валков;

v — окружная скорость валков.

Опережение (как и величина предельного угла захвата) является наиболее очевидным и легко измеримым проявлением внешнего трения.

При нижеследующем определении величины опережения в основу исследования положено, что первоначально плоские поперечные сечения полосы не искривляются при прохождении через зев валков, а распределение удельного давления по дуге захвата равномерно.

Кроме того, принимается:

а) значение коэффициента трения постоянным и неизменяющимся от точки к точке вдоль дуги захвата;

б) уширение настолько незначительным, что им можно пренебречь;

в) что валки абсолютно твердые (недеформирующиеся).

Как видно из рис. 2, v_1 — скорость полосы при входе в валки; v_2 — то же, при выходе из валков; $_\gamma$ — горизонтальная скорость полосы в плоскости нейтральной точки.

Точка на поверхности полосы, находящаяся против нейтральной точки, будет иметь касательную скорость v, равную окружной скорости валков, и горизонтальную скорость

$$v_\gamma = v \cos \gamma.$$

Так как по гипотезе плоских сечений принимается, что скорость полосы по высоте сечения в любом поперечном сечении сохраняется постоянной, то из условий постоянства объема

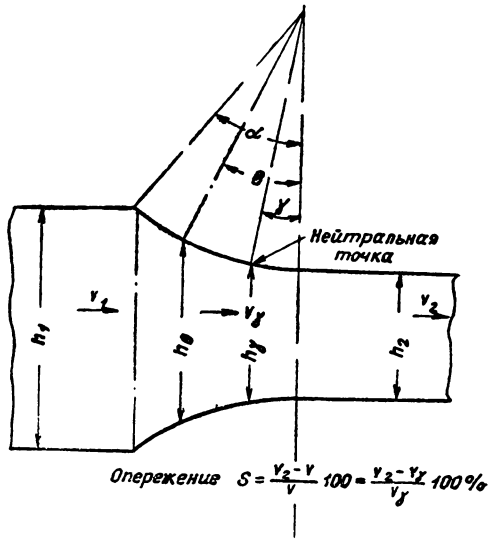


Рис. 2. Определение опережения при прокатке

$$v_1 h_1 = v_2 h_2 = v \cos \gamma \, h_\gamma = v_\theta h_\theta. \quad \text{(I. 7)}$$

Согласно рис. 2,

$$h_\gamma = h_2 + 2R(1 - \cos \gamma),$$

откуда

$$v_2 = \frac{v}{h_2} \cos \gamma \, [h_2 + D(1 - \cos \gamma)]. \quad \text{(I. 7а)}$$

Опережение

$$S = \frac{v_2 - v}{v} = \frac{v_2}{v} - 1 =$$

$$= \frac{h_2 + D(1 - \cos \gamma)}{h_2} \cos \gamma - 1. \quad \text{(I. 8)}$$

Уравнение (I. 8) можно также несколько преобразовать:

$$S = \cos \gamma + \frac{D}{h_2}(1 - \cos \gamma) \cos \gamma - 1 =$$

$$= \frac{D}{h_2}(1 - \cos \gamma) \cos \gamma - (1 - \cos \gamma) =$$

$$= (1 - \cos \gamma)\left(\frac{D}{h_2} \cos \gamma - 1\right). \quad \text{(I. 9)}$$

Для малых углов захвата можно принять, что

$$1 - \cos\gamma = 2\sin^2\frac{\gamma}{2} \approx \frac{\gamma^2}{2};$$

$$\cos\gamma = 1 - \frac{\gamma^2}{2},$$

тогда, подставляя эти значения в уравнение (I. 9) и пренебрегая четвертыми степенями угла γ, получаем приближенное уравнение

$$S = \frac{\gamma^2}{2}\left(\frac{D}{h_2} - 1\right), \qquad (I.\ 9а)$$

где γ — угол, выраженный в радианах.

Так как критический угол γ достигает максимума при угле захвата α, равном углу трения β, то из уравнения (I. 9а) следует, что опережение также будет максимальным при этом значении γ. Согласно уравнению (I. 5а), $\gamma_{макс} = \frac{\beta}{4}$, откуда максимальное значение опережения

$$S_{макс} = \frac{\beta^2}{32}\left(\frac{D}{h_2} - 1\right). \qquad (I.\ 9б)$$

Рис. 3 иллюстрирует теоретическую зависимость опережения от величины коэффициента трения μ, согласно уравнению

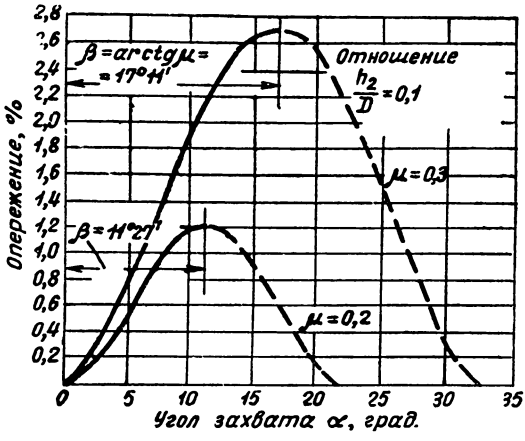


Рис. 3. Кривые опережения в функции от угла захвата, согласно уравнениям (1. 2) и (1. 9а), для $\frac{h_2}{D} = 0{,}1$ и $\mu = 0{,}2$ и 0,3. Кривые действительны для случаев прокатки, когда распределение давления по дуге захвата равномерно

(I. 9а), для отношения толщины к диаметру $\frac{h_2}{D} = 0{,}1$ при $\mu = 0{,}2$ и 0,3. Соответствующие углы трения составляют 11°27′ и 17°11′ и, следовательно, опережение имеет максимальное значение в тех случаях, когда угол захвата будет равен каждой из этих величин.

Этим иногда пользуются для измерений коэффициента трения между валками и полосой. Если производить прокатку с углом захвата, большим угла трения, когда полоса задается принудительно или когда конец ее заострен, то максимальная величина опережения легко может быть найдена и измерена.

На рис. 4 показана зависимость между опережением и обжатием, которая определяется уравнением (I.2) и (I.9а) для отношения $\frac{h_2}{D} = 0{,}056$ при различных значениях μ. Кривые показывают, что опережение возрастает с увеличением коэффициента трения и зависит от обжатия. При $\mu = 0{,}2$ опережение достигает максимума $\sim 2{,}3\%$ при обжатии в 25%, а при $\mu = 0{,}25$ максимальное опережение, равное $\sim 3{,}7\%$, достигается при обжатии в 35%.

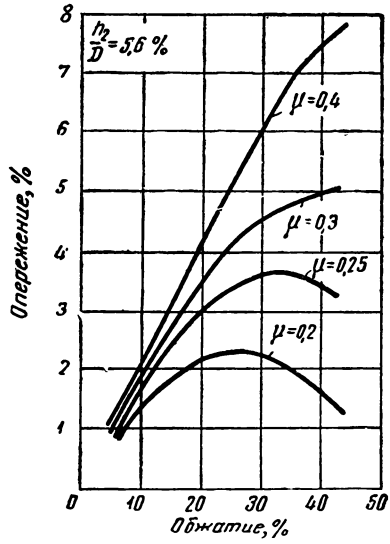


Рис. 4. Кривые опережения в функции от обжатия, согласно уравнениям (I. 2) и (I. 9а), для $\frac{h_2}{D} = 0{,}056$ и $\mu = 0{,}2$; 0,25; 0,3 и 0,4. Кривые действительны для условий, оговоренных для рис. 3.

Теоретическая зависимость опережения от основных факторов прокатки была подробно экспериментально исследована при холодной прокатке ряда цветных металлов И. М. Павловым и Я. С. Галлаем [1]. Их исследование установило хорошее совпадение результатов расчетов по уравнениям (I. 9, I. 9а) с результатами опытов.

1. Влияние натяжения на величину опережения

При холодной прокатке тонких лент, когда $\frac{D}{h_2}$ весьма значительно, уравнение

[1] И. М. Павлов и Я. С. Галлай. Опережение при прокатке, ОНТИ, 1936

(I.9а) может быть упрощено:

$$S = \frac{R}{h_2}\gamma^2. \qquad (I.\ 9в)$$

Из выражений (I. 9в) и (I. 6б) можно сделать следующие заключения о влиянии натяжения на величину опережения:

а) переднее натяжение увеличивает опережение;

б) заднее натяжение уменьшает его величину;

в) влияние натяжения на опережение тем меньше, чем больше коэффициент трения.

Положение, изложенное в пункте «а», было полностью подтверждено исследованием Гэт и Григорьевой, которые прокатывали медные, алюминиевые и свинцовые полосы на лабораторном стане с диаметром валков 200 *мм* без натяжения и с различной величиной переднего натяжения.

Положение, изложенное в пункте «б», иногда наблюдается на практике. Чрезмерная величина заднего натяжения вызывает значительное приближение нейтральной точки к точке выхода полосы из валков вплоть до совпадения с ней. Опережение становится при этом очень небольшим или совсем исчезает. Этим вызывается проскальзывание валков по полосе, в результате чего получаются ленты с испорченной поверхностью. Неравномерная смазка поверхности при этом вызывает явление «дрожания» ленты, что и было установлено при опытных прокатках.

§ 4. СТЕПЕНЬ ДЕФОРМАЦИИ

При прохождении через зев валков полоса деформируется по высоте с h_1 до h_2, так что максимальное обжатие в плоскости выхода из валков составляет $\varepsilon = \frac{h_1 - h_2}{h_1}$.

Текущее обжатие в любой точке с координатой θ определяется из выражения

$$\varepsilon_\theta = \frac{h_1 - h_\theta}{h_1} = \frac{h_1 - h_2 - D(1 - \cos\theta)}{h_1} = \varepsilon - \frac{2R}{h_1}(1 - \cos\theta). \qquad (I.\ 10)$$

На рис. 5 построена кривая изменения высотной деформации ε_θ для следующих условий прокатки: $D = 900$ *мм*, $h_1 = 100$ *мм*, $h_2 = 50$ *мм*, $\Delta h : R = 0{,}111$.

При определении средней величины предела текучести бывает необходимо знать

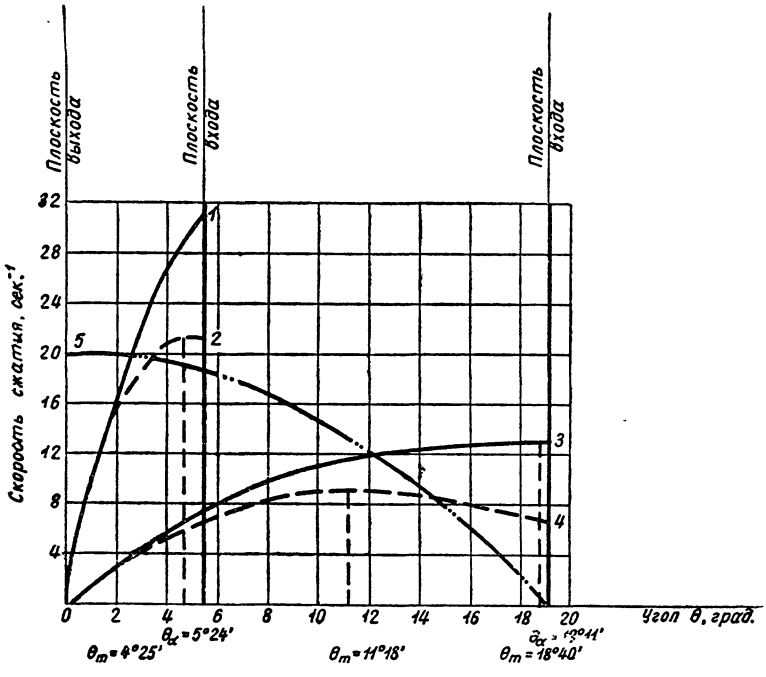


Рис. 5. Изменение скорости сжатия u) и степени деформации ε_θ по длине дуги захвата Диаметр валков 900 *мм*. Сляб за один проход обжимается со 100 до 50 *мм*, полоса с 12 до 8 *мм*. Скорость прокатки 2000 *мм/сек*: *1*, *2* — полоса; *3*, *4* — сляб; *5* — изменение степени деформации ε_θ по дуге захвата

— — — скорость сжатия при гипотезе плоских сечений;

——— скорость сжатия при зоне прилипания вдоль всей дуги захвата

среднюю степень деформации по дуге захвата, которая может быть определена как средняя интегральная из выражения

$$\frac{\varepsilon_{cp}}{\varepsilon} = \frac{h_1 - \left[h_2 + 2\frac{R^2\int_0^{\alpha}(1-\cos\theta)\cos\theta\, d\theta}{R\sin\alpha}\right]}{h_1 - h_2} = \frac{\Delta h - 2R\left(\frac{1}{2} - \cos\alpha - \frac{1}{2}\frac{\alpha}{\sin\alpha}\right)}{\Delta h} \quad (I.11)$$

Делая далее замены

$$\sin\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R} - \frac{\Delta h^2}{R^2}}\ ^{*}, \quad \cos\alpha = 1 - \frac{\Delta h}{2R}$$

и принимая $\alpha \approx \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}$,

получаем выражение Крейндлина

$$\frac{\varepsilon_{cp}}{\varepsilon} = 1 - \frac{2}{\frac{\Delta h}{R}} \times \left(\frac{1}{2} + \frac{\Delta h}{4R} - \frac{1}{2\sqrt{1 - \frac{\Delta h}{4R}}}\right). \quad (I.12)$$

Зависимость средней величины обжатия по дуге захвата $\frac{\varepsilon_{cp}}{\varepsilon}$ от отношения $\frac{\Delta h}{R}$ следующая:

$\frac{\Delta h}{R}$	0,05	0,2	0,4	0,6
$\frac{\varepsilon_{cp}}{\varepsilon}$	0,626	0,629	0,635	0,641

§ 5. СКОРОСТЬ СЖАТИЯ

При прохождении через зев валков полоса сжимается по высоте с определенной скоростью u, которая может быть определена как отношение элементарной деформации dh_θ к мгновенной высоте h_θ в бесконечно малый промежуток времени dt, т. е.

$$u = \frac{1}{h_\theta} \cdot \frac{dh_\theta}{dt} = \frac{1}{h_\theta} \cdot v_h \text{сек.}^{-1}. \quad (I.\ 13)$$

Величины текущей и средней скорости сжатия рассмотрим раздельно, принимая гипотезу плоских сечений и наличие зоны прилипания вдоль всей дуги захвата.

1. Скорость сжатия при гипотезе плоских сечений

Пренебрегая уширением, можно определить горизонтальную скорость любого поперечного сечения v_θ по уравнению

$$v_0 = \frac{v\cos\gamma\, h_\gamma}{h_\theta}.$$

В то же время вертикальная скорость сжатия вертикального сечения составит

$$v_h = 2v_\theta \operatorname{tg}\theta,$$

откуда

$$v_h = \frac{2v\cos\gamma\, h_\gamma \operatorname{tg}\theta}{h_\theta}. \quad (I.\ 14)$$

Подставляя значение v_h в уравнение (I. 13), получаем

$$u_\theta = \frac{2h_\gamma}{h_\theta^2} v\cos\gamma\operatorname{tg}\theta = \frac{2}{h_\theta^2}\operatorname{tg}\theta\, h_2 v\lambda, \quad (I.\ 15)$$

где v — окружная скорость валков,
S — опережение;

$$\lambda = \frac{\text{Скорость выхода полосы из валков}}{\text{Окружная скорость валков}} = S + 1.$$

Уравнение (I. 15) представляет собой точное аналитическое выражение величины скорости сжатия в любой точке дуги захвата, образующей угол θ с вертикальной линией, соединяющей центры валков. В каком-либо определенном проходе, когда h_2, v и λ являются величинами постоянными, скорость сжатия изменяется от точки к точке вдоль дуги захвата по закону

$$u_\theta = \frac{k\operatorname{tg}\theta}{h_\theta^2} = \frac{k\operatorname{tg}\theta}{[h_2 + D(1-\cos\theta)]^2}, \quad (I.15a)$$

где k — коэффициент, равный $2h_2 v\lambda$.

Из уравнения (I. 15а) следует, что в точке входа металла в валки при $\theta = \alpha$

$$u_\alpha = \frac{k\operatorname{tg}\alpha}{[h_2 + D(1-\cos\alpha)]^2} = \frac{2h_2 vk\operatorname{tg}\alpha}{h_1^2},$$

а в точке выхода металла из валков при $\theta = 0$ скорость сжатия падает до нуля.

В настоящее время при определении влияния скорости сжатия на величину предела текучести обычно пользуются средней величиной скорости сжатия вдоль дуги захвата. Последняя величина может быть определена как средняя интегральная величина из следующего выражения:

$$\int_0^{\alpha} u_\theta\, d\theta = \int_0^{\alpha} \frac{2h_2}{h_\theta^2}\lambda v\operatorname{tg}\theta\, d\theta, \quad (I.\ 16)$$

---

* Точное выражение для угла захвата $\alpha = \arcsin\sqrt{\frac{\Delta h}{R} - \frac{\Delta h^2}{4R^2}}$; однако точное решение больше приближенного на 2,7% при $\frac{\Delta h}{R} = 0{,}6$ и лишь на 0,8% при $\frac{\Delta h}{R} = 0{,}2$

откуда

$$u_{ср} = \frac{\int_0^{\alpha} 2h_2\lambda v \frac{\operatorname{tg}\theta\, d\theta}{[D(1-\cos\theta)+h_2]^2}}{\alpha} \quad \text{I. 16а)}$$

После интегрирования и преобразований получаем уравнение Крейндлина

$$u_{ср} = \frac{2h_2 v\lambda \left[(h_2+D)\frac{\Delta h}{h_1 h_2} + \right.}{(h_2+D)^2\alpha}$$

$$\frac{\left. + \ln \frac{h_1}{h_2 \cos\alpha} \right]}{(h_2+D)^2\alpha} \text{ сек.}^{-1}., \qquad \text{(I. 17)}$$

где α — угол, выраженный в радианах.

Выражение (I. 17) дает точную величину среднего значения скорости сжатия, получающегося, когда сжатие происходит между окружностями валков, но оно слишком сложно для практического пользования. На практике обычно пользуются более простым выражением, получающимся при замене окружности валков хордой, соединяющей точки входа и выхода металла из валков. При малых значениях угла θ можно принять

$$\sin\theta = \operatorname{tg}\theta = \frac{x}{R}.$$

При замене дуги захвата хордой

$$h_x = h_2 + 2x\frac{x}{2}.$$

Если пренебречь опережением, уравнение (I. 15) превращается в следующее:

$$u_x = \frac{2h_2 v}{\left(h_2 + \frac{x^2}{R}\right)^2} \cdot \frac{x dx}{x}. \qquad \text{(I. 18)}$$

Среднее значение скорости деформации вдоль горизонтальной проекции дуги захвата

$$u_{ср} = \frac{2h_2 v}{Rl} \int_{x=0}^{x=l} \frac{x dx}{\left(h_2 + \frac{x^2}{R}\right)^2} =$$

$$= \frac{2h_2 v}{R\sqrt{R\Delta h}} \times$$

$$\times \left[-\frac{R^2}{2} \cdot \frac{1}{x^2 + \frac{x^2}{Rh_2}} \right]_{x=0}^{x=\sqrt{R\Delta h}} =$$

$$= \frac{v}{h_1}\sqrt{\frac{\Delta h}{R}}. \qquad \text{(I. 19)}$$

Уравнение (I. 19) представляет собой формулу Тринкса, независимо от него полученную А. И. Целиковым.

Легко увидеть, что физически скорость сжатия по уравнению (I. 10) определяется следующим образом

$$\frac{\text{Обжатие}}{\text{Начальная толщина}} \times$$

$$\times \frac{1}{\text{Время соприкосновения}},$$

где время соприкосновения (сек.) представляет собой время, необходимое какой-либо точке на поверхности касания для прохождения пути, равного горизонтальной проекции дуги захвата.

Известная в литературе формула С. Экелунда для определения средней величины скорости сжатия построена аналогично:

$$\frac{\text{Обжатие}}{\text{Средняя толщина полосы}} \times$$

$$\times \frac{1}{\text{Время соприкосновения}}$$

и пишется следующим образом:

$$u_{ср} = \frac{2v}{h_1 + h_2}\sqrt{\frac{\Delta h}{R}}. \qquad \text{(I. 20)}$$

Чтобы оценить, насколько близки результаты, полученные по уравнениям (I. 19) и (I.20) к точному значению $u_{ср}$, определенному по уравнению (I. 17,) рассмотрим случай прокатки полос на двухвалковом стане с диаметром валков 900 *мм* и окружной скоростью 2 *м/сек*, с постоянным абсолютным обжатием $\Delta h = 50$ *мм*, но при четырех различных значениях h_1 и h_2. Тогда угол захвата α будет постоянным и равным 19°15′, или $\alpha = 0{,}336$ (в радианах), а угол опережения $\gamma = 6°$.

В табл. 2 приведены результаты расчетов по указанным формулам.

Таблица 2

Сравнение средней величины скорости сжатия $u_{ср}$, определенной по различным уравнениям

h_1 *мм*	h_2 *мм*	$\frac{\sqrt{R\Delta h}}{h_{ср}}$	Среднее значение скорости сжатия, сек.$^{-1}$, при вычислении по уравнениям		
			(17)	(19)	(20)
250	200	0,668	2,78	2,66	2,96
200	150	0,858	3,51	3,83	3,80
150	100	1,2	4,74	4,43	5,33
100	50	2,0	7,43	6,66	8,85

При сравнении видно, что уравнение (I. 19) дает более низкие, а уравнение (I. 20) более высокие значения скорости сжатия, чем более точное уравнение (I. 17). Поэтому очень точное значение скорости сжатия может быть получено как среднее арифметическое значений, полученных по уравнениям (I. 19) и (I. 20).

2. Скорость сжатия при зоне прилипания, охватывающей всю дугу захвата

Поскольку по условию окружная скорость валков и полосы одинакова, то для определения скорости сжатия действительно выражение

$$u_\theta = \frac{1}{h_\theta} v \sin\theta \cdot 2;$$

$$h_\theta = h_2 + D(1 - \cos\theta); \qquad (I.\ 21)$$

$$u_\theta = \frac{2v \sin\theta}{h_2 + D(1 - \cos\theta)}.$$

Из уравнения (I. 21) следует, что в точке входа металла в валки при $\theta = \alpha$

$$u_\theta = \frac{2v \sin\theta}{h_2 + D(1 - \cos\theta)}, \qquad (I.\ 22)$$

а в точке выхода металла из валков при $\theta = 0$ скорость сжатия становится равной нулю. Легко показать, что

$$\frac{du_\theta}{d\theta} = 0 = \cos\theta(h_2 + D) - D.$$

Откуда следует, что уравнение (I. 21) проходит через максимум при $\cos\theta = \frac{D}{h_2 + D}$.

При малых углах захвата максимум лежит близко от точки входа металла в валки, при больших углах захвата он значительно смещается к стороне выхода.

Точное выражение величины средней скорости деформации может быть получено путем интегрирования выражения (I. 21) вдоль дуги захвата

$$u_{ср} = \frac{\int_0^\alpha \frac{2v \sin\theta\, d\theta}{h_2 + D(1 - \cos\theta)}}{\alpha}.$$

После интегрирования и преобразований получается

$$u_{ср} = \frac{v}{R\alpha} \ln\frac{h_1}{h_2}, \qquad (I,\ 23)$$

где α — угол, выраженный в радианах.

Заменяя дугу захвата $R\alpha$ ее хордой $l = \sqrt{R\Delta h}$, получаем приближенное выражение средней скорости деформации

$$u_{ср} = \frac{v}{\sqrt{R\Delta h}} \ln\frac{h_1}{h_2}. \qquad (I.\ 24)$$

Если заменить дугу захвата хордой, выражение для $u_{ср}$ приобретает вид

$$u_{ср} = \frac{\int_{x=0}^{x=l} \frac{2v\frac{x}{R}}{h_2 + \frac{x^2}{R}}\, dx}{l},$$

при интегрировании которого получается выражение (I. 24).

3. Сравнение скорости сжатия по обеим гипотезам

Сравнение изменения скорости сжатия вдоль дуги захвата

Для такого сравнения построены кривые изменения скорости сжатия вдоль дуги захвата по обеим гипотезам (см. рис. 5) при следующих условиях прокатки:

а) на стане с валками 900 *мм* со скоростью прокатки 2 *м/сек* широкого сляба с начальной толщины 100 *мм* до толщины 50 *мм* (обжатие 50%);

б) на том же стане 900 *мм* с той же скоростью 2 *м/сек* в один проход широкой полосы с начальной толщины 12 *мм* до конечной толщины 8,0 *мм* (обжатие 33%).

Из рассмотрения рис. 5 можно сделать следующие выводы.

1. При прокатке тонких полос скорость сжатия больше, чем при прокатке слябов.

2. Скорость сжатия при наличии прилипания вдоль всей дуги захвата выше, чем при гипотезе плоских сечений, причем вблизи плоскости выхода металла из валков в обоих случаях скорость одинакова, но разница непрерывно растет, достигая максимума в плоскости входа.

Сравнение средних величин скорости сжатия

Наибольшая наглядность при сравнении средних скоростей сжатия достигается, если их представить в функции от отношения $l : h$.

Для гипотезы плоских сечений расчетную величину скорости сжатия определим как среднее арифметическое из значений ее, определенных по уравнениям (I. 19) и (I. 20).

Пользуясь заменами $\sqrt{\frac{\Delta h}{R}} = \frac{2\varepsilon}{2 - \varepsilon} \cdot \left(\frac{l}{h}\right)^{-1}$ и $\frac{R}{h_1} = \frac{(2 - \varepsilon)^2}{4\varepsilon} \cdot \frac{l^2}{h^2}$, получаем следующее выражение:

$$u_{ср} = \frac{v}{2}\sqrt{\frac{\Delta h}{R}}\left(\frac{1}{h_1} + \frac{2}{h_1 + h_2}\right) = \frac{2\pi}{120} n \frac{4 - \varepsilon}{2} \cdot \frac{l}{h}. \qquad (I.25)$$

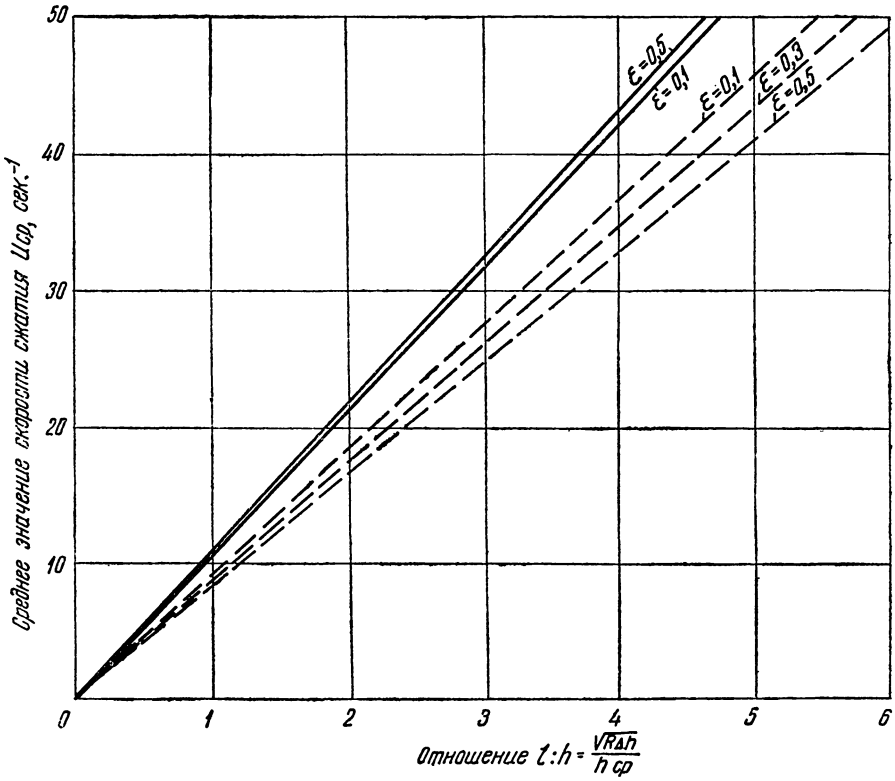


Рис. 6. Сравнение средней величины скорости сжатия по гипотезе плоских сечений и при зоне прилипания вдоль всей длины дуги захвата по уравнениям (I. 25а) и (I. 26а) при числе оборотов валков $n = 100$ об/мин:
——— при зоне прилипания вдоль всей дуги контакта; — — — по гипотезе плоских сечений

При $n = 100$ об/мин

$$u_{ср} = 5{,}235 \frac{4-\varepsilon}{2} \cdot \frac{l}{h}. \qquad (I.25а)$$

Если зона прилипания охватывает всю длину дуги захвата, уравнение для $u_{ср}$ преобразуется следующим образом:

$$u_{ср} = \frac{v}{\sqrt{R\Delta h}} \ln \frac{h_1}{h_2} =$$

$$= \frac{2{,}303 \cdot 2\pi}{120} n \frac{2-\varepsilon}{\varepsilon} \lg \frac{1}{1-\varepsilon} \cdot \frac{l}{h}.$$

Величина $\frac{2-\varepsilon}{\varepsilon} \lg \frac{1}{1-\varepsilon}$ изменяется в зависимости от ε следующим образом

ε	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\frac{2-\varepsilon}{\varepsilon} \lg \frac{1}{1-\varepsilon}$	0,869	0,872	0,877	0,888	0,903

Тогда уравнение для определения $u_{ср}$ может быть представлено в виде выражения

$$u_{ср} = \frac{2{,}3 \cdot 2\pi}{120} n (0{,}869 \div 0{,}903) \frac{l}{h}. \qquad (I.26)$$

При $n = 100$ об/мин валков

$$u_{ср} = (10{,}47 \div 10{,}83) \frac{l}{h}. \qquad (I.26а)$$

На рис. 6 нанесены прямые $u_{ср}$ по уравнениям (I. 25а) для гипотезы плоских сечений при $\varepsilon = 0{,}1$, 0,3 и 0,5 и (I. 26а) для зоны прилипания вдоль всей дуги захвата при $\varepsilon = 0{,}1$ и $\varepsilon = 0{,}5$, из которого видно, что средняя величина скорости сжатия при наличии сплошного прилипания несколько выше, чем при гипотезе плоских сечений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. С. Рокотян. Сборник «Прокатные станы и технология прокатки», Машгиз, 1955.
2. S. Ekelund Steel Aug. ets, 1933, vol 93
3. С. А. Кушакевич. Применение сверхобжатий при прокатке. Металлург. 1939 № 10—11
4. А. И. Целиков. Прокатные станы, Металлургиздат, 1947.
5. И. М. Павлов. Металлург, 1932, № 8, 10 и 11.
6. Т. Даль. Положение критического сечения в зависимости от коэффициента внешнего трения. Материалы по теории прокатки, ч. III. стр. 49—55.
7. Б. П. Бахтинов. Сталь, 1957, № 9.
8. Н. Н. Крейндлин. Сталь, 1949, № 9.
9. Сб. «Деформируемость цветных сплавов». Изд. АН СССР, 1947.

ГЛАВА II

ОСНОВЫ СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ ПРОКАТКИ

§ 1. ВЫВОД ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ УДЕЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

Современная теория прокатки представляет собой попытку дать научный метод расчета давления металла на валки. Она не вводит никаких эмпирических коэффициентов, и для выполнения расчета какого-либо прохода, кроме размеров полосы и валков, необходимы лишь две определяемые экспериментально величины, имеющие ясный физический смысл:

а) величина коэффициента внешнего трения;

б) величина предела текучести металла в данном проходе.

Вместе с тем современная теория прокатки включает целый ряд определенных упрощений реального процесса прокатки[1]. Можно указать на следующие главные допущения, принимаемые современной теорией:

а) в основу математического анализа кладется гипотеза плоских сечений о постоянстве горизонтальных скоростей отдельных частиц металла по высоте сечения; при определенных условиях прокатки эта гипотеза не оправдывается;

б) коэффициент внешнего трения μ принимается постоянным по дуге захвата;

в) уширением пренебрегают, так как принимается, что ширина полосы значительно больше ее толщины;

г) «сплющивание» валков не учитывается, и предполагается, что фактическая длина дуги захвата не больше теоретической, рассчитанной для случая абсолютно твердых валков; при прокатке тонких листов и лент с высоким пределом текучести этот пункт явно не соответствует действительности.

Пункты «а — г» такие же, какие принимались при разработке элементарной теории прокатки; кроме этого, в современной теории приняты и другие допущения:

д) пренебрегается влиянием внешних зон полосы, что при малых отношениях $l:h$ (<1) приводит к большому занижению удельных давлений;

е) углы захвата предполагаются небольшими, но, как показывают расчеты, это условие не вводит больших погрешностей, даже при горячей прокатке, когда углы захвата могут достигать 22—24°;

ж) принимается, что предел текучести σ_s является постоянным вдоль дуги захвата; это допущение означает, что при холодной прокатке не учитывается влияние наклепа в течение прохода, а при горячей прокатке — скорости и степени деформации, т. е. принимается, что предел текучести не зависит от скорости сжатия и относительного обжатия в проходе, изменяющихся, как было показано ранее, вдоль дуги захвата по сложной зависимости;

з) вводятся математические упрощения.

Изложение современной теории прокатки обычно дается в сложной математической форме, которая сама по себе не всегда понята, однако ее основные идеи весьма просты. Если элементарная теория прокатки выводит свои положения из условий равновесия внешних сил, действующих на элемент поверхности соприкосновения металла с валками, то современная теория рассматривает условия равновесия элементарного столбика металла, находящегося в зеве валков.

На рис. 7 показан вертикальный столбик прокатываемой полосы $abcd$ толщиной dx и шириной (поперек полосы), равной единице, находящийся между плоскостью входа полосы в валки и нейтральной точкой. Рассмотрим действующие на него силы, чтобы установить закон распределения вертикального давления p_x между металлом и валками для любой точки дуги захвата с координатой x.

Действующее на элемент дуги ab радиальное напряжение вызывает на концах сечения dx площадью $\frac{dx}{\cos\theta}$ действие радиального давления $p_r\frac{dx}{\cos\theta}$ и соответствующего ему касательного усилия трения $t_x\frac{dx}{\cos\theta}$.

Одновременное действие этих усилий создает на концах сечения dx результирующую горизонтальную силу, равную

$$2\left(p_r\frac{dx}{\cos\theta}\sin\theta - t_x\frac{dx}{\cos\theta}\cos\theta\right), \quad (II.1)$$

которая стремится протащить полосу через валки и вызывает в полосе появление горизонтальных напряжений сжатия. На боковую поверхность сечения dx высотой h будет действовать горизонтальное напряжение σ, а на боковую поверхность сечения $(x+dx)$ — соответственно $\sigma+d\sigma$.

Допущение, что поперечные сечения полосы не искривляются при прохождении через зев валков, позволяет рассматривать деформацию выделенного элементарного столбика только как его равномерное сжатие валками по высоте. В связи с этим делаются дальнейшие допущения:

а) вертикальные столбики полосы рассматриваются как бы отделенными один от другого вертикальными гранями, скользящими без трения по соседним столбикам; напряжениями сдвига в этих гранях пренебрегают;

б) скорость любой точки столбика по высоте вертикальной грани будет постоян-

[1] Все упрощения, которые положены в основу вывода дифференциального уравнения удельного давления, с исчерпывающей полнотой исследуются в книге А. Я. Хейна [8].

ной, а на этом основании принимается равномерное распределение средних нормальных напряжений сжатия, действующих по сторонам h и $(h + dh)$ сечения dx[1].

На рис. 7 сила $p_x dx$ представляет собой вертикальную составляющую силы $p_r \frac{dx}{\cos\theta}$;

$p_x dx = p_r \frac{dx}{\cos\theta} \cos\theta = p_r\, dx$, откуда следует,

После подстановки этого выражения в формулу (II. 2), пренебрегая бесконечно малыми величинами второго порядка, получим

$$\frac{d\sigma}{dx} - \frac{p_x - \sigma_x}{h} \cdot \frac{dh}{dx} \pm \frac{2t_x}{h} = 0, \quad \text{(II.4)}$$

где знак минус перед последним членом относится к зоне опережения, а знак плюс — к зоне обратного скольжения.

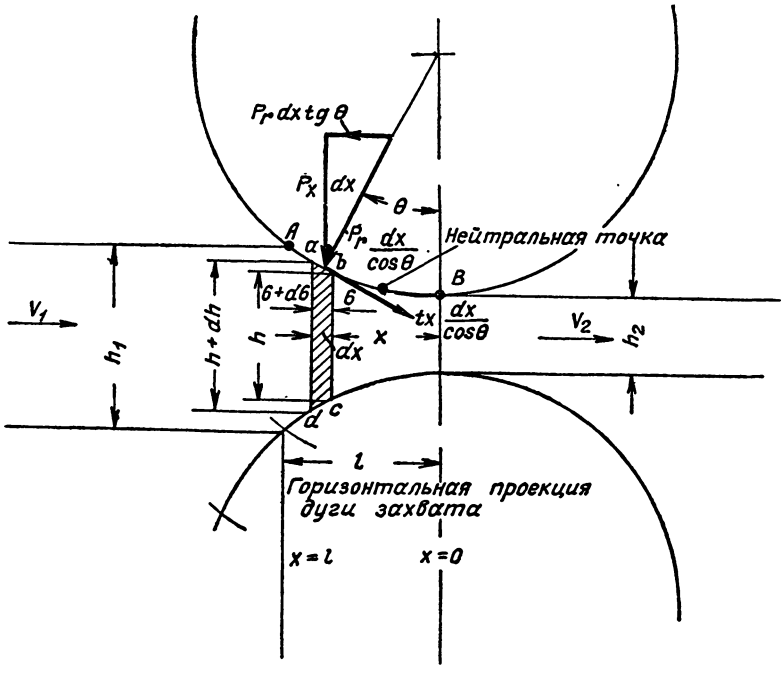


Рис. 7. Условия равновесия элементарного столбика металла, находящегося в зеве валков

что $p_x = p_r$, т. е. что радиальное удельное давление p_r, действующее на элемент дуги захвата, равно вертикальному давлению d_x, действующему на горизонтальную проекцию элемента дуги захвата. Тогда сумма горизонтальных проекций всех сил, действующих на элемент dx, выразится

$$\Sigma_x = 0 = (\sigma + d\sigma)\cdot(h + dh) - h_x\sigma_x - \\ - 2p_x \operatorname{tg}\theta\, dx + 2t_x dx. \quad \text{(II.2)}$$

При малых значениях угла θ можно принять

$$\sin\theta \approx \operatorname{tg}\theta = \frac{x}{R};$$

тогда

$$h_x = h_2 + \frac{x^2}{R}, \quad \text{(II.2a)}$$

откуда

$$\frac{1}{2}\frac{dh}{dx} = \frac{x}{R} = \operatorname{tg}\theta. \quad \text{(II.3)}$$

[1] Это условие является первым основным допущением, принятым Карманом.

Для решения уравнения необходимо найти зависимость между удельным давлением p_x и напряжением σ_x. Допущение равномерного сжатия для этой цели позволяет воспользоваться уравнением пластичности при сдвиге, выведенным на основании четвертой теории предельного состояния. Каждая точка металла, находящегося в зеве валков, подвержена действию трех главных напряжений σ_1, σ_2 и σ_3.

При допущении гипотезы плоских сечений одно из главных напряжений σ_1 всегда будет направлено вертикально, а два остальных — в горизонтальной плоскости: σ_3 — по направлению прокатки и σ_2 — перпендикулярно к нему. Если же происходит искривление вертикальных сечений столбика, то направление главных напряжений (которые остаются всегда взаимно перпендикулярными) будет внутри полосы изменяться вдоль дуги захвата. В этом случае вертикальное сечение полосы уже не будет являться главной площадкой напряжений.

Условие, при котором начинается пластическая деформация по четвертой теории

предельного состояния, определяется:

$$(\sigma_1+\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+$$
$$+(\sigma_3-\sigma_1)^2=2k_f^2, \qquad (II.5)$$

где символом k_f обозначен предел текучести σ_s при растяжении.

Допущение, что уширение равно нулю, означает, что равна нулю поперечная деформация ε_2, определяемая уравнением

$$\varepsilon_2=\frac{1}{E}[\sigma_2-n(\sigma_1+\sigma_3)]=0, \qquad (II.6)$$

где E — модуль упругости;
n — коэффициент.

Отсюда

$$\sigma_2=n(\sigma_1+\sigma_3). \qquad (II.7)$$

При малых смешанных объемах в условиях пластической деформации $n=1/2$ (при упругих деформациях n равен коэффициенту Пуассона). Следовательно,

$$\sigma_2=\frac{\sigma_1+\sigma_3}{2}.$$

После подстановки этого выражения в уравнение (II. 5) получается

$$\sigma_1-\sigma_3=\frac{2}{\sqrt{3}}k_f\approx 1{,}15k_f. \qquad (II.8)$$

Величину 1,15 k_f, называемую «вынужденным пределом текучести», в дальнейшем будем обозначать просто k.

Тогда

$$\sigma_1-\sigma_3=k. \qquad (II.9)$$

Уравнение (II. 9) представляет собой условие, необходимое для начала пластической деформации в том случае, если уширение равно нулю и если напряжениями среза пренебречь.

При прокатке (см. рис. 7) вертикальное напряжение, приходящееся на элемент площади dx, составляет

$$\sigma_1=\left(p_x\frac{dx}{\cos\theta}\cos\theta\pm\right.$$
$$\left.\pm t_x\frac{dx}{\cos\theta}\sin\theta\right)\frac{1}{dx}. \qquad (II.10)$$

Если пренебречь вторым членом правой части этого уравнения, т. е. вертикальной составляющей силы трения ввиду его незначительной величины по сравнению с первым членом, то тогда

$$\sigma_1=p_x;$$

откуда по уравнению (II. 9)

$$\sigma_3=\sigma_x;\quad p_x-\sigma_x=k. \qquad (II.11)$$

Чтобы оценить влияние напряжений среза, выразим условие начала пластической деформации (II. 9) в величинах главных напряжений.

С этой целью рассмотрим те главные напряжения, которые действуют на элементарный столбик металла, расположенный у контактных поверхностей (рис. 8).

Рассматриваемый элемент испытывает действие нормальных напряжений p_x и σ_x и напряжений сдвига $t_x=\mu p_x$, действующих в плоскостях напряжений p_x и σ_x.

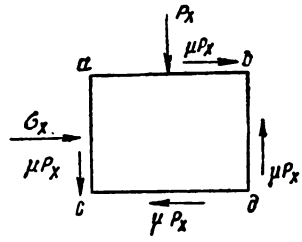


Рис. 8. Нормальные и касательные напряжения, действующие на элементарный столбик металла, расположенный у контактной поверхности

Тогда главными напряжениями, соответствующими этой системе напряжений, будут:

а) наибольшее главное напряжение, действующее на площадку ab:

$$\sigma_1=\frac{p+\sigma}{2}+\sqrt{\frac{(p-\sigma)^2}{4}+\tau^2};$$

б) наименьшее главное напряжение, действующее на площадку ac под углом 90° к площадке ab:

$$\sigma_3=\frac{p+\sigma}{2}-\sqrt{\frac{(p-\sigma)^2}{4}+\tau^2}.$$

Согласно уравнению (II. 9), условие начала пластической деформации

$$\sigma_1-\sigma_3=k=$$
$$=2\sqrt{\frac{(p-\sigma)^2}{4}+\tau^2}, \qquad (II.12)$$

откуда, если принять, что вдоль дуги происходит сухое трение и $t_x=\mu p_x$, следует

$$(p_x-\sigma_x)^2+4\mu^2p_x^2=k^2. \qquad (II.13)$$

В связи с тем, что коэффициент трения μ незначителен, член $4\mu^2p_x^2=(2t_x)^2$ может быть опущен, т. е. действием скалывающих напряжений можно пренебречь.

Однако из уравнения (II. 13) непосредственно следует, что

$$\mu p_x<\frac{k}{2}. \qquad (II.14)$$

Это выражение ограничивает возможность применения уравнения (II. 9) в тех случаях, когда $\mu p_x\geqslant\frac{k}{2}$.

Таким образом, из выражения (II. 14) следует, что сила трения $t_x=\mu p_x$ в какой-

либо точке не может быть больше, чем предел текучести металла при сдвиге $\tau = \frac{k}{2}$ в этой точке. При выводе дифференциального уравнения удельного давления мы пренебрегаем этим условием, и этот факт служит причиной несоответствия некоторых теоретических выводов с результатами опытов.

Подставляя значение $p_x - \sigma_x = k$ в уравнение (II.4), получаем основное дифференциальное уравнение удельного давления

$$\frac{d(p_x - k)}{dx} - \frac{k}{h} \cdot \frac{dh}{dx} \pm \frac{2t_x}{h} = 0. \quad (II.15)$$

Если принять, что вынужденный предел текучести k не изменяется от точки к точке вдоль дуги захвата, то

$$d\sigma_x = dp_x.$$

Тогда в окончательном виде уравнение А. И. Целикова будет

$$\frac{dp_x}{dx} - \frac{k}{h} \cdot \frac{dh}{dx} \pm \frac{2t_x}{h} = 0, \quad (II.16)$$

где знак минус перед последним членом относится к зоне опережения, а знак плюс — к зоне обратного скольжения.

Уравнение (II.11) соответствует случаю прокатки полосы без переднего и заднего натяжения. На основании принятого допущения следует, что горизонтальное напряжение σ_x, действующее на элементарный столбик полосы в плоскости входа металла в валки и в плоскости выхода, равно нулю, так как в этих плоскостях силы трения исчезают [1]. Отсюда по уравнению (II.11) следует, что в этих точках $p_x = k$, т. е. вертикальное давление полосы на валки в плоскости входа и выхода равно вынужденному пределу текучести прокатываемой полосы.

Влияние на вертикальное напряжение p_x переднего σ_2 и заднего σ_1 натяжений, изменяющих величину горизонтальных напряжений сжатия σ_x, может быть найдено по условию пластической деформации:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = k.$$

В плоскости входа металла в валки $\sigma_3 = -\sigma_1$ (знак минус берется потому, что в рассматриваемом случае напряжения растяжения считаются отрицательными).

Следовательно, в плоскости входа

$$p_x - (-\sigma_1) = k_1 \quad \text{или} \quad p_x + \sigma_1 = k_1.$$

Аналогично в плоскости выхода

$$p_x + \sigma_2 = k_2,$$

где k_1 и k_2 — пределы текучести при данных условиях деформации до и после прокатки, умноженные на коэффициент 1,15.

Это означает, что натяжение уменьшает то давление, с которым валки должны давить на полосу для обеспечения заданного обжатия.

§ 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ПО ДУГЕ ЗАХВАТА ПРИ СКОЛЬЖЕНИИ С СУХИМ ТРЕНИЕМ

Решение выведенного дифференциального уравнения (II. 16) требует установления зависимости t_x от p_x. Этот вопрос сложен и практически мало исследован.

В литературе известны три различные зависимости, принимаемые для сил трения.

По первой зависимости принимается, что сила трения является постоянной по дуге захвата, т. е. $t_x = \text{const}$. Обычно величины давлений, определяемые этой зависимостью, получаются низкими. Поэтому эта зависимость не играла большой роли до последнего времени, пока не было хорошо осознано, что величина силы трения не может превышать значения $t_x = \mu p_x = \frac{k}{2}$. Теперь она приобрела очень большое значение. Теории прокатки, основанные на этой зависимости, будут рассмотрены в § 5 главы III.

Согласно второй зависимости, принимается что силы трения пропорциональны разности скоростей: переменной горизонтальной скорости v_x полосы в зеве валков и окружной скорости v валков, т. е.

$$t_x = \frac{\eta}{\delta}(v_x - v), \quad (II.17)$$

где η — вязкость смазки, принимаемая как среднее значение для соответствующих давлений прокатки;

δ — толщина слоя смазки.

Приведенная зависимость является весьма предположительной и в настоящее время практического значения иметь не может. Поэтому эта зависимость не рассматривается.

Наилучшее совпадение с экспериментальными исследованиями при холодной прокатке с малым коэффициентом трения дает зависимость, по которой принимается, что между металлом и валками происходит сухое трение, т. е. сила трения $t_x = \mu p_x$, причем предполагается, что коэффициент внешнего трения μ остается постоянным вдоль всей длины дуги захвата.

Условие постоянства величины μ недостаточно обосновано. Даже при настоящем уровне наших знаний о природе внешнего трения, когда еще очень многое остается неясным, кажется вполне вероятным, что вместе с изменением в зеве валков состояния поверхности полосы, давления и скорости скольжения коэффициент μ изменяется от точки к точке вдоль дуги захвата.

[1] Это наиболее серьезный недостаток современной теории, так как в этом пункте не учитывается действие внешних зон. Между тем, под влиянием зон в крайних сечениях возникают значительные продольные внутренние напряжения, изменяющиеся по высоте сечения (см. рис. 45). При отношениях $l : h < 1$, когда влияние внешнего трения невелико, эти напряжения оказывают основное влияние на величину p_x и обусловливают их значительный рост.

Это подтверждают математические исследования изменения коэффициента внешнего трения по длине дуги захвата, произведенные Брауном на основании экспериментальных кривых распределения удельного давления по дуге захвата.

Рассмотрим одну такую экспериментальную кривую, полученную Люэгом при следующих условиях. Прокатка отожженной алюминиевой полоски размером 30 × 2 *мм* осуществлялась без смазки на стальных полированных валках диаметром 180 *мм* (угол захвата $\alpha = 6°5'$). Размер полоски после прокатки получился 30,8×1,0 *мм*. Радиальное давление, измеренное при этом опыте, показано на рис. 9.

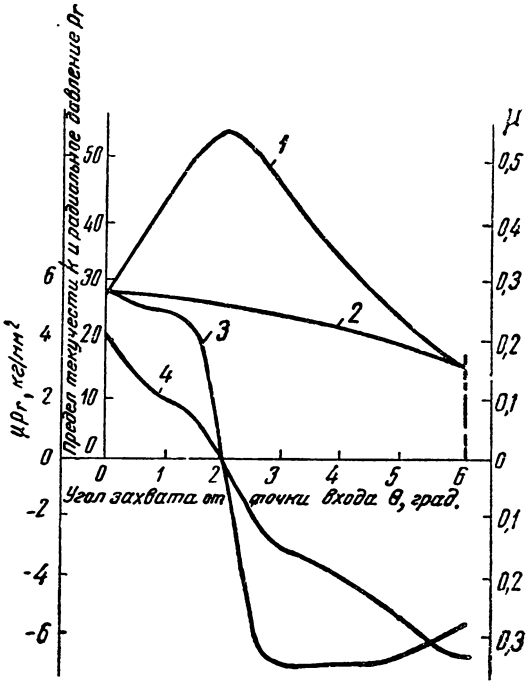


Рис. 9 Теоретическое изменение коэффициента внешнего трения по дуге захвата, рассчитанное по опытам Люэга (прокатка алюминия без смазки):
1 — радиальное давление p_r, *2* — вынужденный предел текучести k; *3* — тянущая сила трения $\mu p_r = t_x$; *4* — коэффициент внешнего трения μ

Если предположить, что допущения, положенные в основу дифференциального уравнения удельного давления, целиком справедливы, а сила трения $t_x = \mu p_x$, можно рассчитать для каждой точки дуги захвата то значение μ, которое при подстановке в дифференциальное уравнение должно дать измеренное значение радиального давления p_r.

Действительно, из дифференциального уравнения легко получить для зоны обратного скольжения

$$2\mu p_r = k\frac{dh_x}{dx} - h\frac{dp}{dx} \qquad (II.18)$$

и для зоны опережения

$$2\mu p_r = h\frac{dp}{dx} - k\frac{dh_x}{dx}. \qquad (II.19)$$

Так как для любой точки с координатой x

$$R(h_x - h_2) = x^2,$$

то

$$\frac{dh_x}{dx} = \frac{2x}{R}. \qquad (II.20)$$

По уравнению (II. 20) для каждой точки вычислялось значение $\frac{dh_x}{dx}$, а значение $\frac{dp_r}{dx}$ определялось путем нахождения наклона кривой измеренных значений p_r, нанесенных в функции от угла θ.

На рис. 9 в функции от угла θ приводится величина k, определенная Люэгом сжатием цилиндрических образцов между коническими бойками. Соответственно условию пластичности $\sigma = p_r - k$, разность между величиной p_r и k в любой точке дуги захвата равна горизонтальному напряжению сжатия, возникающему в этой точке в результате внешнего трения.

Подстановкой в уравнения (II. 18) и (II. 19) соответствующих значений $\frac{dh}{dx}$, $\frac{dp}{dx}$, h и k была определена величина μ в каждой рассматриваемой точке. Кривая $\mu = f(\theta)$ (см. рис. 9) показывает, что величина μ изменяется вдоль дуги захвата от 0,3 у входа до 0,15 в центре, становясь равной нулю в критической точке и вновь увеличиваясь до 0,2 в плоскости выхода.

Максимум давления закруглен, и поэтому в критической точке вместе с величиной μ становится равной нулю и сила трения, протаскивающая металл через валки. Но при подстановке в уравнения (II. 18) и (II. 19) среднего значения $\mu = 0{,}14$, постоянного для всей дуги захвата, можно получить распределение давления, близкое к экспериментальному. Это обстоятельство имеет большое практическое значение, так как всегда можно подобрать такое значение μ, которое даст хорошее совпадение теоретической и экспериментальной кривых распределения давления.

Такой подход к решению задачи тем более оправдан, что коэффициент внешнего трения, зависящий от многих факторов, не был точно определен непосредственным измерением в условиях прокатки или в условиях, целиком аналогичных прокатке[1].

При подстановке в уравнение (II, 16) значения $t_x = \mu p_x$ и $y = \frac{h}{2}$ получаем уравнение

$$\frac{dp_x}{dx} - \frac{k}{y}\frac{dy}{dx} \pm \frac{\mu}{y}p_x = 0. \qquad (II.21)$$

[1] См § 4 главы VI.

Общее решение этого линейного неоднородного дифференциального уравнения находится двумя квадратурами и имеет вид

$$p_x = e^{\pm\int\frac{\mu}{y}dx} \times$$

$$\times\left(c+\int\frac{k}{y}e^{\pm\int\frac{\mu}{y}dx}dy\right), \quad (II.22)$$

где c — постоянная интегрирования, определяемая из начальных условий; знак минус относится к зоне опережения, а знак плюс — к зоне отставания.

Для точного решения в уравнение (II. 22) необходимо подставить координаты дуги захвата, т. е. дуги окружности. Однако интегрирование уравнения (II. 22) в этом случае без значительных математических упрощений невозможно.

А. И. Целиков дал два решения уравнения (II. 22): а) при замене окружности валка параболой; б) при замене окружности валка хордой.

1. Решение Целиковым уравнения (II. 22) при замене окружностей валков параболической кривой

В этом случае дуга захвата приравнивается параболе с вершиной, расположенной в точке B, и ветвью, проходящей через точку A (см. рис. 7), так что ее уравнение будет $y = ax^2 + b$, причем постоянные коэффициенты, определяемые прохождением параболы через точки A и B, будут

$$a = \frac{\Delta h}{2l^2} \quad \text{и} \quad b = \frac{h_2}{2}.$$

Соответственно этому

$$dy = 2axdx = \frac{\Delta h}{l^2}xdx.$$

Квадратная парабола очень близка к окружности, так как при $x = 0$ она имеет с окружностью общую касательную и одинаковый радиус кривизны.

Проекция длины дуги захвата равна для окружности

$$l = \sqrt{R(h_1 - h_2 - \left(\frac{h_1 - h_2}{2}\right)^2},$$

для параболы

$$l = \sqrt{R(h_1 - h_2)}.$$

Следовательно парабола слегка спрямляет окружность.

Вставляя значения y и dy в уравнение (II. 22) и заменяя x новой переменной

$$x = \sqrt{\frac{b}{a}}\operatorname{tg} u, \quad \frac{dx}{ax^2+b} = \frac{du}{\sqrt{ab}}.$$

Целиков приводит уравнение (II. 22) к следующему виду:

$$p_x = e^{\pm nu}(c + 2k\int e^{\pm n}\operatorname{tg} u du), \quad (II.22a)$$

где

$$u = \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{\Delta h}{h_2}}\cdot\frac{x}{l}\right);$$

$$n = \frac{\mu}{ab} = \frac{2\mu l}{\sqrt{\Delta h h_2}}.$$

Плюс в показателе степени у e относится к области отставания, а минус — к области опережения.

Интересно отметить, что А. Надаи получил это же выражение (II. 22а) совершенно другим методом, не прибегая к непосредственной замене окружностей валков параболой.

Интеграл уравнения (II. 22 а) может быть вычислен лишь приближенно разложением одного из членов, например $\operatorname{tg} u$, в ряд

$$\operatorname{tg} u = u + \frac{u^3}{3} + \frac{2u^5}{15} + \frac{17u^7}{315} + \ldots$$

Этот ряд сходится при условии $u < \frac{\pi}{2}$: при малых и средних обжатиях, когда $\sqrt{\frac{\Delta h}{h_2}}$ невелико, ряд сходится весьма быстро и можно $\operatorname{tg} u$ заменить через u.

После определения постоянных интегрирования из условий, что в точке A при $x = l$ $p_x = k - \sigma_1$; $u = u_0 = \operatorname{arctg}\sqrt{\frac{\Delta h}{h_2}}$, а в точке B при $x = 0$, $p_x = k - \sigma_2$ и $u = 0$, Целиков получает следующие выражения для p_x:

в зоне обратного скольжения

$$p_x = k\left\{\left[\xi_1 + \frac{2}{n^2}(1 - nu_0)\right]e^{n(u_0 - u)} - \frac{2}{n^2}(1 - nu)\right\} \quad (II.23a)$$

и в зоне опережения

$$p_x = k\left[\left(\xi_2 + \frac{2}{n^2}\right)e^{nu} - \frac{2}{n^2}(1 + nu)\right], \quad (II.23б)$$

где

$$n = \frac{2\mu l}{\sqrt{\Delta h h_2}};$$

$$\xi_1 = 1 - \frac{\sigma_1}{k};$$

$$\xi_2 = 1 - \frac{\sigma_2}{k}.$$

$$u_0 = \operatorname{arctg}\sqrt{\varepsilon} = \operatorname{arctg}\sqrt{\frac{\Delta h}{h_2}};$$

$$u = \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{\Delta h}{h_2}} \cdot \frac{x}{l}\right).$$

Применяя уравнения (II. 23а) и (II. 23б), А. Надаи рассчитал и построил кривые удельного давления для ряда случаев прокатки, которые представлены на рис. 10. Расчеты выполнены для прокатки различной величины переднего или заднего натяжения: σ_1 или $\sigma_2 = 0{,}25\,k$; $0{,}50\,k$; $0{,}75k$, где k — вынужденный предел текучести при растяжении.

Из рисунков видно, что удельное давление имеет минимум в точках входа и выхода металла из валков и повышается по направлению к нейтральному сечению. Максимум давления получается в самом нейтральном сечении, где обе кривые давления, определяемые выражениями (II. 23а) и (II. 23б), пересекаются. Ос-

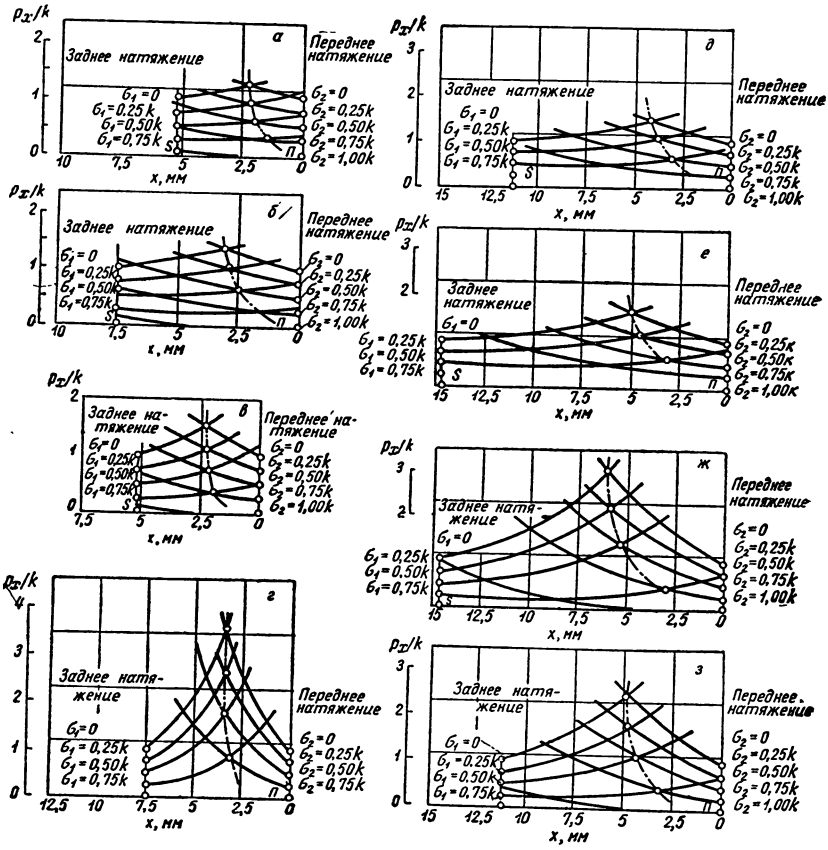


Рис. 10. Распределение удельного давления по дуге захвата согласно уравнениям (II. 23а) и (II, 23б). Диаметр валков D=406 *мм*, конечная толщина полосы h_2 = = 2,54 *мм*:
а — обжатие 5%; коэффициент трения $\mu = 0{,}112$; *б* — обжатие 10%; $\mu = 0{,}112$; *в* — обжатие 5%; $\mu = 0{,}224$; *г* — обжатие 10%; $\mu = 0{,}447$; *д* — обжатие 20%; $\mu = 0.112$; *е* — обжатие 30%; $\mu = 0{,}112$; *ж* — обжатие 30%; $\mu = 0{,}224$; *з* — обжатие 20%; = 0,224

ленты на валках диаметром 406 *мм* до постоянной конечной толщины полосы 2,54 *мм*, но с различным обжатием (5, 10, 20 и 30%) и при различной величине коэффициента внешнего трения μ (0,112; 0,224 и 0,447). Ординатами на рисунках является отношение $\frac{p_x}{k}$, а абсциссами x.

Верхние кривые (рис. 10) построены для прокатки без натяжения, т. е. когда $\sigma_1 = 0$ и $\sigma_2 = 0$; кроме того, даны кривые для трая вершина максимума объясняется, конечно, внезапным изменением направления сил трения в нейтральной плоскости. Далее видно, что применение одного лишь заднего или переднего натяжения или обоих вместе уменьшает давление металла на валки и изменяет положение нейтральной плоскости.

Из рисунков также следует, что при определенной величине натяжения нейтральная плоскость может совпасть с

плоскостью выхода металла из валков или с плоскостью входа.

Когда под действием большого переднего натяжения максимум сместится в плоскость входа ленты в валки, процесс прокатки будет напоминать собой процесс волочения, скорость металла вдоль всей дуги становится больше скорости валков. Наоборот, если под действием большого заднего натяжения нейтральная плоскость совпадает с плоскостью выхода ленты, то валки будут скользить по всей поверхности ленты вдоль дуги касания со скоростью, большей скорости прокатки.

По мере одновременного увеличения переднего и заднего натяжения нейтральная плоскость смещается к плоскости выхода ленты из валков.

Увеличение коэффициента внешнего трения (рис. 10) увеличивает крутизну линий давления, а следовательно, растет и средняя величина давления металла на валки.

2. Решение Целиковым уравнения (II. 22) при замене окружностей валков хордами

Большой заслугой А. И. Целикова является то, что он предложил весьма простое решение уравнения (II. 22), осуществимое, если приравнять дугу захвата хорде. Он также указывает, что в соответствии с результатами его сравнительных расчетов погрешность от этого допущения получается небольшой, а при больших обжатиях результаты оказываются более точными, чем по уравнениям (II. 23а) и (II. 23б).

Этим допущением процесс прокатки между окружностями валков заменяется процессом осадки между наклонными плитами, проходящими через хорду, соединяющую точки A и B (см. рис. 7) дуги касания. Угол наклона плит будет постоянным и равным половине угла захвата.

Уравнение прямой, проходящей через точки A и B, очевидно, будет

$$y = \frac{\Delta h}{2l} x + \frac{h_2}{2},$$

откуда

$$dx = \frac{2l}{\Delta h} \cdot dy.$$

Постоянные интегрирования определяются из тех же начальных условий. В плоскости входа (точка A) при $x = l$

$$p_x = k - \sigma_1.$$

Аналогично в плоскости выхода (точка B) при $x = 0$

$$p_x = k - \sigma_2.$$

После интегрирования уравнения (II. 22) и определения постоянных интегрирования получается выражение для удельного давления в зоне обратного скольжения

$$p_x = \frac{k}{\delta}\left[(\xi_1\delta - 1)\cdot\left(\frac{h_1}{h_x}\right)^{\delta} + 1\right] \quad (II.24а)$$

и для зоны опережения

$$p_x = \frac{k}{\delta}\left[(\xi_2\delta + 1)\cdot\left(\frac{h_x}{h_2}\right)^{\delta} - 1\right], \quad (II\ 24б)$$

где

$$\xi_1 = 1 - \frac{\sigma_1}{k};$$

$$\xi_2 = 1 - \frac{\sigma_2}{k};$$

$$\delta = \frac{2\mu l}{\Delta h};$$

l — длина дуги захвата, равная $\sqrt{R\Delta h}$.

Если прокатка происходит без натяжения (σ_1 и $\sigma_2 = 0$), тогда для зоны обратного скольжения

$$p_x = \frac{k}{\delta}\left[(\delta - 1)\left(\frac{h_1}{h_x}\right)^{\delta} + 1\right] \quad (II.25а)$$

и для зоны опережения

$$p_x = \frac{k}{\delta}\left[(\delta + 1)\left(\frac{h_x}{h_2}\right)^{\delta} - 1\right]. \quad (II.25б)$$

А. И. Целиков с помощью уравнений (II. 25а) и (II. 25б) исследовал теоретическое влияние на распределение удельного давления по дуге захвата (имеется в виду горизонтальная проекция дуги захвата $l = \sqrt{R\Delta h}$) следующих факторов прокатки: а) коэффициента внешнего трения (рис. II); б) различного обжатия (рис.

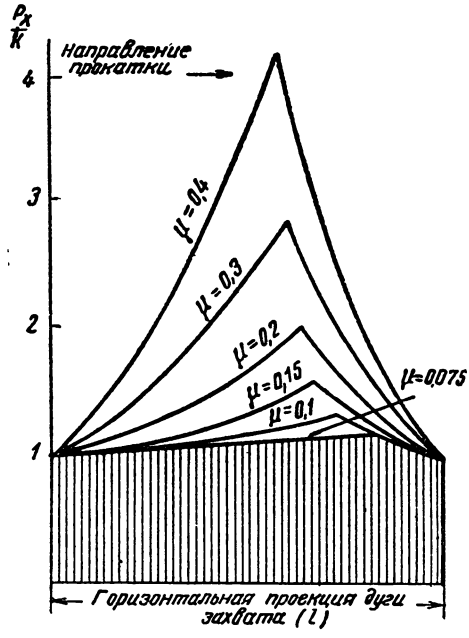


Рис. 11. Распределение удельного давления по дуге захвата при прокатке широкой полосы с различными коэффициентами внешнего трения при прочих равных условиях. Обжатие = 30%; $\alpha = 5°40'$; $\frac{h_2}{D} = 1{,}16\%$ (А. И. Целиков)

12); в) диаметра валков (рис. 13); г) различной величины переднего и заднего натяжения (рис. 14).

Несмотря на то, что формулы (II. 24) и (II. 25) не учитывают «сплющивания» валков, а предел текучести по дуге захвата

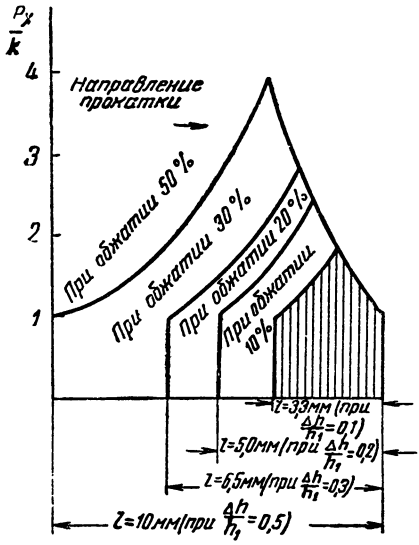


Рис 12 Распределение удельного давления по дуге захвата при прокатке широкой полосы с различным обжатием $\frac{\Delta h}{h_1} = 10$, 20, 30 и 50% при прочих равных условиях и при отсутствии наклепа и сплющивания $h_1 = 1$ *мм*; $D = 200$ *мм*; $a = 0{,}2$ (А. И Целиков)

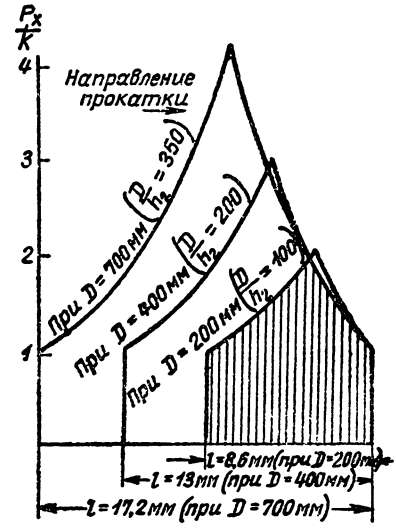


Рис. 13. Распределение удельного давления по дуге захвата при прокатке широкой полосы валками разного диаметра ($D = 200$, 400, 700 *мм*) с обжатием 30%. $h_1 = 2{,}86$ *мм*; $h_2 = 2{,}0$ *мм*, $\mu = 0{,}3$ (А И. Целиков)

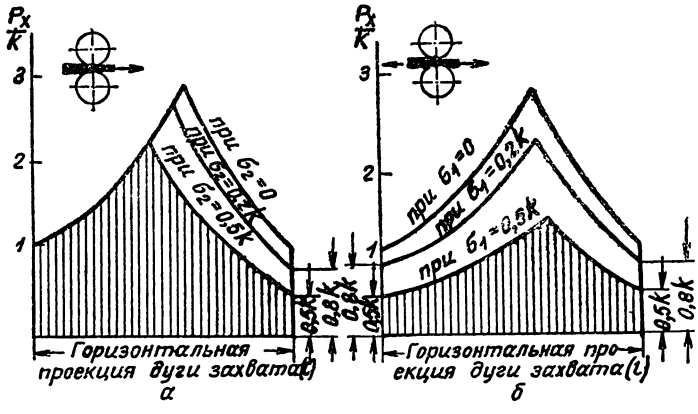


Рис. 14 Распределение удельного давления по дуге захвата при прокатке широкой полосы с различным натяжением $= 0$; 0,2 k; 0,5 k; обжатие 30%; $\alpha = 3°50'$; $\mu = 0{,}2$; $\frac{h_2}{D} = 0{,}5\%$:

а — при переднем натяжении; *б* — при переднем и заднем натяжении

предполагается постоянным, определяемое ими теоретическое влияние μ, $\frac{\Delta h}{h_2}$%, D, σ_1 и σ_2 на величину и распределение удельных давлений по дуге захвата находится в хорошем качественном соответствии с результатами опытов Северденко, Люэга и других исследователей.

Действительно, согласно рисункам, ставшим классическими (рис. 11—14), при прочих равных условиях наблюдается следующее.

1. Удельное давление возрастает с увеличением коэффициента внешнего трения. Это хорошо согласуется с известным из практики фактом, что давление значительно больше при прокатке на шероховатых валках, чем на полированных, и что оно

больше в случае прокатки всухую, чем при прокатке со смазкой.

2. Удельное давление больше при прокатке на валках с большим диаметром, чем с меньшим.

Из рис. 13 также видно, что при одинаковом диаметре валков удельное давление возрастает с уменьшением начальной толщины полосы h_1. Объясняется это тем, что при уменьшении начальной толщины полосы при одинаковом обжатии происходит увеличение интенсивности горизонтальных напряжений $\sigma = p_x - k$. Это означает, что общее давление металла на валки в этом случае возрастает не только за счет увеличения площади соприкосновения металла с валками, но и за счет роста самого удельного давления.

На практике это подтверждается стремлением прокатчиков осуществлять прокатку на валках возможно меньшего диаметра

3. Удельное давление возрастает с увеличением обжатия за проход, так как увеличение обжатия при постоянной начальной толщине полосы увеличивает длину дуги захвата.

4. Удельное давление уменьшается с применением как переднего, так и заднего натяжения, при этом чем большее натяжение дается ленте, тем значительнее снижение удельного давления.

3. Метод Бленда и Форда

Авторы берут дифференциальное уравнение в следующем виде:

$$\frac{dT}{d\theta} = 2pR'(\sin\theta \pm \mu\cos\theta). \quad (II.26)$$

Здесь T — горизонтальная сила, действующая на единицу ширины полосы в зеве валков $T = \sigma h$.

Так как по условию пластичности $p = \sigma + k = \frac{T}{h} + k$, то

$$T = h(p - k). \quad (II.27)$$

Подставляя уравнение (II. 27) в (II. 26), авторы получают

$$\frac{d}{d\theta}[h(p-k)] = 2pR'(\sin\theta \pm \mu\cos\theta) \quad (II.28)$$

(если принять $p \approx k$).

Приблизительно оно эквивалентно следующему уравнению:

$$hk\frac{d}{d\theta}\left(\frac{p}{k}\right) = 2pR'(\sin\theta \pm \mu\cos\theta). \quad (II.28a)$$

Этот прием, в дальнейшем использованный также Целиковым и Третьяковым, очень упрощает математическое решение.

Уравнение выведено на базе упрощений, о которых говорилось ранее. При дальнейших математических упрощениях ($\sin\theta = \theta$; $\cos\theta = 1$; $h_\theta = h_2 + R\theta^2$; $\sin\theta \pm \mu\cos\theta = \theta \pm \mu$) авторы получают

$$\int \frac{\frac{d}{d\theta}\cdot\frac{p}{k}}{\frac{p}{k}} d\theta. = \int \frac{2R(\theta \pm \mu)}{h_2 + R\theta^2} d\theta. \quad (II.29)$$

После интегрирования и определения произвольных постоянных закон изменения нормального удельного давления со стороны выхода из валков получает свое выражение

$$\frac{p_x^+}{k} = \frac{h}{h_2}\left(1 - \frac{\sigma_2}{k_2}\right)e^{\mu H}. \quad (II.30a)$$

Со стороны входа в валки

$$\frac{p_x^-}{k} = \frac{h}{h_1}\left(1 - \frac{\sigma_1}{k_1}\right)e^{\mu(H_1 - H)}, \quad (II.30б)$$

где

$$H = 2\sqrt{\frac{R}{h_2}}\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{R}{h_2}}\theta\right);$$

$$H_1 = 2\sqrt{\frac{R}{h_2}}\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{R}{h_2}}\alpha\right).$$

Когда не приложено переднее и заднее натяжение,

$$\frac{p_x^+}{k} = \frac{h}{h_2}e^{\mu H} \quad (II.31a)$$

и

$$\frac{p_x^-}{k} = \frac{h}{h_1}e^{\mu(H_1 - H)}. \quad (II.30б)$$

§ 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ПО ДУГЕ ЗАХВАТА

Экспериментальные исследования распределения удельного давления имеют большое значение как для теории, так и для практики. Они могут служить непосредственным экспериментальным подтверждением правильности теоретических выводов как в отношении общего закона распределения удельного давления по дуге захвата, так и в отношении влияния на максимальное и среднее значение удельного давления основных факторов прокатки: коэффициента внешнего трения, начальной толщины, степени обжатия и температуры.

В 1933 г. Люэг специальным прибором, вмонтированным в валок, исследовал удельное давление при холодной прокатке полос из алюминия, меди и мягкой стали шириной 30 *мм*, причем опыты ставились на лабораторном стане с диаметром валков 180 *мм*.

Далее опыты проводили Фролов и Голубев, Целиков, Королев и Сведе-Швец на

валках диаметром 900 *мм* и Северденко на лабораторном стане с валками диаметром 150 *мм*.

1. Опыты Люэга

В экспериментальном прокатном стане Люэга роль верхнего валка играл стальной сегмент *5* (рис. 15), имевший диаметр, равный диаметру нижнего валка 180 *мм*. Сегмент монтировался в верхнем валке, имевшем меньший диаметр 140 *мм*. Таким образом, прокатка опытных полос осуществлялась между нижним валком и сегментом.

В радиальное отверстие сегмента вставлялся небольшой штифт *1*. Наружный конец штифта находился заподлицо с цилиндрической поверхностью сегмента, а внутренний конец опирался на две пластинки из кварцевых кристаллов *4* через промежуточные пластины *2* и *3*. Когда штифт приходил в соприкосновение с прокатываемыми полосками, то воспринимаемое им давление передавалось на кристаллы. Вследствие пьезоэлектрического эффекта в кристаллах кварца появлялись статические заряды с потенциалом, пропорциональным давлению, воспринимаемому штифтом. Кварцевые кристаллы присоединялись к усилительному электрическому контуру и осциллографу, который графически записывал изменения давления.

В этих опытах (см. рис. 19 и 20) с помощью специального электрического приспособления измерялась также фактическая длина дуги соприкосновения l'_d.

Во всех рисунках, приводимых автором, применялся квадратный штифт 1,9 × 1,9 *мм*.

При соприкосновении с прокатываемой полоской штифт отходил от поверхности сегмента не более чем на 0,01 *мм*, и это позволило измерить распределение удельного давления по дуге захвата с высокой точностью.

На рис. 16 приведена одна из осциллограмм, полученная при этих опытах. Нижняя кривая на этой осциллограмме показывает изменение удельного давления по горизонтальной проекции дуги захвата. Верхняя кривая представляет собой дифференциальную кривую нижней кривой, и о ее назначении будет сказано ниже.

На рис. 19, 20 и 21 приведены некоторые результаты опытов Люэга. На рис. 19 показаны кривые удельного давления на различных расстояниях от края полосы. Небольшие схемы в левом верхнем углу рисунка показывают продольные сечения полосы, в которых замерялось давление, а также уширение.

На кривых Люэга l_d — теоретическая длина дуги захвата (в предположении, что валки не деформируются):

$$l_d = \sqrt{R\Delta h - \frac{\Delta h^2}{4}},$$

а l'_d — фактическая длина дуги захвата, измеренная с помощью прибора, о котором упоминалось выше.

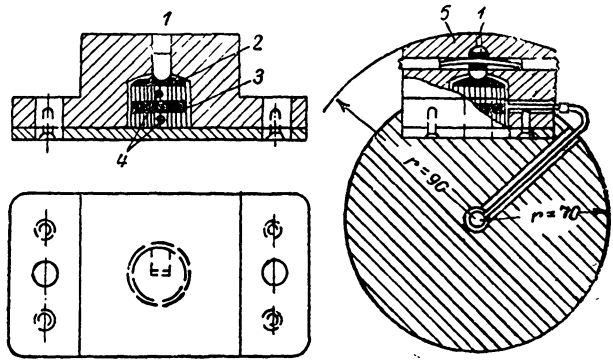


Рис 15. Пьезоэлектрическая месдоза для измерения удельного давления по дуге захвата

Полная длина экспериментальных кривых распределения удельного давления

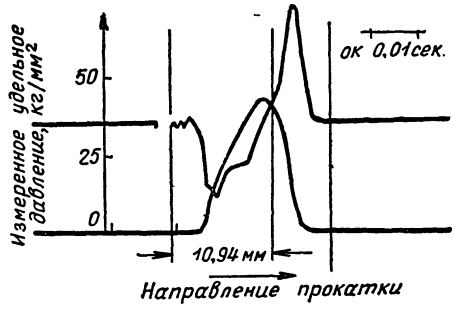


Рис. 16. Осциллограмма удельного давления при прокатке алюминия. Конечное сечение 2×30 *мм*². Обжатие 36%. Валки шлифованные

равна $l'_d + m$, где m — ширина измерительного штифта вдоль дуги захвата. Вид полученных таким измерением плоских кривых удельного давления имеет искажения против кривых, которые могли бы быть получены в идеальном случае при применении штифта бесконечно малых размеров вследствие того, что при опытах ширина штифта занимала от 15 до 20% всей длины дуги захвата.

Действительно, давление, воспринимаемое штифтом размерами 1,9 × 1,9 *мм*, яв-

ляется средним для той части длины дуги захвата, которая им перекрывается. Таким образом, по измеренной диаграмме нельзя окончательно определить, существует ли в

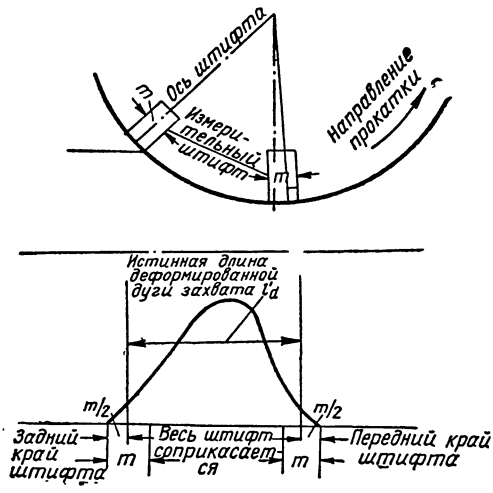


Рис. 17. Влияние ширины штифта на вид экспериментальной кривой распределения удельного давления

нейтральном сечении острая вершина или же максимум давления закруглен.

Рассматривая рис. 17, можно увидеть, что штифт фиксирует давление с момента, когда его передний край касается полосы, до момента, пока его задний край отойдет

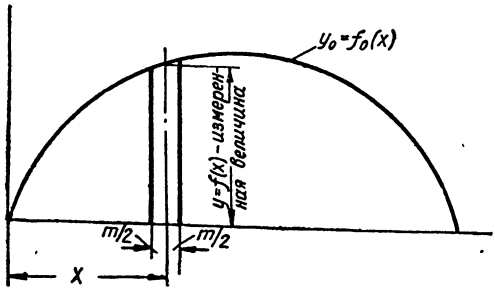


Рис. 18. Геометрическая интерпретация измеренной величины $y = f(x)$ по кривой истинных значений $y_0 = f_0(x)$

от полосы. Поэтому поверхность штифта полностью соприкасается с полосой только на длине, равной разности между истинной длиной дуги захвата и шириной штифта.

Следовательно, при входе и выходе существует отрезок времени, когда только часть поверхности штифта воспринимает давление, а это ведет к тому, что в этих местах вид измеренной эпюры распределения давления значительно отличается от истинной эпюры.

При помощи дифференциальных кривых (верхняя кривая на рис. 16) могут быть построены кривые истинного распределения удельного давления, которые учитывают поправку на конечные размеры штифта [1].

Пусть измеренная кривая выражается функцией $y = f(x)$, а истинная — $y_0 = f_0(x)$, тогда, согласно рис. 18,

$$y = f(x) = \frac{1}{m} \int_{x-\frac{m}{2}}^{x+\frac{m}{2}} f_0(x)\, dx$$

Дифференцируя, получаем

$$mf'(x) = f_0\left(x + \frac{m}{2}\right) - f_0\left(x - \frac{m}{2}\right). \qquad (II.32)$$

Можно принять, что в точке максимума величина измеренного давления будет одновременно и истинной величиной. Тогда, пользуясь уравнением (II. 32), можно рекуррентным способом построить ряд точек истинной величины давления вправо и влево от максимума.

На рис. 20 пространственные диаграммы как раз представляют собой построенные по такому методу истинные кривые распределения удельного давления. Пространственные кривые построены с основанием, равным проекции дуги захвата l_d, но правильнее было бы принять за базу фактическую длину l'_d, учитывающую сплющивание валков.

Из сравнения плоских и пространственных кривых на рис. 19 и 20 можно прийти к следующим выводам:

1. На плоской диаграмме удельное давление начинает возрастать с нулевого значения; на пространственной диаграмме оно, как и следовало ожидать, в плоскостях входа и выхода направлено вертикально и равно величине 1,15 k_f, т. е. k.

2. На плоской диаграмме кривая распределения удельного давления имеет выпуклый ход; на пространственной диаграмме кривая удельных давлений имеет вогнутый ход, соответствующий теоретическому.

3. Как на плоской, так и на пространственной диаграмме кривая удельных давлений имеет закругленный, куполообразный максимум и его наличие, следовательно, не может быть объяснено только конечными размерами штифта.

На рис. 21 нанесены пунктирные кривые, обозначенные 1,15 k_f. Эти кривые построены по результатам измерений предела текучести методом сжатия между коническими бойками. Следовательно, они дают величину удельного давления, необходимого

[1] Снятие дифференциальных кривых не было обязательным, так как их можно получить графическим дифференцированием измеренных кривых

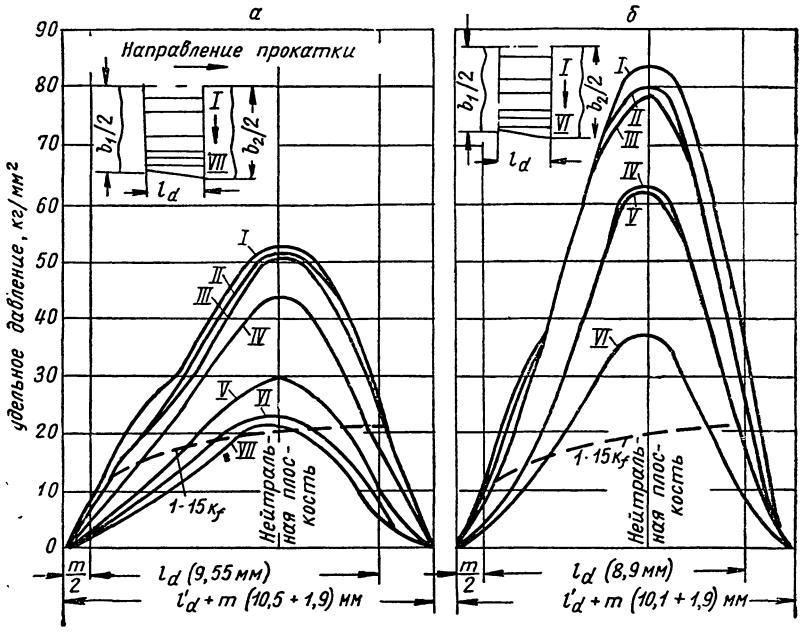


Рис 19 Плоские кривые удельных давлений при прокатке алюминия на шлифованных и шероховатых валках, полученные измерением:
а — прокатка на шлифованных валках, начальное сечение 2×30 *мм*, конечное сечение 1 × 30,8 *мм*, обжатие 1 *мм* = 50%; *б* — прокатка на шероховатых валках, начальное сечение 2 × 30 *мм*, конечное сечение 1,1 × 32,3 *мм*, обжатие 0,9 *мм* = = 45%

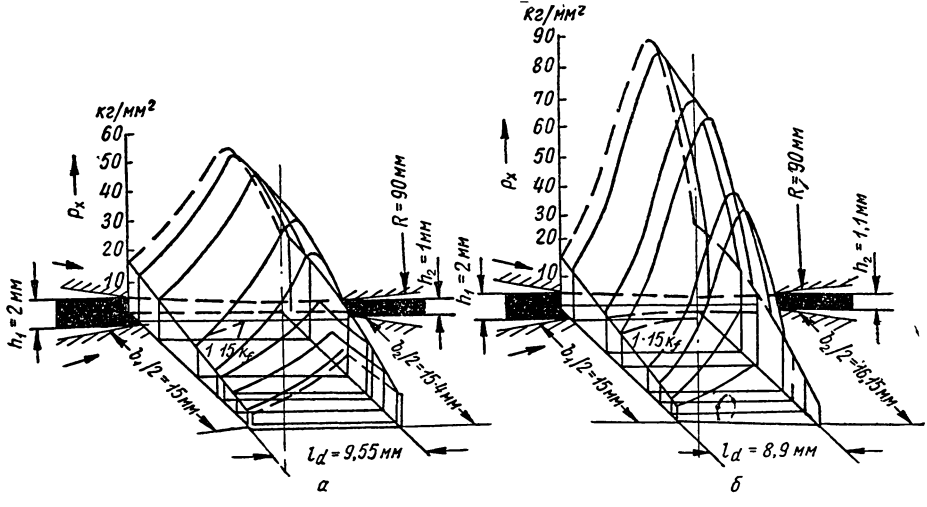


Рис. 20. Пространственные кривые истинных удельных давлений, полученные исправлением верхних кривых на размеры штифта:
а — прокатка на шлифованных валках; *б* — прокатка на шероховатых валках

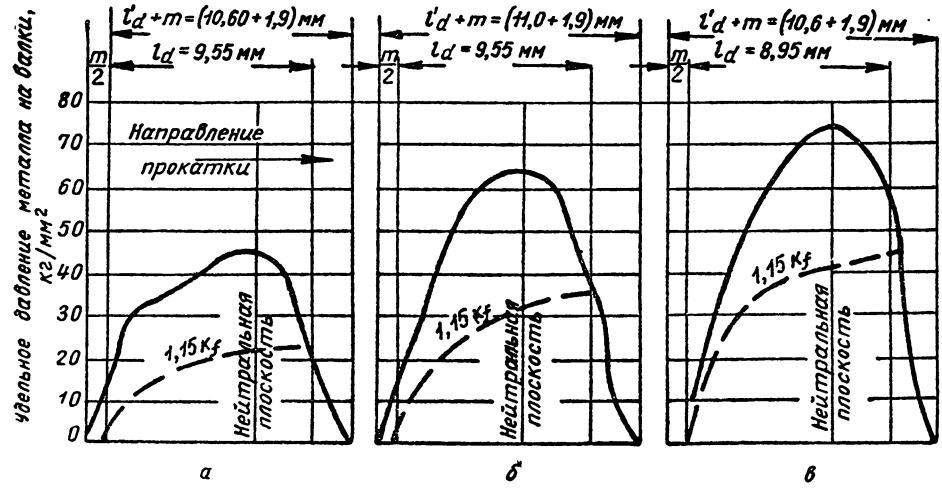


Рис. 21. Распределение удельного давления по дуге захвата в середине полосы при холодной прокатке отожженных медных полос без смазки с одинаковым обжатием и одинаковой длиной дуги захвата, но при различной толщине. $l_d = \sqrt{R\Delta h - \frac{\Delta h^2}{4}}$ — длина дуги захвата при недеформированных валках; l'_d — измеренная длина дуги захвата; m — ширина измерительного штифта, равная 1,9 *мм*. Диаметр валков 180 *мм*:
а — начальное сечение 8×30 *мм*; конечное сечение 7×30,3 *мм*; обжатие 1 *мм* = 12,5%; *б* — начальное сечение 4 × 30 *мм*; конечное сечение 3 × 30,3 *мм*; обжатие 1 *мм* = 25%; *в* — начальное сечение 2 × 30 *мм*; конечное сечение 1,1 × 31 *мм*; обжатие 0,9 *мм* = 45%

для пластической деформации полосы при условии, что внешнее трение равно нулю, а уширение отсутствует.

2. Опыты Северденко

Северденко тем же методом исследовал распределение удельного давления. Прокатка производилась на двухвалковом стане с валками 150 × 180 *мм*, а измерение давления осуществлялось круглым штифтом диаметром 1,88 *мм*, опиравшимся на емкостную месдозу системы Сведе-Швеца.

Некоторые результаты опытов Северденко представлены на рис. 22, где показано распределение удельного давления при холодной прокатке медных полос (2 × 8,0 *мм*) с одинаковым обжатием, но с различными условиями внешнего трения: без смазки и со смазкой подсолнечным маслом.

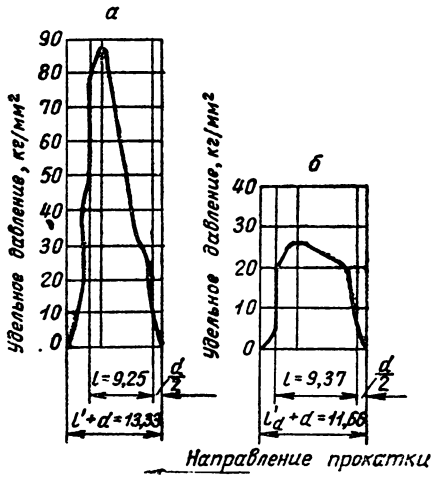


Рис. 22. Распределение удельного давления по дуге захвата при холодной прокатке медных полос 2 × 8 *мм* с одинаковым обжатием, но с различными условиями внешнего трения:
а—без смазки, начальное сечение 2,00 *мм*; конечное сечение 0,84 *мм*; обжатие 58%; *б* — со смазкой подсолнечным маслом; начальное сечение 2,00 *мм*; конечное сечение 0,81 *мм*; обжатие 59,5%

3. Результаты экспериментальных исследований

1. Влияние толщины полосы при холодной прокатке на величину удельного давления видно из рис. 21, кривые которого показывают прокатку без смазки отожженных медных полос с начальных толщин 8, 4 и 2 *мм* с постоянным абсолютным обжатием.

При холодной прокатке с уменьшением начальной толщины среднее и максимальное удельные давления значительно возрастают, причем, как установил Северденко, начиная с «критической» толщины 3 *мм* при дальнейшем уменьшении толщины наблюдается особенно интенсивное развитие максимума [1].

[1] Это же по опытам Северденко происходит и при горячей прокатке. С повышением температуры прокатки величины среднего и максимального удельных давлений значительно уменьшаются, но характер кривой давления, зависящий в основном от толщины полосы, хотя и приобретает тенденцию к понижению максимума, все же изменяется мало.

2. Максимальное и среднее удельные давления уменьшаются с понижением внешнего трения. Это видно из рис. 19 и 20, на которых левые кривые показывают прокатку алюминиевых полос на сухих шлифованных валках, а кривые справа — на шероховатых валках. При прокатке на шлифованных валках максимум уменьшается с 84 до 52 *кг/мм*^{2}. Еще большее снижение вызывает применение смазки. Из рис. 22, иллюстрирующего прокатку медных полос толщиной 2 *мм* всухую и со смазкой растительным маслом, видно, что при применении смазки максимум снижается с 89,1 до 27,2 *кг/мм*^{2}, т. е. более чем в три раза.

3. Распределение удельного давления поперек полосы неравномерно. Оно имеет наибольшую величину по середине полосы и понижается по направлению к краям. Объясняется это тем, что в опытах Люэга полосы были очень узкими — всего 30 *мм*. При большой ширине прокатываемых полос давление поперек полосы будет постоянным, за исключением самой кромки.

4. Во всех случаях кривые давлений имеют закругленный максимум вблизи нейтрального сечения.

Пункты 1 и 2 совпадают с теоретическими выводами по величине и распределению удельного давления при сухом трении. Пункт 3 показывает, что уширение оказывает большое влияние на величину удельного давления, если ширина полосы невелика в сравнении с ее толщиной. Наконец, пункт 4 не соответствует теоретическим выводам.

§ 4. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ПО ДУГЕ ЗАХВАТА ПРИ СПЛОШНОМ ПРИЛИПАНИИ

Очевидное противоречие между экспериментальными кривыми распределения удельного давления по дуге захвата и теоретическими заключается в том, что первые имеют куполообразный максимум, а вторые — острую вершину.

С учетом принятой при выводе основного дифференциального уравнения гипотезы плоских сечений, согласно которой поперечные сечения полосы не искривляются и трение скольжения сохраняется вдоль всей длины дуги захвата, закругленная вершина может быть объяснена лишь в том случае, если предположить, что коэффициент трения μ, изменяясь от точки к точке вдоль дуги захвата, становится равным нулю в нейтральной точке. Такое предположение, однако, маловероятно.

Таким образом, этот пункт ограничивает правильность современной теории, так как противоречие между теоретическими и экспериментальными кривыми распределения удельных давлений по дуге захвата является следствием упрощений, принятых при выводе теоретических формул.

Допуская, что сила трения при любом значении p_x равна μp, мы предполагаем, что скольжение валков по металлу сохраняется даже в той точке на контактной поверхности, для которой сила трения больше, чем предел текучести металла при сдвиге в этой точке. Представить себе такое положение физически нельзя. Невозможность такого положения, кроме того, непосредственно вытекает из условия начала пластической деформации с учетом напряжений сдвига.

Таким образом, значение силы трения $t_x = \mu p_x$ в данной точке является величиной, определяющей, будет ли полоса скользить по валкам или прилипать к ним. Если в рассматриваемой точке $\mu p_x < \frac{k}{2}$, то полоса будет скользить по валкам; если $\mu p_x \geqslant \frac{k}{2}$, то в этой точке полоса будет прилипать. Следовательно, зону прилипания образует геометрическое место точек, в которых $\mu p_x \geqslant \frac{k}{2}$.

Уже из рис. 9, на котором нанесена полученная косвенным методом путем пересчета измеренных эпюр удельных давлений кривая изменения сил трения, видно, что закон сил трения на контактной поверхности носит сложный характер и не может быть выражен одним лишь законом сухого трения $t_x = \mu p_x$ или постоянством силы трения $t_x = \frac{k}{2}$.

В аналогичных теоретических исследованиях кривых изменения контактных сил трения по полученным экспериментально эпюрам удельных давлений, произведенных А. А. Королевым и Е. П. Унксовым, было установлено, что на контактной поверхности одновременно существует несколько участков с различным законом контактных сил трения.

Обобщая результаты этих исследований, А. И. Целиков характер сил на контактной поверхности ставит в зависимость от отношения $l : h$:

Вид прокатки	I	II	III	IV
Отношение $l : h$	4	2—4	0,5—2	$<0{,}5$

В первом случае прокатки ($l : h \geq 4$) на контактной поверхности выделяются три зоны, в которых удельные силы трения подчинены трем различным законам. На участках контактной поверхности, примыкающих к плоскостям входа и выхода металла из валков, имеются участки сухого трения металла по валку, когда контактная сила трения выражается законом $t_x = \mu p_x$ (рис. 23).

По мере роста удельных давлений по направлению к середине дуги захвата сила трения достигнет величины $t_{\text{макс}} = \frac{k}{2}$ и с этого момента скольжение металла по валку исчезнет и возникнет зона прилипания с участком, где сила трения постоянна по величине.

В центральной части зоны прилипания около нейтральной плоскости, где возникает пластически недеформируемый участок — зона застоя, силы трения меняются по другому закону, пока еще не установленному. Допускают, что рост сил трения от значения $+\frac{k}{2}$ в зоне обратного скольжения до $-\frac{k}{2}$ в зоне опережения происходит не скачкообразно, а по закону, близкому к прямой линии (рис. 23, *а*).

Во втором случае прокатки ($l : h = 2 \div 4$) участки, где силы трения постоянны ($t = \frac{k}{2}$), могут исчезнуть и эпюра будет включать три участка: два — скольжения с сухим трением и центральный — застоя (рис. 23, *б*).

В третьем случае прокатки ($l : h = 0{,}5 \div 2$) зоны скольжения также исчезают и вся дуга захвата состоит из зоны застоя. В этом случае металл как бы выдавливается в обе стороны от нейтральной плоскости. Эпюра удельного давления в этом случае представляет собой непрерывную выпуклую кривую (рис. 23, *в*).

В четвертом случае прокатки ($l : h \leq 0{,}5$) закон контактных сил трения и эпюра удельных давлений будут в общем аналогичны предыдущему, однако распределе-

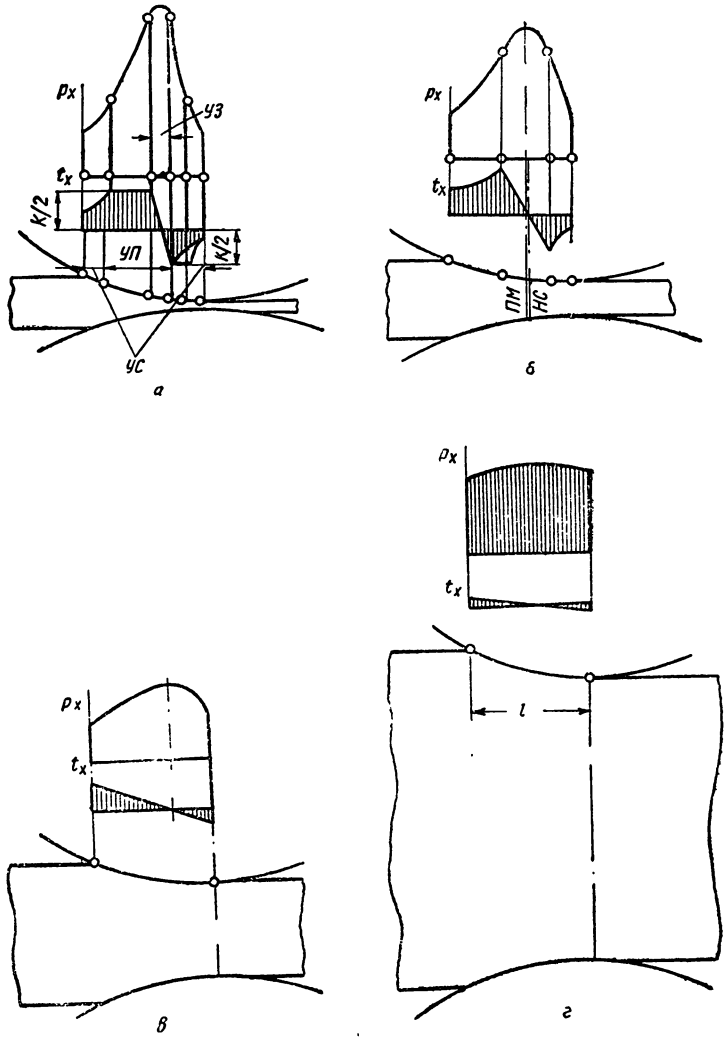


Рис. 23 Эпюры распределения по дуге захвата p_x и t_x для четырех случаев прокатки с различным отношением $l : h$:
а — при $l : h \geq 4$, *б* — $l : h = 2 - 4$; *в* — $l : h = 0{,}5 - 2$, *г* — $l : h < 0{,}5$; *ЗС* — зона скольжения; *ЗП* — зона прилипания; *УЗ* — участок застоя; *НС* — нейтральное сечение; *ПМ* — плоскость максимума удельного давления

ние удельных давлений будет очень близким к прямоугольному. Деформация при этом не проникает через всю высоту сечения и образуется выгнутый контур поперечного сечения (см. рис 23, *г*).

Таким образом, точный закон распределения удельного давления по дуге захвата при $l:h > 2 \div 4$ включает несколько участков, границы которых должны определяться совместным решением уравнений каждого участка. Все это очень усложняет вывод расчетных формул [1].

Поэтому представляют значительный интерес методы расчета, основанные на распространении на всю длину дуги захвата какого-либо одного закона сил трения, учитывающего прилипание.

Будут рассмотрены следующие разработанные методы расчета:

а) Е. П. Унксова и Р. Б. Симса, распространяющие на всю дугу захвата зону прилипания с постоянной силой трения $t = \frac{k}{2}$;

б) А. А. Королева, распространившего на всю дугу захвата прямолинейный закон трения, ориентировочно принимаемый для зоны застоя. Этот метод расчета в основном пригоден при условии, что $l:h < 0{,}5 \div 2$ (см. рис. 23, *в* и *г*).

Однако при $l:h < 1$ влияние внешнего трения ничтожно мало. Удельное давление в этом случае нужно определять по формуле А. И. Целикова — В. В. Смирнова, учитывающей влияние внешних зон.

1. Метод Унксова

Как и А. И. Целиков, Е. П. Унксов процесс прокатки между окружностями валков заменяет осадкой между наклонными плоскостями, проходящими через хорду дуги захвата с углом наклона, равным половине угла захвата. Он берет дифференциальное уравнение равновесия клина в полярных координатах в виде

$$\frac{d\sigma_r}{dh} + \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{h} \pm \frac{2\tau}{h} = 0,$$

которое при замене $x = r = \frac{h_x}{\alpha}$; $dx = d\sigma_r$; $y = \frac{h}{2}$ приводится к уравнению прокатки, применяемому А. И. Целиковым:

$$\frac{dp_x}{dx} - \frac{k}{y}\frac{dy}{dx} \pm \frac{t_x}{y} = 0.$$

Е. П. Унксов допускает, что зона прилипания охватывает всю дугу захвата, так что коэффициент внешнего трения вдоль всей дуги $\mu = 0{,}5$, а контактная сила трения $t_x = \frac{k}{2}$, где $k = 1{,}15\,\sigma_s$ — вынужденный предел текучести при прокатке без уширения, а σ_s — предел текучести при растяжении. Величину k принимают постоянной вдоль дуги захвата и допускают, что металл выдавливается в обе стороны от нейтрального сечения. При этих допущениях эпюра удельных давлений вдоль клина приблизительно представляет собой треугольник и выражается следующими уравнениями:

для зоны опережения

$$\frac{p_x^+}{k} = 1 + \sqrt{\frac{R}{\Delta h}} \ln \frac{h_x}{h_2}; \quad (II.33а)$$

для зоны отставания

$$\frac{p_x^-}{k} = 1 + \sqrt{\frac{R}{\Delta h}} \ln \frac{h_1}{h_x}. \quad (II.33б)$$

Из совместного решения этих уравнений непосредственно следует, что высота критического сечения определяется как среднее геометрическое из начальной и конечной высот полосы, т. е.

$$h_н = \sqrt{h_1 h_2}. \quad (II.34)$$

2. Метод Симса

Р. Б. Симс берет дифференциальное уравнение прокатки в виде, предложенном Карманом в 1925 г.:

$$(p_x \operatorname{tg}\theta \pm t_x)\,dx - \frac{1}{2}\,d(\sigma h) = 0, \quad (II.35)$$

где p_x — текущее удельное давление на валки;

σ — горизонтальное напряжение в полосе;

dx — расстояние от плоскости центров валков.

Он принимает, что во всех точках дуги захвата имеет место прилипание, так что $t_x = \frac{k}{2}$ и, учитывая, что $\sigma h = T$ — горизонтальная сила на единицу ширины полосы, $dx \approx R d\theta$, а также делая приближение, что $\sin\theta \approx \operatorname{tg}\theta \approx \theta$; $\cos\theta = 1$; $1 - \cos\theta = \frac{\theta^2}{2}$, получает уравнение в другом виде:

$$\frac{dT}{d\theta} = R(2p\operatorname{tg}\theta \pm k). \quad (II.36)$$

Далее Симс пользуется выводами Е. Орована, который, приравнивая прокатку осадке между шероховатыми наклонными

[1] Следует напомнить, что все эти выводы получены в предположении, что предел текучести постоянен вдоль дуги захвата.

плитами, показал, что для силы T действителен закон

$$T = h\left(p - \frac{\pi}{4}k\right). \qquad (II\ 37)$$

Этот закон получен без ограничений гипотезы плоских сечений, и коэффициентом $\frac{\pi}{4}$ перед величиной k учитывается неравномерность деформации (искривление поперечных сечений).

Подставляя выражение (II. 37) в уравнение (II. 36), Симс получает

$$\frac{d}{d\theta}\left[h\left(\frac{p}{k} - \frac{\pi}{4}\right)\right] = 2R\theta\frac{p}{k} \pm R. \quad (II.38)$$

Наконец, допуская, что k постоянно вдоль всей линии длины дуги захвата (не зависит от скорости деформации и обжатия за проход) и заменяя в уравнении (II. 38) $h = h_2 + R\theta^2$, Симс получает

$$\frac{d}{d\theta}\left(\frac{p}{k} - \frac{\pi}{4}\right) = \frac{R\pi\theta}{2(h_2 + R\theta^2)} \pm \frac{R}{h_2 + R\theta^2}. \quad (II.39a)$$

Интегрирование этого уравнения дает для удельного давления в зоне выдавливания вперед (от плоскости выхода к нейтральной плоскости) следующее выражение:

$$\frac{p^+}{k} = \frac{\pi}{4}\ln\frac{h}{h_2} + \frac{\pi}{4} + \sqrt{\frac{R}{h_2}}\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{R}{h_2}}\theta\right) \quad (II.39)$$

и

$$\frac{p^-}{k} = \frac{\pi}{4}\ln\frac{h}{h_1} + \frac{\pi}{4}\sqrt{\frac{R}{h_2}}\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{R}{h_2}}\alpha\right) - \sqrt{\frac{R}{h_2}}\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{R}{h_2}}\theta\right) \quad (II.40)$$

в зоне обратного выдавливания (к плоскости входа от нейтральной плоскости).

Следовательно, эпюра удельных давлений не является непрерывной функцией, а состоит из двух ветвей, пересекающихся в плоскости, положение которой определяется совместным решением уравнений (II. 39) и (II. 40).

3. Метод Королева

А. А. Королев берет дифференциальное уравнение удельного давления, выведенное на базе гипотезы плоских сечений (исключающее зону прилипания) в виде, предложенном А. И. Целиковым, т. е. уравнение (II. 21), и подставляет в него закон прямолинейного изменения контактных сил трения вдоль всей дуги захвата

$$t_x = t_2\left(1 - \frac{x}{l_н}\right), \qquad (II.41)$$

где t_2 — величина контактной силы трения в плоскости выхода металла из валков;

$l_н$ — расстояние от плоскости выхода до нейтрального сечения, в котором контактная сила трения проходит через ноль (изменяет свой знак).

Этот закон приблизительно путем дифференцирования кривых удельного давления найден экспериментально для зоны прилипания, занимающей центральную часть дуги захвата — зоны застоя. Распространяя зону застоя на всю дугу захвата, Королев соответственно принял и этот закон для всей дуги.

Таким образом, Королев привел дифференциальное уравнение к виду

$$\frac{dp_x}{dx} - \frac{k}{y}\cdot\frac{dy}{dx} - t_2\left(1 - \frac{x}{l_н}\right)\frac{1}{y} = 0. \qquad (II.42)$$

Заменяя далее дугу захвата хордой, т. е принимая

$$y = \frac{\Delta h}{2l}x + \frac{h_2}{2} = \frac{\alpha}{2}x + \frac{h_2}{2};$$

$$dx = \frac{2}{\alpha}dy,$$

Королев получает

$$\frac{dp_x}{dx} - \left[k\frac{\alpha}{2} + t_2\left(1 - \frac{x}{l_н}\right)\frac{1}{y}\right] = 0. \qquad (II.43)$$

Интегрированием этого уравнения и введением некоторых упрощений Королев получает следующее уравнение для удельного давления:

$$\frac{p_x}{k} = \left\{1 + (\delta - 1)\left[\frac{2-\varepsilon}{\varepsilon} \times \ln\left(\frac{\alpha x}{h_2} + 1\right) - \frac{2}{l}x\right]\right\}, \qquad (II.44)$$

где

$$\delta = \frac{2\mu_1 l}{\Delta h} = \frac{2\mu_1}{\alpha};$$

μ_1 — коэффициент трения в момент задачи металла в валки.

Определяемая этим уравнением эпюра удельных давлений представляет собой симметричную непрерывную куполообразную кривую с максимумом, расположенным посредине дуги захвата (не совпадает с нейтральным сечением).

4. Сравнение эпюр удельных давлений и контактных сил трения, получаемых по всем трем методам

Такое сравнение дано на рис. 24 для частного случая прокатки, характеризуемого следующими данными $D = 900$ *мм*; $h_1 = 100$ *мм*; $h_2 = 50$ *мм*; $\varepsilon = 0{,}5$; $l : h = 2{,}0$.

Постоянство силы трения по всей длине дуги захвата обусловливает сходные эпюры удельных давлений по Симсу и Унксову, но так как Симс учитывает негомогенность деформации и дает более точное математическое решение, то по его методу получаются более низкие давления.

Распространение А. А. Королевым на всю дугу захвата закона прямолинейного изме-

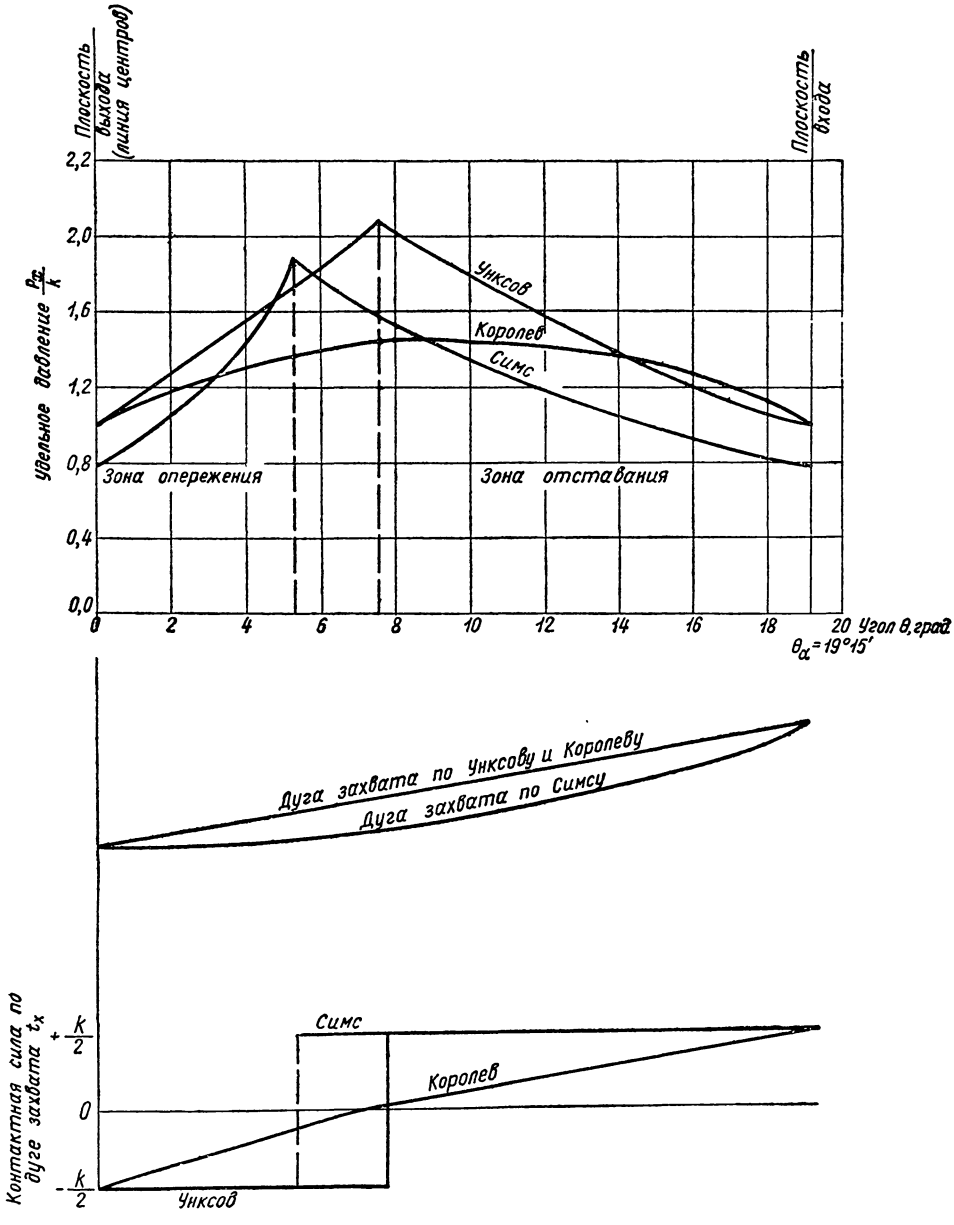


Рис. 24. Сравнение эпюр удельных давлений $\frac{p_x}{k}$ и контактных сил трения t_x по формулам Унксова, Симса и Королева для следующего прохода: $D = 900$ *мм*; $h_1 = 100$ *мм*; $h_2 = 50$ *мм*; $\varepsilon = 0{,}5$; $l : h = 2{,}0$

нения сил трения зоны застоя обусловливает весьма низкие давления.

§ 5. НЕЙТРАЛЬНАЯ ТОЧКА, КРИТИЧЕСКИЙ УГОЛ И ОПЕРЕЖЕНИЕ В СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ ПРОКАТКИ

Согласно современной теории, удельное давление по дуге захвата распределяется неравномерно. Поэтому уравнения для критического угла (I. 2), (I. 2 *б*), (I. 3) и опережения (I. 8), (I. 9), (I. 9*а*), выведенные исходя из равномерного распределения давления, неточны.

Современная теория вводит понятие «нейтрального сечения», которое является вертикальным сечением полосы и определяется из условия, что в нем горизонтальное напряжение сжатия одинаково как от действия горизонтальных сил в зоне обратного скольжения [уравнение II, 1)], так и от действия этих сил в зоне опережения. В нейтральном сечении σ_x имеет максимальную величину и переходит от возрастания к убыванию.

Согласно уравнению (II. 11), $p_x - \sigma_x = \text{const}$. Поэтому вышеприведенное условие равносильно условию, что в нейтральной плоскости удельное давление p_x для зоны опережения равно величине p_x для зоны обратного скольжения.

1. Скольжение с сухим трением вдоль всей дуги захвата

Решение Целикова

Положение нейтрального сечения может быть определено из условий равенства в нем величины p_x по уравнениям (II. 24а) и (II. 24 б).

$$\frac{k}{\delta}\left[(\xi_1\delta - 1)\left(\frac{h_1}{h_н}\right)^{\delta} + 1\right] = \frac{k}{\delta}\left[(\xi_2\delta + 1)\cdot\left(\frac{h_н}{h_2}\right)^{\delta} - 1\right],$$

откуда Целиков получил (если не учитывать наклепа)

где

$$\xi_1 = 1 - \frac{\sigma_1}{k};$$

$$\xi_2 = 1 - \frac{\sigma_2}{k};$$

$$\delta = \frac{\mu}{\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}} = \mu\frac{2\sqrt{R\Delta h}}{\Delta h} = \mu\sqrt{\frac{2D}{\Delta h}};$$

$h_н$ — высота полосы в нейтральной плоскости.

В случае прокатки без натяжения ($\sigma_1 = 0$ и $\sigma_2 = 0$; $\xi_1 = 1$ и $\xi_2 = 1$) выражение (II. 45) значительно упрощается:

$$\frac{h_н}{h_2} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 - 1)\cdot\left(\frac{h_1}{h_2}\right)^{\delta}}}{\delta + 1}\right]^{\frac{1}{\delta}}. \qquad (II.46)$$

Из уравнений (II. 45) и (II. 46) следует, что если принять физические упрощения: постоянство коэффициента трения μ по дуге захвата, постоянство предела текучести k, не учитывать сплющивания валков и допустить математические упрощения:

а) криволинейную дугу захвата заменить хордой с постоянным углом наклона, равным $\frac{\alpha}{2}$;

б) пренебречь вертикальной составляющей силу трения, равной $\mu p \operatorname{tg}\theta$, и полагать, что гипотеза плоских сечений целиком выдерживается в любых условиях прокатки, даже при $\mu p_x > \frac{k}{2}$, то высота нейтрального сечения зависит от обжатия в данном проходе, коэффициента внешнего трения, величины переднего и заднего натяжения и угла захвата.

Целиков для облегчения пользования уравнением (II. 46) построил кривые, дающие зависимость $\frac{h_н}{h_2}$ в функции от δ при разных обжатиях (рис. 25).

$$\frac{h_н}{h_2} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + (\xi_1\delta - 1)\cdot(\xi_2\delta + 1)\left(\frac{h_1}{h_2}\right)^{\delta}}}{\xi_2\delta + 1}\right]^{\frac{1}{\delta}}, \qquad (II.45)$$

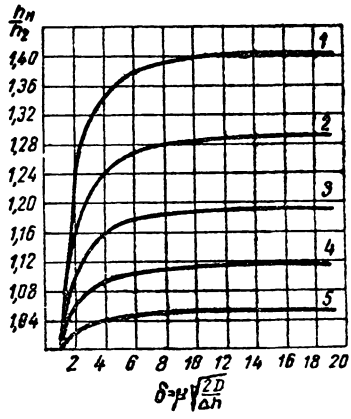


Рис. 25. Высота критического сечения $\frac{h_н}{h_2}$ в зависимости от внешнего трения при различном обжатии (А. И. Целиков)

$$\delta=\frac{\mu}{\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}}=\frac{2\mu l}{\Delta h}=\mu\sqrt{\frac{2D}{\Delta h}}:$$

1 — обжатие 50%; *2* — 40%; *3* — 30%; *4* — 20%; *5* — 10%

Если известна высота критического сечения, можно определить величину критического угла:

$$\frac{D}{2}\sin\gamma=\frac{h_н-h_2}{2\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}}. \qquad (II.47)$$

Учитывая теперь, что для малых значений α

$$\operatorname{tg}\alpha\approx\sin\alpha\approx\sqrt{\frac{h_1-h_2}{R}}$$

и

$$\sin^2\frac{\alpha}{2}\approx\frac{1}{4}\sin^2\alpha,$$

из уравнений (I. 9 в) и (II. 47) получаем формулы Целикова для определения критического угла и опережения:

$$\gamma=\frac{h_2}{\sqrt{R\Delta h}}\left(\frac{h_н}{h_2}-1\right)$$

и

$$S=\frac{h_2}{h_1-h_2}\left(\frac{h_н}{h_2}-1\right)^2. \qquad (II.48)$$

Формула Целикова (II. 48) была первой в современной теории прокатки формулой для расчета опережения с учетом неравномерного распределения удельных давлений по дуге захвата и с учетом натяжения.

Необходимо иметь в виду, что при холодной прокатке, особенно в первом после отжига проходе, наблюдается значительный наклеп, который теоретически вызывает уменьшение величины критического угла, так как удельное давление металла значительно больше в плоскости выхода, чем в плоскости входа. Это обусловливает сдвиг нейтральной плоскости к линии валков.

Наоборот, явление «сплющивания» валков при холодной прокатке вызывает увеличение длины дуги захвата и критического угла, т. е. сдвигает нейтральную плоскость в обратном направлении.

Решение Бленда и Форда

Совместное решение уравнений удельного давления для зоны отставания и зоны опережения дает следующее выражение:

$$H_\gamma=\frac{H_1}{2}-\frac{1}{2\mu}\ln\left[\frac{h_1}{h_2}\left(\frac{1-\frac{\sigma_2}{k_2}}{1-\frac{\sigma_1}{k_1}}\right)\right]. \qquad (II.49)$$

Когда натяжение не приложено,

$$H_\gamma=\frac{H_1}{2}-\frac{1}{2\mu}\ln\frac{h_1}{h_2}, \qquad (II.50)$$

где

$$H_1=\sqrt{\frac{R}{h_2}}\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{R}{h_2}}\alpha\right). \qquad (II.51)$$

Критический угол определяется из выражения

$$\gamma=\sqrt{\frac{h_2}{R}}\operatorname{tg}\sqrt{\frac{h_2}{R}}\frac{H_\gamma}{2}. \qquad (II.52)$$

2. Прилипание вдоль всей дуги захвата

Решение Симса

Положение нейтрального сечения определяется совместным решением уравнений (II. 39) и (II. 40), что дает

$$\frac{\pi}{4}\ln\frac{h_2}{h_1}=2\sqrt{\frac{R}{h_2}}\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{R}{h_2}}\gamma\right)-\sqrt{\frac{R}{h_2}}\operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{R}{h_2}}\alpha\right). \qquad (II.53)$$

Решая уравнение относительно γ и преобразовывая его, имеем

$$\gamma = \sqrt{\frac{h_2}{R}}\,\mathrm{tg}\left[\frac{1}{2}\,\mathrm{arctg}\sqrt{\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}} + \frac{\pi}{8}\ln(1-\varepsilon)\sqrt{\frac{h_2}{R}}\right], \qquad (II.54)$$

где γ — угол, выраженный в радианах.

Когда известен угол γ, высота нейтрального сечения может быть рассчитана из уравнения

$$\frac{h_н}{h_2} = \frac{R}{h_2}\gamma^2 + 1.$$

3. Сравнение опережения, рассчитанного при равномерном и неравномерном распределении удельного давления вдоль дуги захвата

В табл. 3 сопоставляется величина опережения, рассчитанная для одного прохода при холодной прокатке по формулам элементарной теории, предполагающей равномерное распределение давления [формула (I. 9 в)], по формулам современной теории, учитывающим неравномерное распределение давлений по дуге захвата: при сухом трении (II. 48) и (II. 52) и при сплошном прилипании (II. 54). Данные прохода: $h_2 = 1{,}5$ *мм*, $h_1 = 2{,}5$ *мм*, $\mu = 0{,}125$, обжатие 40%, диаметр валков 200, 400 и 600 *мм*.

Из табл. 3 видно, что опережение, рассчитанное по формулам, выведенным на основе равномерного распределения давлений, в общем достаточно хорошо совпадает с рассчитанным по формуле А. И. Целикова современной теории прокатки при сухом трении.

Таблица 3

Величина опережения при равномерном и неравномерном распределении удельного давления по дуге захвата

Диаметр валков, *мм*	Опережение, %			
	равномерное распределение, формула (I.9в)	неравномерное распределение		
		формула (II.48)	формула (II.52)	формула (II.54)
200	6,0	5,4	4,74	9,3
400	8,5	8,3	6,41	9,8
600	10,0	9,3	7,75	10,0

Однако неравномерное распределение давлений со сплошным прилипанием дает при малых диаметрах значительно большую величину опережения. Это подтверждается экспериментальными исследованиями, показавшими, что при большой протяженности зоны прилипания критический угол становится очень большим и иногда бывает больше половины угла захвата.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Целиков. Прокатные станы, Металлургиздат, 1946
2. А. И Целиков. Металлург, 1939, № 6.
3. А. Надаи. Реф. Я. Галлая, Металлург, 1940, № 4.
4. L. Underwood. Shelt. Met. Ind., 1945, № 222, 223.
5. Е Зибель и В Люэг. Опытное исследование распределения напряжений и истечения металла при прокатке, Советская металлургия, 1933, № 7.
6. В. Северденко. Сталь, 1949, № 3.
7. Т. Карман Распределение давления по дуге захвата, реф. в сб «Материалы по теории прокатки», ч. II, стр 62
8. А. Я. Хейн. Процесс ленточной и тонколистовой прокатки, Металлургиздат, 1941
9. D. Bland and G Ford. Inst. Mech. Engrs (London) I. C. Prol, 1948, vol. 150, p. 144.
10. Е. П Унксов. Инженерные методы расчета усилий при обработке металлов давлением. Машгиз, 1955.
11. А. И. Целиков. Сталь, 1958, № 5.
12. R. B. Sims. The Institution of Mechanical Engineers proceeding, 1954, v. 168.
13. А А. Королев Сб «Прокатные станы и технология прокатки», Машгиз, 1955, стр. 167.
14. З Вузатогский. Экспресс-информация. Раздел теории прокатки, 1957, № 21, реф.
15. И Я. Тарновский, А. А. Поздеев, А. Б. Лящков Деформация металла при прокатке, Металлургиздат, 1956.

ГЛАВА III

РАСЧЕТ ДАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ПРОКАТКЕ БЕЗ НАТЯЖЕНИЯ

Полное давление металла на валки P при прокатке без натяжения обычно определяется по формуле

$$P = Fk\left(\frac{p_{ср}}{k}\right)c, \qquad (III.1)$$

где F — площадь соприкосновения металла с одним валком при прокатке листов и лент, равная

$$b_{ср}\sqrt{R\Delta h};$$

k — вынужденный предел текучести металла в данном проходе;

$$\frac{p_{ср}}{k} = \frac{\text{Среднее удельное давление}}{\text{Вынужденный предел текучести}};$$

эта величина характеризует влияние внешнего трения и является функцией от:

а) отношения длины дуги захвата к средней толщине полосы;

б) относительного обжатия в данном проходе;

в) коэффициента внешнего трения;

c — эмпирический коэффициент, учитывающий влияние внешних зон полосы; вводится для определения давления в проходах, в которых $l:h \leqslant 1$.

Ряд исследователей предложил несколько методов для определения величины $\frac{p_{ср}}{k}$. Некоторые методы являются чисто аналитическими, полученными на основе математического анализа процесса прокатки, а некоторые — полуэмпирическими и эмпирическими.

Все формулы и методы расчета для учета влияния внешнего трения на среднее удельное давление металла на валки (отношение $\frac{p_{ср}}{k}$), известные в современной теории прокатки, можно разбить на две следующие группы:

1. Формулы, основанные на допущении непрерывного скольжения по дуге захвата, т. е. на допущении, что сила трения $t_x = \mu p_x$.

2. Формулы, основанные на наличии зоны прилипания вдоль всей дуги захвата. При этом принимаются различные законы для сил трения. Три важнейшие формулы этого типа (Унксова, Симса и Королева) рассматриваются и сравниваются в настоящей работе.

Формула С. Экелунда по отношению к обеим группам занимает промежуточное положение, так как при ее выводе Экелунд принял для зоны обратного скольжения (двух третей длины дуги захвата) закон сухого трения ($t_x = \mu p_x$), а для зоны опережения — сдвиг металла вперед, т. е. сплошное прилипание $\left(t_x = \frac{k}{2}\right)$.

По удобству сравнения формула Экелунда отнесена к 1-й группе.

§ 1. ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО ТРЕНИЯ $\left(\frac{p_{ср}}{\kappa}\right)$ НА СРЕДНЕЕ УДЕЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ СКОЛЬЖЕНИИ

Сюда относится горячая прокатка тонких полос и холодная прокатка, когда отношение $l:h > 2 \div 2{,}5$.

На основе дифференциального уравнения Кармана при контактной силе трения $t_x = \mu p_x$, вопрос доведен до практического пользования В. Триниксом, А. Целиковым, С. Экелундом и в последние годы Д. Блендом и Г. Фордом. Основная трудность заключается в неопределенности коэффициента внешнего трения μ, который необходимо подставлять в формулы, а при прокатке наиболее тонких лент с высоким пределом текучести—в нерешенности проблемы сплющивания валков.

1. Формула Целикова

Уравнения (II. 25а) и (II. 25 б) представляют собой закон изменения вертикальной составляющей p_x радиального удельного давления, приходящегося на элемент горизонтальной проекции дуги захвата dx. При этом пренебрегают величиной вертикальной составляющей силы трения $t_x = \mu p_x \operatorname{tg}\alpha$.

Так как полное давление металла на валки P при обычной прокатке без натяжения направлено вертикально, то принимая, что поперек полосы удельное давление металла на валки не изменяется, величина P может быть определена по уравнению

$$P = \frac{b_1 + b_2}{2}\int_{x=0}^{x=l} p_x(1 \pm \mu \operatorname{tg}\theta)\,dx \qquad (III.2)$$

Однако ввиду незначительности величины $\mu \operatorname{tg}\theta$ по сравнению с единицей этим членом можно пренебречь. Тогда

$$P = \frac{b_1 + b_2}{2}\int_{x=0}^{x=l} p_x dx. \qquad (III.3)$$

Подставляя в уравнение (III. 3) выражение p_x по формуле (II. 25а) для зоны обратного скольжения и p_x по формуле (II. 25б) для зоны опережения и интегрируя в первом случае в пределах от h_1 до h

и во втором случае от $h_н$ до h_2, а также заменяя дугу захвата хордой, т. е. принимая, что

$$dx = \frac{l}{\Delta h} dh_x,$$

(II. 25б). Таким образом, определено выражение

$$\frac{h_н}{h_2} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 - 1)\cdot\left(\frac{h_1}{h_2}\right)^{\delta}}}{\delta + 1}\right]^{\frac{1}{\delta}}.$$

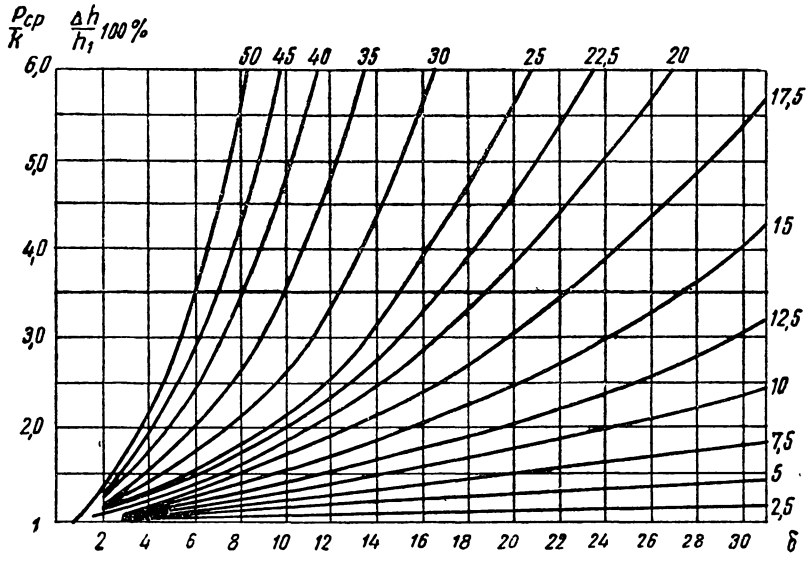


Рис 26. Отношение $\frac{p_{ср}}{k}$ в зависимости от внешнего трения (коэффициент δ) при различном обжатии $\frac{\Delta h}{h_1}$

$$\delta = \frac{\mu}{\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}} = \frac{2\mu l}{\Delta h} = \mu\sqrt{\frac{2D}{\Delta h}}$$

Целиков получает следующую формулу для среднего удельного давления:

$$\frac{p_{ср}}{k} = \frac{2(1-\varepsilon)}{\varepsilon(\delta - 1)}\left(\frac{h_н}{h_2}\right)\times \times\left[\left(\frac{h_н}{h_2}\right)^{\delta} - 1\right], \qquad (III.4)$$

где

$$\delta = \mu\sqrt{\frac{2D}{\Delta h}} = \frac{2\mu l}{\Delta h};$$

$$\varepsilon = \frac{h_1 - h_2}{h_1} = \frac{\Delta h}{h_1};$$

$h_н$ — высота прокатываемой полосы в нейтральном сечении, которую находят путем определения значения h в точке пересечения кривых давлений для областей обратного скольжения (II. 25а) и опережения

Для упрощения пользования уравнением (III. 4) при расчетах среднего удельного давления $p_{ср}$ на рис. 26 приведены кривые, которые определяют отношение $\frac{p_{ср}}{k}$ в функции от δ при различном обжатии.

После определения величины среднего удельного давления по формуле Целикова путем использования кривых рис. 26 полное давление металла на валки рассчитывается по формуле

$$P = \frac{b_1 + b_2}{2} p_{ср}\sqrt{R\Delta h}$$

2. Формула осадки

Совсем простое выражение для величины среднего удельного давления $p_р$ можно получить при замене окружностей валков параллельными плоскими плитами, т. е.

заменяя процесс прокатки осадкой. Толщину полосы можно принять равной

$$h = \frac{h_1 + h_2}{2}.$$

Поверхность касания будет прямой линией, параллельной линии прокатки $y = \frac{h}{2}$.

Если это выражение подставить в уравнение (II. 22), то dy превращается в ноль, а удельное давление

$$p_x = ce^{\pm \int \frac{2\mu}{h} dx},$$

где знак минус — для зоны опережения и знак плюс — для зоны обратного скольжения.

Если за начало координат принять середину дуги захвата, то в зоне отставания x будет изменяться от $x = 0$ до $x = \frac{l}{2}$. Тогда, подставляя соответствующие пределы интегрирования, получим для зоны отставания

$$p_x = ce^{\int_x^{\frac{l}{2}} \frac{2\mu}{h} dx} = ce^{\frac{2\mu}{h}\left(\frac{l}{2} - x\right)},$$

$$\frac{d\left(\frac{p_x}{k}\right)}{d\left(\frac{x}{l}\right)} = \frac{2\frac{\Delta h}{h_2}\left[\frac{x}{l} \pm \left(\frac{p_x}{k}\right)\frac{l}{\Delta h}\operatorname{tg}\beta\right]}{1 + \frac{\Delta h}{h_2}\left(\frac{x}{l}\right)^2},$$

при $x = \frac{l}{2}$, $p_x = k$, откуда

$$p_x = ke^{\frac{2\mu}{h}\left(\frac{l}{2} - x\right)}. \qquad \text{(III.5а)}$$

Аналогично в зоне опережения

$$p_x = ce^{\int_x^{-\frac{x}{2}} \frac{2\mu}{h} dx} = ce^{\int_{-\frac{l}{2}}^{x} \frac{2\mu}{h} dx} = ce^{\frac{2\mu}{h}\left(\frac{l}{2} + x\right)},$$

или

$$p_x = ke^{\frac{2\mu}{h}\left(\frac{l}{2} + x\right)}. \qquad \text{(III.5б)}$$

Для определения величины $p_{ср}$ необходимо выражение (III. 5а) проинтегрировать в пределах от $x = +\frac{l}{2}$ до $x = 0$, а выражение (III. 5б) — от $x = -\frac{l}{2}$ до $x = 0$, суммировать интегралы и разделить сумму на l. Тогда получаем

$$\frac{p_{ср}}{k} = \frac{e^m - 1}{m}, \qquad \text{(III.6)}$$

где

$$m = \frac{\mu l}{h} = \frac{2\mu\sqrt{R\Delta h}}{h_1 + h_2}.$$

Аргументом полученной зависимости $\frac{p_{ср}}{k}$ по формуле (III. 6) является величина m, которая в явном виде не учитывает влияния степени обжатия за проход.

3. Метод Тринкса

Заменив цилиндрическую дугу захвата параболической кривой, проходящей через точки входа и выхода металла из валков, Тринкс приводит дифференциальное уравнение удельного давления к следующему виду:

где Δh — абсолютное обжатие;

l — горизонтальная проекция дуги захвата, равная $\sqrt{R\Delta h}$;

β — угол трения, или $\operatorname{tg}\beta = \mu$;

p_x — удельное давление на валки в точке, отстоящей на расстоянии x от плоскости выхода металла из валков;

k — вынужденный предел текучести.

Знак минус в приведенном уравнении относится к зоне отставания, а знак плюс — к области опережения.

Для определения влияния коэффициента внешнего трения Тринкс на основе приведенного выше уравнения построил кривые $\frac{p_{ср}}{k}$ и $\frac{p_{макч}}{k}$ в функции от величины $\delta' = \mu\sqrt{\frac{R}{\Delta h}}$ и относительного обжатия ε.

Так как приведенное выше уравнение непосредственно интегрироваться не может, то был принят следующий метод построения кривых;

а) для данных значений ε и $\mu\sqrt{\frac{R}{\Delta h}}$ путем численного интегрирования строили диаграмму изменения удельного давления по дуге захвата;

б) планиметрированием определяли площадь диаграммы и делением площади на длину дуги захвата находили отношение $\frac{p_{ср}}{k}$;

в) расчет повторяли до тех пор, пока не получалось достаточного количества точек для построения кривых $\frac{p_{ср}}{k}$ в функции от $\mu\sqrt{\frac{R}{\Delta h}}$ и ε.

4. Формула Экелунда

Наиболее известной формулой полуэмпирического типа является формула Экелунда. Хотя она и получена на основе математического анализа, но включает ряд весьма серьезных упрощений процесса прокатки:

а) принимается, что нейтральная плоскость всегда размещается на расстоянии одной трети горизонтальной проекции дуги захвата от линии центров валков;

б) допускается, что в зоне опережения скольжение отсутствует, а металл сдвигается вперед (зона прилипания);

в) допущен целый ряд серьезных математических упрощений.

Влияние внешнего трения Экелунд определил следующим образом:

$$\frac{p_{ср}}{k} = 1 + \frac{1{,}6\mu\sqrt{R\Delta h} - 1{,}2\Delta h}{h_1 + h_2} = 1 + n.$$

5. Метод Бленда и Форда

$$P = Rk\left[\int_0^{\gamma}\frac{h}{h_2}e^{\mu H}d\theta + \int_{\gamma}^{\alpha}\frac{h}{h_1}e^{\mu(H_1 - H)}d\theta\right].$$

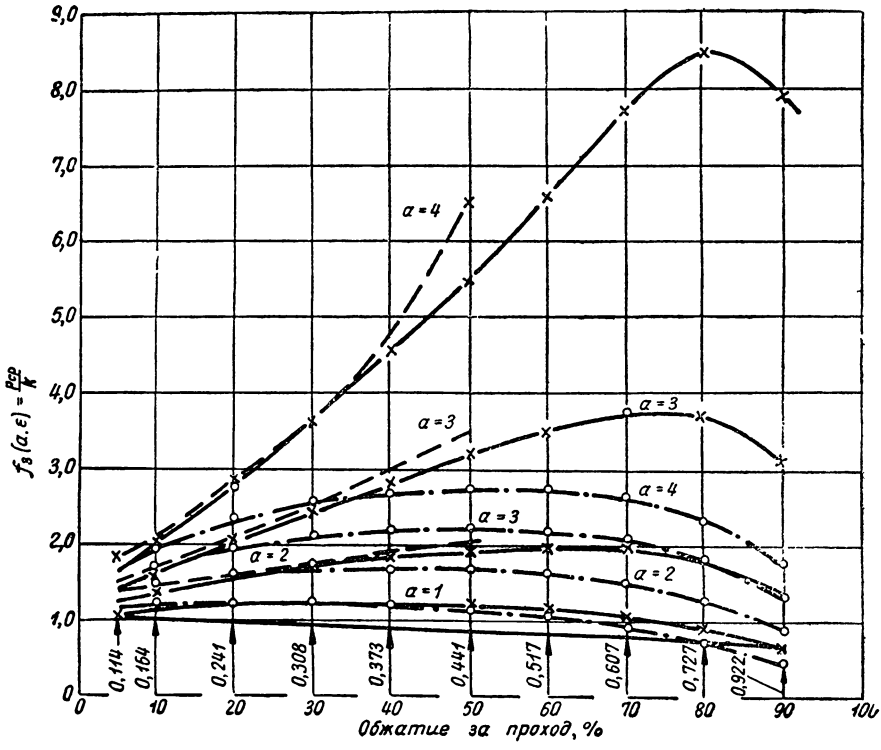


Рис. 27. Сравнение влияния внешнего трения $\left(\text{отношение } \frac{p_{ср}}{k}\right)$ в зависимости от величины $a = \mu\sqrt{\frac{R}{h_2}}$ и обжатия за проход ε:

———————— Бленд и Форд
— — — — — — — — Карман — Триикс
—.—.—.—.—.—.—.— Экелунд

Вводя обозначения $\psi=\frac{\theta}{\mu}$, $a=\mu\sqrt{\frac{R}{h_2}}$, а также делая некоторые преобразования авторы приводят уравнение к виду

численным методам, приведем их к единому аргументу. Соответственно формуле осадки в качестве основного аргумента примем величину $m=\frac{2\mu\sqrt{R\Delta h}}{h_1+h_2}$.

$$\frac{P}{\mu R'k}=\int_0^{\gamma}(1+a^2\psi^2)\,e^{2a\,\mathrm{arctg}\,a\psi}\,d\psi+(1-\varepsilon)\,e^{2a\,\mathrm{arctg}\sqrt{\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}}}\times$$

$$\times\int_{\gamma}^{\alpha}(1+a^2\psi^2)\,e^{-2a\,\mathrm{arctg}\,a\psi}d\psi=f_1(a,\varepsilon)\qquad(\text{III}.7)$$

Вводя новую функцию $f_3(a,\varepsilon)=a\sqrt{\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}}f_1(a,\varepsilon)$, авторы получили следующее выражение для определения влияния внешнего трения:

$$\frac{p_{\text{ср}}}{k}=f_3(a,\varepsilon).$$

На рис. 27 даны кривые $f_3(a,\varepsilon)$ для $a=1\div4$ и относительного обжатия от 0,1 до 0,9 по методу Д. Бленда и Г. Форда в сравнении с результатами Тринкса и Экелунда.

В 1950 г. Хилл предложил эмпирическую формулу, дающую очень близкие значения к $f_3(a;\varepsilon)$:

$$\frac{p_{\text{ср}}}{k}=\left[1{,}08+1{,}79\left(1-\frac{h_2}{h_1}\right)\times\right.$$

$$\left.\times\mu\sqrt{\frac{R}{h_2}}-1{,}02\left(1-\frac{h_2}{h_1}\right)\right].$$

6. Формула Губкина

Из эмпирических формул широко известна формула Губкина. Влияние внешнего трения эта формула определяет следующим образом:

$$\frac{p_{\text{ср}}}{k}=1+\mu\sqrt{\frac{R}{h_2}}=1+n'.$$

Как указывает автор, формула была получена «на основе некоторых теоретических предпосылок при исследовании к. п. д. деформации в процессе прокатки».

7. Теоретическое сравнение влияния внешнего трения, определенного по всем формулам

Для того чтобы сравнить влияние внешнего трения, определенного по всем пере-

Эта формула не учитывает в явном виде обжатия за проход, и при постоянном коэффициенте внешнего трения коэффициент $\frac{p_{\text{ср}}}{k}$ по этой формуле является функцией отношения

$$\frac{\text{Длина дуги захвата}}{\text{Средняя толщина полосы}}=\frac{2\sqrt{R\Delta h}}{h_1+h_2}=\frac{\sqrt{R\Delta h}}{h_{\text{ср}}}.$$

Из ряда экспериментальных исследований хорошо известно, что при данной величине коэффициента внешнего трения именно этот фактор оказывает основное влияние на величину удельного давления.

Все остальные методы учитывают также влияние обжатия за проход, и поэтому их необходимо несколько преобразовать.

Формула Целикова

$$\frac{\delta}{m}=\frac{\mu\sqrt{2D}}{\sqrt{\Delta h}}:\frac{\mu\sqrt{2D}\cdot\sqrt{\Delta h}}{h_1+h_2}=$$

$$=\frac{h_1+h_2}{h_1-h_2}=\frac{2-\varepsilon}{\varepsilon},$$

или

$$\delta=m\frac{2-\varepsilon}{\varepsilon}.$$

Метод Тринкса

$$\frac{\delta'}{m}=\frac{\mu\sqrt{R}}{\sqrt{\Delta h}}:\frac{\mu\sqrt{4R}\cdot\sqrt{\Delta h}}{h_1+h_2}=$$

$$=\frac{h_1+h_2}{2(h_1-h_2)}=\frac{2-\varepsilon}{\varepsilon},$$

или

$$\delta'=m\frac{2-\varepsilon}{2\varepsilon}.$$

Формула Экелунда

или $$\frac{p_{ср}}{k} = 1 + \frac{2-\varepsilon}{2\sqrt{1-\varepsilon}}\, m.$$

$$\frac{n}{m} = \frac{(1{,}6\mu\sqrt{R\Delta h} - 1{,}2\Delta h)\cdot(h_1+h_2)}{(h_1+h_2)\,2\mu\sqrt{R\Delta h}} = 0{,}8 - \frac{1{,}2\varepsilon}{m(2-\varepsilon)},$$

или

$$n = 0{,}8\,m - \frac{1{,}2\varepsilon}{2-\varepsilon},$$

откуда

$$\frac{p_{ср}}{k} = 0{,}8\,m + \left(1 - \frac{1{,}2\varepsilon}{2-\varepsilon}\right).$$

Следовательно, согласно формуле Экелунда, при заданном относительном обжатии $\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_1}$ коэффициент $\frac{d_p}{k}$ является линейной функцией от m. Наклон прямой постоянен, и с изменением m изменяется лишь отрезок, отсекаемый на оси $\frac{p_{ср}}{k}$.

Формула Губкина

$$\frac{n'}{m} = \frac{\mu\sqrt{R}}{\sqrt{h_2}} \cdot \frac{h_1+h_2}{2\mu\sqrt{R}\cdot\sqrt{\Delta h}} = \frac{h_1+h_2}{2\sqrt{\Delta h\cdot h_2}} = \frac{2-\varepsilon}{2\sqrt{\varepsilon(1-\varepsilon)}},$$

Согласно формуле Губкина, $\frac{p_{ср}}{k}$ (при постоянном μ) также является линейной функцией от m, но в этом случае угловой коэффициент является величиной переменной, а на оси $\frac{p_{ср}}{k}$ прямая отсекает постоянный отрезок, равный единице.

Теперь для любых значений m и ε можно:

а) по формуле Целикова определить величину δ и по ней рассчитать отношение $\frac{p_{ср}}{k}$;

б) по формуле осадки, а также по формулам Губкина и Экелунда непосредственно рассчитать отношение $\frac{p_{ср}}{k}$;

в) по методу Тринкса определить величину $\delta' = m\frac{2-\varepsilon}{2\varepsilon}$ и по ней по кривым найти соответствующее значение $\frac{p_{ср}}{k}$.

На рис. 28 и 29 дано сравнение результатов расчета для прокатки с постоянным

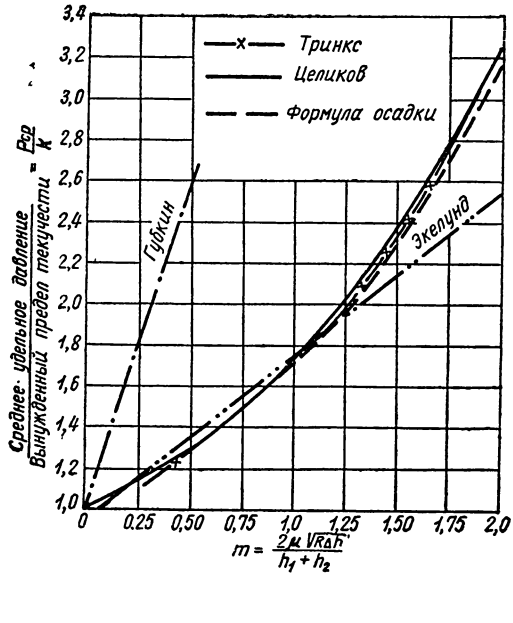


Рис. 28 Сравнение влияния внешнего трения (отношение $\frac{p_{ср}}{k}$) в функции от величины m по различным методам для 10%-ного обжатия

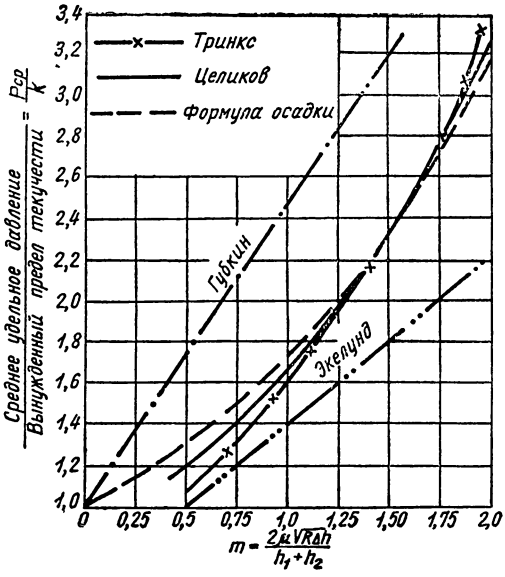


Рис. 29. То же, для 50%-ного обжатия

обжатием за проход в 10 и 50%. На основе этих рисунков можно сделать следующие выводы.

1. При прокатке с 10%-ным обжатием за проход формула осадки, формула Целикова и метод Тринкса дали практически одинаковые результаты. Наибольшее отклонение при $m = 2$ не превышает 2,2%. Формула Экелунда до $m = 1{,}25$ также хорошо совпадает с этими методами. Однако для $m > 1{,}25$ она дает более низкие значения $\frac{p_{ср}}{k}$. Формула Губкина дает чрезвычайно высокие значения $\frac{p_{ср}}{k}$. Эта формула, очевидно, неточна.

2. При прокатке с 50%-ным обжатием для значений m от 1,25 до 1,75 методы Целикова и Тринкса, а также формула осадки вновь дали практически совпадающие результаты. Однако для $m < 1{,}25$ формула осадки дает более высокие значения для $\frac{p_{ср}}{k}$, чем формула Целикова, и еще более высокие, чем метод Тринкса, а для $m > 1{,}75$ наблюдается обратная картина.

Все три кривые пересекаются между собой, и чем ближе принимается дуга захвата к действительной окружности валков, тем круче кривая.

Наибольшее отклонение при $m = 0{,}5$ между формулой осадки и методом Тринкса достигает +19,2%, а между формулой осадки и формулой Целикова +9,2%.

Формула Экелунда при всех значениях дает более низкие значения для $\frac{p_{ср}}{k}$, а формула Губкина — более высокие.

Таким образом, формула осадки дает результаты, достаточно хорошо совпадающие с данными других, более точных аналитических методов. Наибольшая возможная погрешность при $m = 0{,}5$ и при 50%-ном обжатии не превышает 19%, а в большинстве прочих случаев составляет лишь около 5%.

Большим преимуществом формулы осадки является то, что она выражает влияние внешнего трения $\left(\text{т. е. отношение } \frac{p_{ср}}{k}\right)$ в простой форме в функции от одного аргумента m.

§ 2. ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО ТРЕНИЯ $\left(\frac{p_{ср}}{\kappa}\right)$ НА СРЕДНЕЕ УДЕЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ ПРИ ЗОНЕ ПРИЛИПАНИЯ, ОХВАТЫВАЮЩЕЙ ВСЮ ДЛИНУ ДУГИ ЗАХВАТА

Сюда относится горячая прокатка толстых слябов и блюмов, когда отношение $l : h < 2{,}0 \div 2{,}5$.

На основе дифференциального уравнения Кармана, но с учетом зоны прилипания, за последние годы предложены формулы Е. П. Унксовым, Р. Б. Симсом, А. А. Королевым и др.

Основное упрощение заключается в допущении, что величина предела текучести при горячей прокатке не зависит от величины обжатия за проход.

Так как по этим теориям зона прилипания охватывает всю длину дуги захвата, то коэффициент трения исключается и сравнение формул наиболее удобно произвести, приведя их к осям координат $\left(\frac{p_{ср}}{k}; \frac{l}{h}\right)$, что достигается с помощью формул приведения.

1. Формула Унксова

Для расчета средних удельных давлений Е. П. Унксовым предложена формула[1]

$$\frac{p_{ср}}{k} = 1 + 2\sqrt{\frac{R}{\Delta h}} \cdot \frac{h_{ср} - h_н}{\Delta h}. \quad \text{(III.8)}$$

При использовании формул приведения выражение (III. 8) легко преобразовать:

$$\frac{p_{ср}}{k} = 1 + \frac{\left(\frac{2-\varepsilon}{2} - \sqrt{1-\varepsilon}\right) \cdot (2-\varepsilon)}{\varepsilon^2} \times \frac{l}{h} = 1 + c\frac{l}{h}. \quad \text{(III.9)}$$

Коэффициент c в функции от ε (формула Е. П. Унксова) имеет следующие значения:

ε	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$c = \frac{\left(\frac{2-\varepsilon}{2} - \sqrt{1-\varepsilon}\right) \cdot \left(2-\varepsilon\right)}{\varepsilon^2}$	0,251	0,251	0,252	0,254	0,257

При любых значениях ε величина c колеблется в очень узких пределах (0,251—0,257) и в среднем составляет 0,252 (при $\varepsilon = 0{,}3$).

Таким образом, в координатах $\left(\frac{p_{ср}}{k}, \frac{l}{h}\right)$ формула Е. П. Унксова приобретает вид

[1] Е. П. Унксов пишет свою формулу исходя из выражения для длины горизонтальной проекции хорды $l = \sqrt{R\Delta h - \frac{\Delta h^2}{4}}$. В наших расчетах горизонтальная проекция приравнена самой хорде, т. е. принято выражение $l = \sqrt{R\Delta h}$.

$$\frac{p_{ср}}{k} = 1 + 0{,}252\,\frac{l}{h}. \qquad (III.10)$$

Это прямая линия с постоянным угловым коэффициентом, отсекающая на оси ординат постоянную величину, равную единице. Если $l:h < 8$ и $\mu < 0{,}25$, то формула (III. 10) «дает завышенные значения, что, однако, не является ее серьезным недостатком, поскольку при расчетах необходим известный коэффициент запаса» (Унксов Е. П.).

координат $\left(\frac{p_{ср}}{k}\,;\ l:h\right)$ оказывается, что они образуют прямые линии с незначительным изменением наклона при изменении величины ε (рис. 30).

3. Формула Королева

Интегрируя выражение (II. 44) вдоль хорды дуги захвата и пренебрегая вертикальной составляющей силы трения, а также вводя математические упрощения, Королев получает

$$\frac{p_{ср}}{k} = 1 + (\delta - 1)\cdot\left[\left(\frac{2-\varepsilon}{\varepsilon}\cdot\frac{1}{\varepsilon}\ln\frac{1}{1-\varepsilon} - 1\right) - 1\right] = 1 + (\delta - 1)\,a. \qquad (III.13)$$

2. Формула Симса

Симс, исходя из выведенных им уравнений для удельного давления (II. 39) и (II. 40) и пренебрегая вертикальной составляющей силы трения, для полного давления металла на валки получает уравнение

$$P = Rk\left\{\int_{\gamma}^{\alpha}\left[\frac{\pi}{4}\ln\frac{h}{h_1} + M(\alpha) - M(\theta) + \frac{\pi}{4}\right]d\theta + \int_{0}^{\gamma}\left[\frac{\pi}{4}\ln\frac{h}{h_2} + M(\theta) - \frac{\pi}{4}\right]d\theta\right\}, \qquad (III.11)$$

где

$$M(\theta) = \sqrt{\frac{R}{h_2}}\ \mathrm{arctg}\ \sqrt{\frac{R}{h_2}}\ \theta.$$

После интегрирования получается следующее выражение для среднего удельного давления:

$$\frac{p_{ср}}{k} = \left[\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}}\ \mathrm{arctg}\sqrt{\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon}} - \frac{\pi}{4} - \sqrt{\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}}\cdot\sqrt{\frac{R}{h_2}}\ln\frac{h_н}{h_2} + \frac{1}{2}\sqrt{\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}}\cdot\sqrt{\frac{R}{h_2}}\ln\frac{1}{1-\varepsilon}\right] = \Omega_p\left(\frac{R}{h_2}\,;\ \varepsilon\right). \qquad (III.12)$$

Численное решение этой функции для $\frac{R}{h_2}$ от 1 до 300 и для $\varepsilon = 0{,}1;\ 0{,}3;\ 0{,}5$, данное Ларке, приведено в табл. 4, в которой даны также рассчитанные с помощью формул приведения значения $l:h$.

При нанесении значений $\frac{p_{ср}}{k}$ в системе координат $\left(\frac{p_{ср}}{k}\,;\ l:h\right)$ оказывается, что они образуют прямые линии с незначительным изменением наклона при изменении величины ε (рис. 30).

В функции от ε величина a имеет следующие значения:

ε	0,1	0,3	0,5
a	0,01518	0,0461	0,1588

Приводя выражение (III. 13) к осям координат $\left(\frac{p_{ср}}{k}\,;\ \frac{l}{h}\right)$ и принимая предельное значение коэффициента внешнего трения $\mu = 0{,}5$, получаем

$$\frac{p_{ср}}{k} = a\,\frac{2-\varepsilon}{2\varepsilon}\cdot\frac{l}{h} + (1-a)^{*}. \qquad (III.13a)$$

* А. А Королев предложил также приближенную формулу

$$\frac{p_{ср}}{k} = 1 + (\delta - 1)\,\frac{\varepsilon}{4 - 3\varepsilon}.$$

Однако эта формула преувеличивает значение $\frac{p_{ср}}{k}$ в 1,5—2 раза.

Подстановкой коэффициентов получаем следующие выражения для $\frac{p_{ср}}{k}$:

при $\varepsilon = 0{,}1$

$$\frac{p_{ср}}{k} = 0{,}144\,\frac{l}{h} + 0{,}985;$$

при $\varepsilon = 0{,}3$

$$\frac{p_{ср}}{k} = 0{,}131\,\frac{l}{h} + 0{,}954;$$

при $\varepsilon = 0{,}5$

$$\frac{p_{ср}}{k} = 0{,}238\,\frac{l}{h} + 0{,}841.$$

(III.13б)

Кривые $\frac{p_{ср}}{k}$ для $\varepsilon = 0{,}1$; 0,3; 0,5 даны на рис. 31.

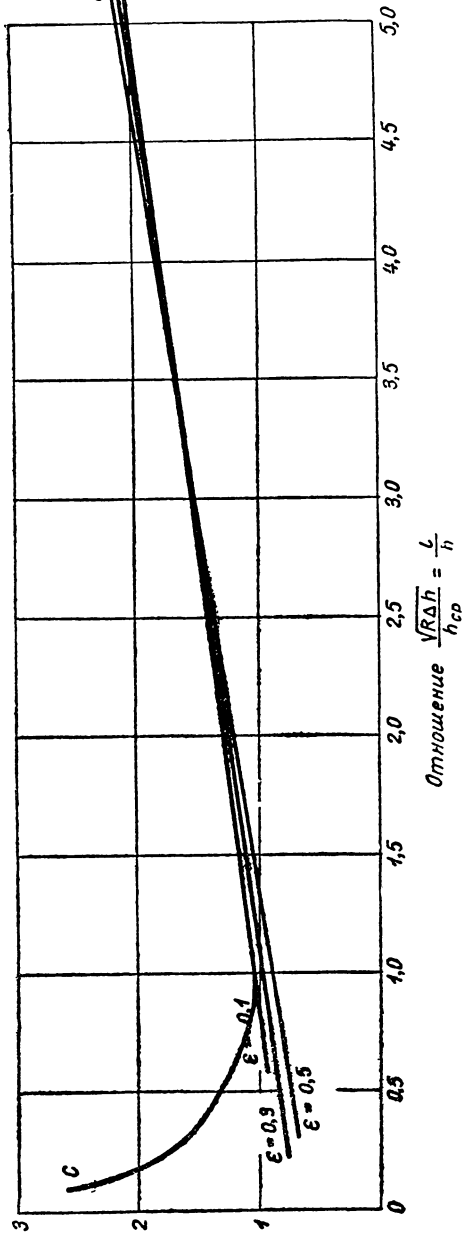


Рис. 30. Сравнение влияния внешнего трения $\left(\text{отношение } \frac{p_{ср}}{k}\right)$ в функции от величины $l:h$ по методу Р. Б. Симса для обжатия в 10, 30 и 50% за проход: c — коэффициент влияния внешних зон, по А. И. Целикову и В. В. Смирнову $c = \left(\frac{l}{h}\right)^{-0,4}$

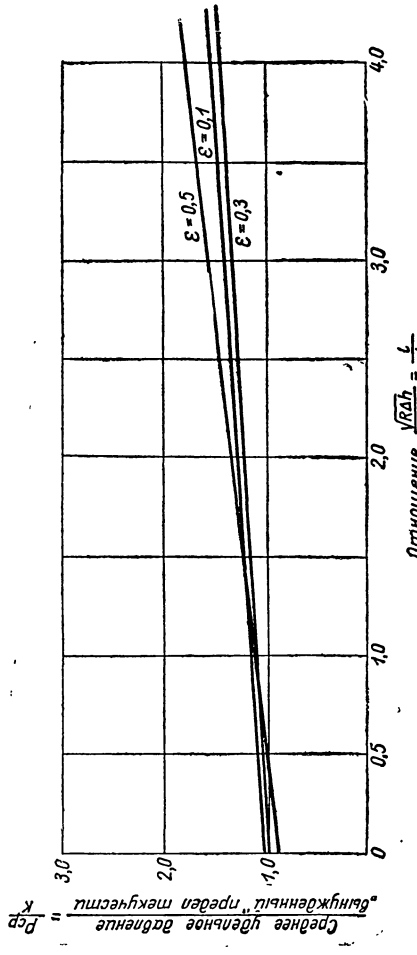


Рис 31. Сравнение влияния внешнего трения $\left(\text{отношение } \frac{p_{ср}}{k}\right)$ в функции от величины $l:h$ по формуле А. А. Королева (III. 13б) для обжатия в 10, 30 и 50% за проход

Таблица 4

Значения функций $Q_p\left(\frac{R}{h_2}; \varepsilon\right)$, отношение $\frac{p_{ср}}{k}$ и ψ, рассчитанные Ларке

Формулы	$\sqrt{\frac{R}{h_2}}$										
	1	5	10	20	30	50	100	150	200	250	300
	$\varepsilon = 0{,}1$; $a = \frac{2\sqrt{(1-\varepsilon)\varepsilon}}{2-\varepsilon} = \frac{2\sqrt{(1-0{,}1)\cdot 0{,}1}}{2-0{,}1} = 0{,}316$										
$a\sqrt{\frac{R}{h_2}} = l:h$	0,316	0,708	1,052	1,412	1,73	2,236	3,16	3,86	4,48	5,0	5,46
$p_{ср}:k$	—	0,948	1,022	1,127	1,208	1,337	1,57	1,698	1,901	2,036	2,157
ψ	—	0,494	0,493	0,489	—	0,495	0,495	0,494	0,495	0,494	0,494
	$\varepsilon = 0{,}3$; $a = \frac{2\sqrt{(1-\varepsilon)\varepsilon}}{2-\varepsilon} = \frac{2\sqrt{(1-0{,}3)\cdot 0{,}3}}{2-0{,}3} = 0{,}538$										
$a\sqrt{\frac{R}{h_2}} = l:h$	0,538	1,204	1,7	2,4	2,94	3,8	5,38	6,58	7,6	8,5	9,32
$p_{ср}:k$	—	1,037	1,173	1,362	1,505	1,734	2,152	2,471	2,740	2,979	3,195
ψ	—	0,483	0,481	0,480	0,479	0,480	0,478	0,479	0,477	0,478	0,478
	$\varepsilon = 0{,}5$; $a = \frac{2\sqrt{(1-\varepsilon)\varepsilon}}{2-\varepsilon} = \frac{2\sqrt{(1-0{,}5)\ 0{,}5}}{2-0{,}5} = 0{,}666$										
$a\sqrt{\frac{R}{h_2}} = l:h$	0,666	1,492	2,22	2,98	3,64	4,7	6,66	8,12	9,46	10,52	11,54
$p_{ср}:k$	—	1,055	1,242	1,496	1,689	1,992	2,548	2,972	3,33	3,644	3,930
ψ	—	0,471	0,467	0,467	0,464	0,462	0,460	0,460	0,459	0,459	0,459

4. Формула Гелейи

Эта формула получена эмпирическим путем и имеет вид

$$\frac{p_{ср}}{k} = 1 + c\mu\sqrt[4]{v}\,\frac{l}{h}, \qquad \text{(III.14)}$$

где μ — коэффициент внешнего трения;
v — скорость прокатки, *м/сек*;
c — коэффициент, зависящий от отношения $\frac{l}{h}$.

5. Сравнение величины $\frac{p_{ср}}{\kappa}$, определенной по всем формулам

Такое сравнение произведено на рис. 32. Прямые $\frac{p_{ср}}{k}$ по формулам Симса и Королева нанесены для $\varepsilon = 0{,}3$, кривая по формуле Гелейи построена для $v = 1$ *м/сек* и $\mu = 0{,}5$.

Из рассмотрения рис. 32 можно сделать следующие выводы о зависимости $\frac{p_{ср}}{k}$ от $l:h$.

1. По всем методам расчета (кроме Гелейи) зависимость $\frac{p_{ср}}{k}$ от $l:h$ является линейной.

2. Наибольшие значения для $\frac{p_{ср}}{k}$ дает формула Е. П. Унксова, наименьшие — Королева, метод Симса дает средние значения.

3. Рост величины $\frac{p_{ср}}{k}$ в связи с увеличением $l:h$ происходит медленно и, на-

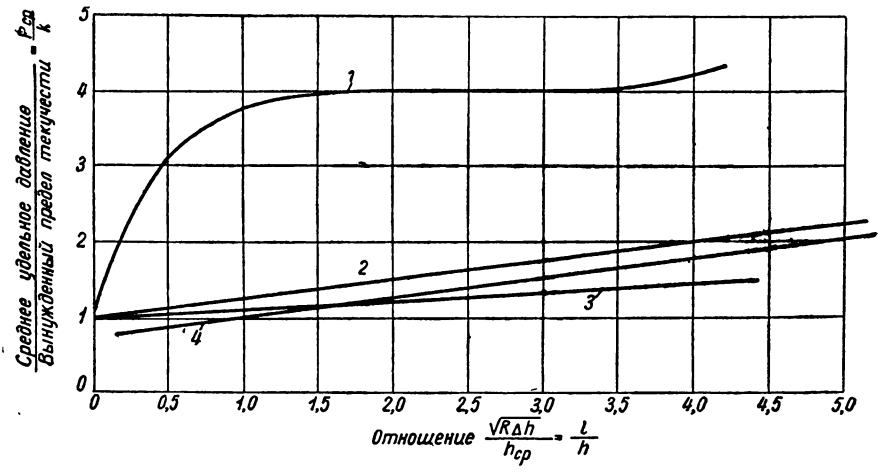


Рис. 32 Сравнение влияния внешнего трения $\left(\text{отношения } \frac{p_{ср}}{k}\right)$ в функции от $l:h$:
1 — Гелейи (μ=0,5; v = 1 *м/сек*); *2* — по формуле Е. П. Унксова; *3* — по формуле А. А. Королева (ε = 0,3); *4* — по методу Симса (ε =0,3)

пример, по формуле Симса значение $\frac{p_{ср}}{k}$ удваивается лишь при $l:h=5$; при $l:h<1$ $\frac{p_{ср}}{k}$ также становится меньше единицы.

4. Гелейи при расчетах по его формуле рекомендует пользоваться величиной предела прочности, полученной при статических испытаниях, не вводя динамического коэффициента, вследствие чего величина $\frac{p_{ср}}{k}$ имеет значительно большие значения, чем по всем остальным формулам.

Целиков упоминает, что Гелейи учитывает в своей формуле влияние внешних зон полосы, однако из рис. 32 этого не видно.

§ 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ $p_{ср}$ от $l:h$ и ε

Из предыдущего следует, что если предел текучести не изменяется, то среднее удельное давление теоретически зависит лишь от $l:h$ и ε.

Непосредственная экспериментальная проверка этого затруднена, так как величина предела текучести k зависит от температуры, скорости деформации и степени деформации.

Влияние температуры при прокатке нетолстых образцов может быть сведено до минимума, если образцы прокатывать при постоянной начальной температуре.

Влияние скорости деформации $u_{ср}$ при постоянном числе оборотов учитывается зависимостью $p_{ср}=f\left(\frac{l}{h};\varepsilon\right)$, так как, согласно выражению (I. 26а), при $n=$ = 100 об/мин

$$u_{ср}=10{,}47-10{,}83\frac{l}{h},$$

т. е. скорость деформации сама является линейной функцией от $l:h$.

Однако влияние относительного обжатия за проход на величину предела текучести может служить причиной значительных отклонений кривых $p_{ср}$ от предсказанного теорией характера, что и имеет место, в особенности при прокатке толстых сечений с малым отношением $l:h$.

При прокатке же тонких образцов предсказанный теорией характер кривых в общем подтверждается экспериментально, хотя и наблюдается некоторый разброс кривых для разных величин относительно обжатия за проход.

На рис. 33 даны кривые средних удельных давлений $p_{ср}$ при прокатке меди с начальной температурой 850° в функции $(l:h;\ \varepsilon)$, построенные по результатам исследований О. Эмике и К. Люкаса.

Авторы дали результаты своих опытов в виде кривых $p_{ср}=f\left(\frac{h_2}{D};\varepsilon\right)$, но, пользуясь зависимостью

$$\frac{h_2}{D}=\frac{2(1-\varepsilon)\varepsilon}{(2-\varepsilon)^2}\cdot\left(\frac{l}{h}\right)^{-2},$$

мы эти кривые привели к зависимости

$$p_{ср}=f(l:h;\ \varepsilon).$$

Кривые на рис. 33 близки к прямым линиям, однако при малых значениях $l:h$ они имеют тенденцию к образованию минимума. Об условиях этих опытов более подробно будет сообщено в § 1 главы VII.

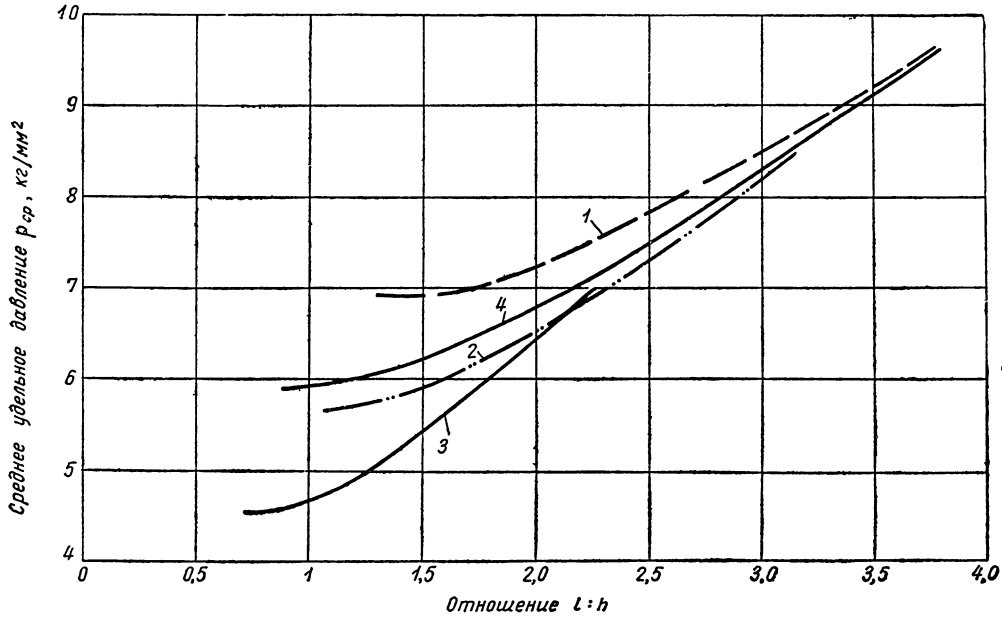


Рис. 33. Кривые средних удельных давлений при горячей прокатке технически чистой меди при температуре 850°. Диаметр валков 360 *мм*, скорость прокатки 0,5 *м/сек*. Размеры образцов: толщина от 5 до 40 *мм*, ширина от 80 до 300 *мм* Прокатка производилась в один проход с обжатием в 10, 20 и 30%:
1 — ε = 0,3; *2* — ε=0,2; *3* — ε =0,1; *4* — эквивалентная кривая

Недавно Г. Валквист по результатам очень точной лабораторной прокатки образцов толщиной 2,5; 5; 10 и 20 *мм* построил большое количество диаграмм для разных марок сталей при разных температурах в осях координат

$$p_v = f(h_1;\ D;\ \varepsilon),$$

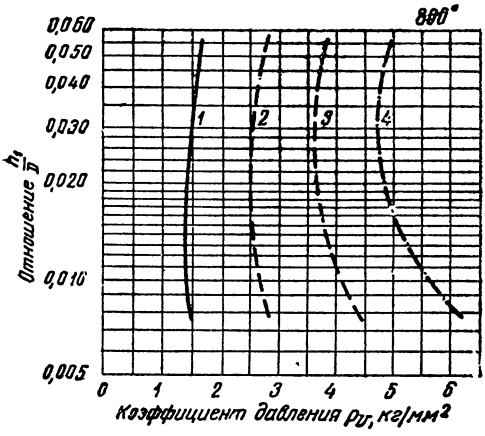


Рис. 34. Влияние отношения $\frac{h_1}{D}$ и относительного обжатия на коэффициент давления стали состава 1,02% C, 0,24% Si, 0,35% Mn, 0,027% P, 0,016% S, 0,56% Cr при 800°. Образцы толщиной 2,5; 5; 10 и 20 *мм* прокатывались в один проход на лабораторном стане с обжатием 10, 20, 30 и 40%. Задний конец полосы при прокатке находился в электропечи:
1 — обжатие 10%; *2* — 20%; *3* — 30%; *4* — 40%;

где p_v — «коэффициент давления», определяется из выражения $p_v = \frac{P}{bD}$.

На рис. 34 приведена одна такая диаграмма для стали состава: 1,02% C, 0,24% Si, 0,35% Mn, 0,027% P, 0,016% S, 0,56% Cr при температуре 800°.

Эти кривые легко могут быть вычерчены в координатах $p_{ср} = f(\varepsilon;\ l:h)$ с помощью уравнений

$$\frac{h_1}{D} = \frac{2\varepsilon}{(2-\varepsilon)^2}\left(\frac{l}{h}\right)^{-2}$$

и

$$p_{ср} = p_v \frac{2-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot \frac{l}{h}$$

по следующей методике построения:

а) по выбранным значениям $\frac{h_1}{D}$ и ε находится величина $\frac{l}{h}$;

б) по данным величинам p_v, ε, $\frac{l}{h}$ вычисляется $p_{ср}$.

На рис. 35 диаграмма (см. рис. 34) перестроена в координатной системе $p_{ср} = f(\varepsilon;\ l:h)$.

Из рассмотрения рис. 33 и 35 видно, что лабораторные исследования по прокатке образцов различной исходной толщины и

с разным обжатием (при постоянной температуре) подтверждают предсказанный теорией характер зависимости величины $p_{ср}$ от отношения $l:h$ и обжатия за проход ε.

очень большой разброс точек. Например, при $l:h = 0{,}55$ $p_{ср}$ изменяется от 3 до 7 *кг/мм*², т. е. более чем на 130%.

Кривые проведены так, чтобы точки рас-

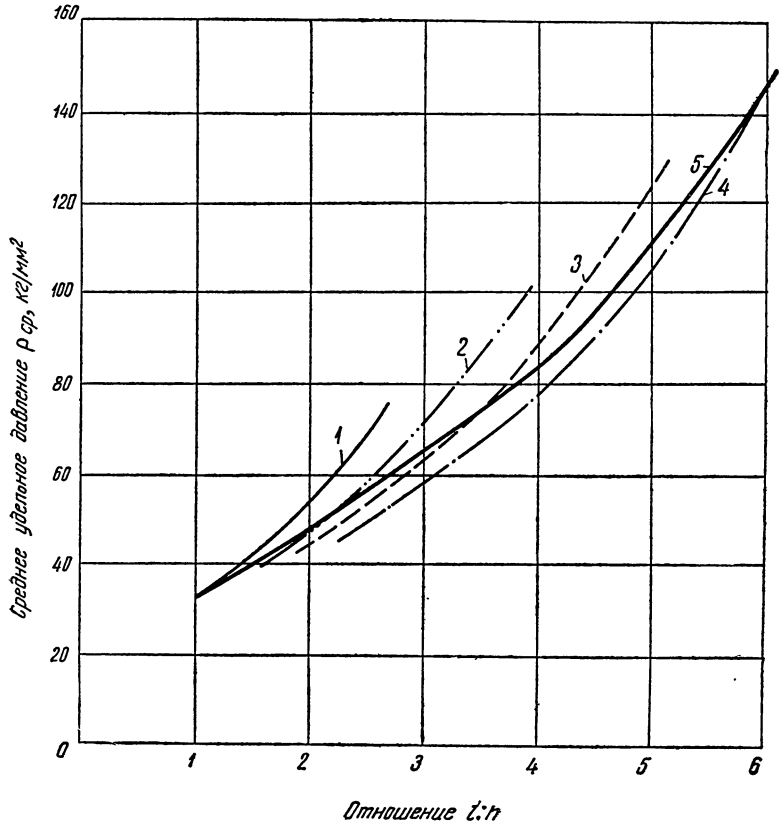


Рис. 35. Кривые средних удельных давлений при горячей прокатке стали. Кривые построены по диаграмме рис. 34:
1 — обжатие 10%; *2* — 20%; *3* — 30%; *4*—40% *5* — эквивалентная кривая

В осях координат $p_{ср} - l:h$ кривые $p_{ср}$ для различных обжатий ложатся весьма кучно и вполне могут быть объединены одной эквивалентной кривой.

Это обстоятельство легло в основу предложенного автором метода обобщения результатов экспериментальных исследований. Удельные давления, измеренные при прокатке слитков в производственных условиях в последовательное число проходов и нанесенные в виде точек в функции от $l:h$, могут быть объединены одной эквивалентной кривой.

На рис. 36 приведены кривые $p_{ср}$, построенные в функции от двух рассмотренных аргументов по данным исследования горячей прокатки слитков латуни марки Л62 на трехвалковом и нереверсивном двухвалковом промышленных станах в последовательных проходах. Данные этих исследований приведены в табл. 18. Из рис. 36 видно, что обе зависимости дают положились более или менее равномерно по обе стороны от них. Обе кривые $p_{ср}$ имеют минимум.

§ 4. ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ЗОН НА СРЕДНЕЕ УДЕЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ

Экспериментальные исследования показали, что все кривые удельных давлений в функции $l:h$ имеют минимум, лежащий при $l:h < 1$ и не предсказанный теориями прокатки. В особенности это относится к прокатке на блюмингах и слябингах, когда кривые $p_{ср}$ приобретают вид парабол.

Объясняется это тем, что все теории прокатки допускают, что в условиях отсутствия внешнего трения среднее удельное давление равно величине предела текучести при сжатии.

Единственным исключением является поправка Е. Орована на неравномерное рас-

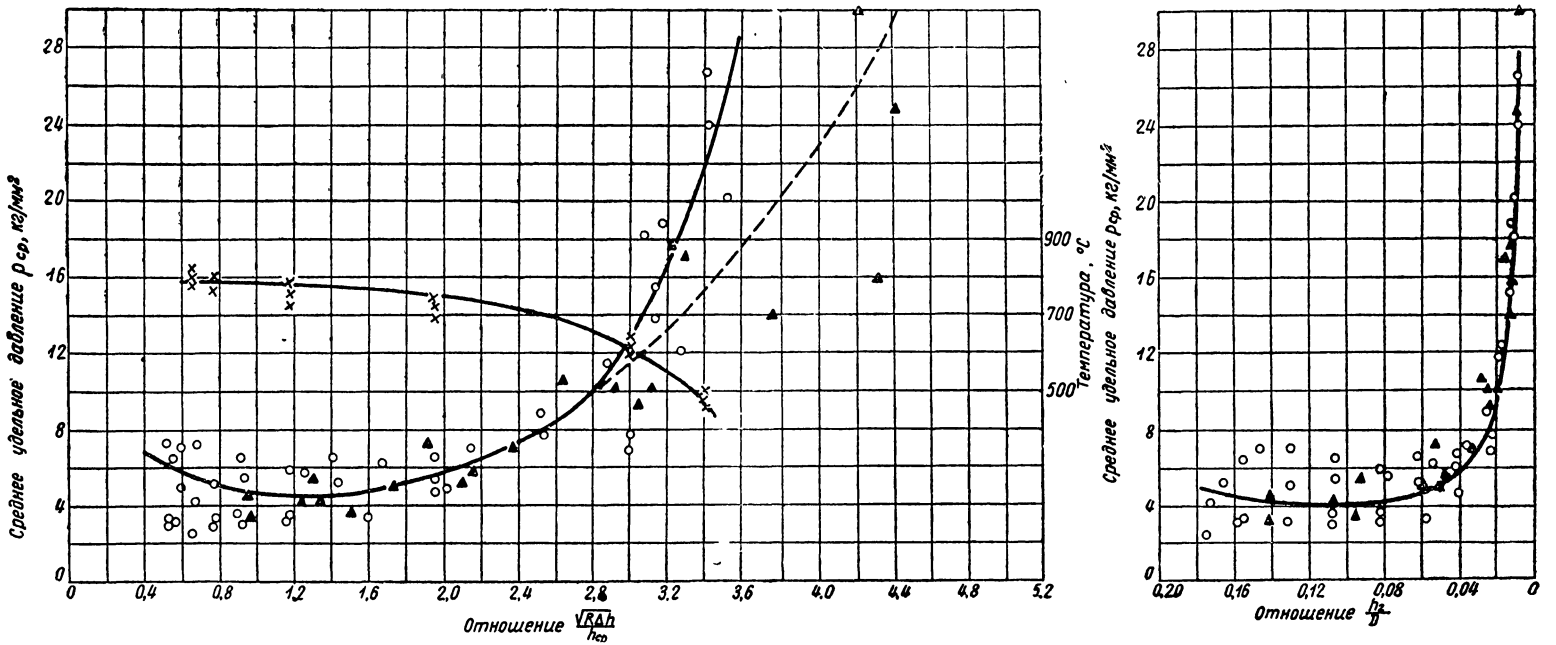


Рис. 36. Сравнение кривых $p_{ср}$ в функции от двух аргументов при горячей прокатке латуни марки Л62 в последовательных проходах на трехвалковом стане 650/570/650×1525 со скоростью 1,35 *м/сек* (○) и нереверсивном двухвалковом с диаметром валков 750 и длиной бочки 1500 со скоростью 1,8 *м/сек* (△). Данные опытов см. в табл. 18

пределение напряжений по высоте полосы, согласно которой $k' = \frac{\pi}{4} k$. Однако этой поправки недостаточно, если дуга захвата значительно меньше высоты полосы.

При $l : h < 1$ среднее удельное давление на поверхности контакта выше предела текучести при сжатии, даже при отсутствии всякого трения, так как внешние зоны препятствуют деформации части слаба, сжатой валками Для случая, когда слаб и инструмент бесконечно широки (плоская деформация) Прандтль [1] нашел, что проникновение плоских сжимающих плит в очень тонкий слаб идеально пластичного материала в условиях отсутствия внешнего трения возможно лишь, когда $\frac{p_{c0}}{k} = 1 + \frac{\pi}{2}$, т. е. когда среднее удельное давление на поверхности в 2,57 раза больше предела текучести.

А. И. Целиков и В. В. Смирнов, сравнивая давления при осадке свинцовых образцов, имевших внешние зоны, с образцами, не имевшими их, нашли что для $0{,}05 < \frac{l}{h} < 1$ существует следующая эмпирическая зависимость для учета влияния внешних зон на среднее удельное давление

$$c = \left(\frac{l}{h}\right)^{-0,4} \qquad \text{(III.15)}$$

[1] Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik, 1923, Bd. 3, S. 401.

В. Ф. Пушкарев проверял эту зависимость при прокатке образцов из стали 50, выполненных с перемычкой. При обжатии части образца до перемычки внешних зон не было, при обжатии части образца за перемычкой — они были.

Сравнивая давления в обоих случаях В. Ф Пушкарев уточнил предыдущую зависимость следующим образом

при $0{,}3 < \frac{l}{h} < 0{,}7$

$$c = \left(\frac{l}{h}\right)^{-0,42} \qquad \text{(III,15а)}$$

при $0{,}7 < \frac{l}{h} < 1$

$$c = \left(\frac{l}{h}\right)^{-0,21} \qquad \text{(III.15б)}$$

Итак, реальные кривые $p_{ср}$ в осях $l : h$ имеют минимум. Рост величины $p_{ср}$ влево от минимума объясняется влиянием внешних зон, рост вправо происходит в результате увеличения влияния внешнего трения из-за утонения полосы $\left(\text{рост}\frac{p_{ср}}{k}\right)$ и увеличения величины k из-за охлаждения полосы и возрастания скорости сжатия.

ЛИТЕРАТУРА

(Использована также литература, указанная в главе II)

1. E. Larke. Sheet Metal Industries, 1956, v. 33, № 350, pp. 411—417.
2. Ш Гелейи Расчет усилий и энергии при пластической деформации металлов, Машгиз, 1955, стр. 167.
3. Г. Валквист Исследование энергосиловых параметров при горячей прокатке металла, Металлургиздат, 1957.
4. Н. Н. Крейндлин. Расчет обжатий при прокатке листов и лент из цветных металлов и сплавов, Металлургиздат, 1950.
5. А. И Целиков и В. В. Смирнов. Сталь, 1952, № 7.
6 O. Emike, K. Lükas. Zeitschrift für Metallkunde, 1937, № 1.

ГЛАВА IV

РАСЧЕТ ДАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛА С УЧЕТОМ НАТЯЖЕНИЯ И НАКЛЕПА ЛЕНТЫ И СПЛЮЩИВАНИЯ ВАЛКОВ

Переднее и заднее натяжение, наклеп металла при прохождении через валки, а также «сплющивание» валков — все эти одновременно действующие факторы, сопутствующие холодной прокатке тонких листов и лент, значительно усложняют теоретический метод расчета давления.

Как было показано выше, натяжение снижает давление металла на валки, в особенности заднее натяжение. Оно обеспечивает также получение ряда технологических преимуществ, в первую очередь получение хорошей выкатки. В этом и состоит основное назначение натяжения.

Влияние натяжения и наклепа на давление металла на валки теоретически исследовали Целиков, Хейн, Рокотян, Тринкс, Надаи, Королев и др.

Надаи вывел закон изменения удельного давления по дуге захвата при сухом трении с учетом натяжения [уравнения (II. 23а) и (II. 23б)], но не дал конечной расчетной формулы для определения величины $p_{ср}$. Поэтому его метод, заключающийся в построении по точкам эпюры удельных давлений с последующим планиметрированием площади этой эпюры для определения значения $p_{ср}$ не может иметь практического значения.

Целиков дал несколько формул для расчета давления с учетом натяжения. Первая формула получена им в результате интегрирования уравнений (II. 24а) и (II. 24б). Она разработана на основе анализа сжатия полосы между плоскими плитами, наклоненными под углом, равным половине угла захвата.

В связи с громоздкостью этой формулы Целиков предложил более простую, при выводе которой он приравнял процесс прокатки процессу осадки между параллельными плоскими плитами. Однако эта формула учитывает также и наклеп, так как для зоны отставания в нее подставляется величина k_1, а для зоны опережения — величина k_2.

Было показано, что эта формула дает большие погрешности и Целиков с Третьяковым предложили другую упрощенную формулу.

Рокотян, приравняв также процесс прокатки процессу осадки, дал формулу для расчета давления с учетом натяжения и наклепа. В своей формуле он учитывает наклеп исходя из прямолинейного изменения предела текучести по дуге захвата.

Был предложен также ряд других формул, основанных на тех или иных дополнительных математических упрощениях.

Королев высоту нейтрального сечения определяет по выражению $h_н = \sqrt{h_1 h_2}$, что при холодной прокатке иногда дает большие погрешности.

Арутюнов заменил криволинейные эпюры удельных давлений прямолинейными.

Точное решение уравнений Бленда и Форда для расчета давлений с учетом натяжения и наклепа, а также уравнений для определения момента прокатки недавно опубликовали Лианис и Форд, построившие номограммы, с помощью которых при известном навыке весь расчет занимает 15—20 мин.

При холодной прокатке вследствие высоких удельных давлений валки сплющиваются и длина дуги захвата значительно увеличивается, становясь много больше длины дуги, рассчитанной по недеформирующимся валкам. Существует формула для определения дуги захвата при деформированных, «сплющенных» валках, заменяющая фактическую эпюру распределения удельных давлений эллиптической. В настоящее время метод, который положен в основу этой формулы, является единственным для учета сплющивания валков.

Во многих случаях прокатки необходимо учитывать одновременное действие всех трех факторов: натяжения, наклепа и сплющивания.

Поэтому сначала рассматриваются методы расчета, учитывающие наклеп и натяжение, и иллюстрируется их применение на определенном случае прокатки. Затем рассматривается формула, учитывающая «сплющивание» валков, и показывается способ ее применения для расчетов давления.

§ 1. ДАВЛЕНИЕ МЕТАЛЛА НА ВАЛКИ С УЧЕТОМ НАТЯЖЕНИЯ И НАКЛЕПА

1. Формула Целикова

Методом, аналогичным указанному при выводе формулы, Целиков проинтегрировал уравнения удельного давления (II. 23а) и (II. 23б), учитывающие натяжение, и получил формулу для расчета давления металла на валки с учетом натяжения, но без учета наклепа. Хотя в своей статье Целиков дал уравнение для расчета давления с учетом натяжения и наклепа, он не дал формулы, которая позволила бы рассчитать отношение $\frac{h_н}{h_2}$ с учетом наклепа

В предложенном автором виде формула пишется следующим образом:

$$p_x = \xi_2 k \left(\frac{h_x}{h_2}\right)^{\delta+1}. \qquad \text{(IV.2б)}$$

$$\frac{p_{ср}}{k} = \frac{h_н}{2\mu l}\left\{\frac{1}{\delta-1}(\xi_1\delta-1)\cdot\left[\left(\frac{h_1}{h_н}\right)^{\delta}-\frac{h_1}{h_н}\right]+\left(\frac{h_1}{h_н}-1\right)+\right.$$
$$\left.+\frac{1}{\delta+1}(\xi_2\delta+1)\cdot\left[\left(\frac{h_н}{h_2}\right)^{\delta}-\frac{h_2}{h_н}\right]-\left(1-\frac{h_2}{h_н}\right)\right\}, \qquad \text{(IV.1)}$$

где

$$l = \sqrt{R\Delta h};$$

$$\delta = \mu\sqrt{\frac{2D}{\Delta h}} = \frac{2\mu l}{\Delta h};$$

$$\xi_1 = 1 - \frac{\sigma_1}{k_1};$$

$$\xi_2 = 1 - \frac{\sigma_2}{k_2};$$

Из совместного решения уравнений (IV. 2а) и (IV. 2б) определяется высота критического сечения

$$h_н = \sqrt[2\delta]{\frac{\xi_1}{\xi_2} h_1^{\delta-1} h_2^{\delta+1}}. \qquad \text{(IV.3)}$$

Подставляя выражения (IV. 2а) и (IV. 2б) в уравнение (III. 3) общего давления и принимая, что в зоне отставания $k = k_1$, а в зоне опережения $k = k_2$, авторы получили следующее выражение для определения $p_{ср}$ с учетом натяжения и наклепа:

$$p_{ср} = \frac{1}{\Delta h}\left\{\xi_1 k_1 \frac{h_1}{\delta-2}\left[\left(\frac{h_1}{h_н}\right)^{\delta-2}-1\right]+\xi_2 k_2 \frac{h_2}{\delta+2}\left[\left(\frac{h_н}{h_2}\right)^{\delta+2}-1\right]\right\}. \qquad \text{(IV.4)}$$

$h_н$ — высота полосы в критическом сечении, которую находят определением значений h в точке пересечения кривых давления для областей обратного скольжения (II. 24а) и опережения (II. 24б).

Таким образом, определено выражение (II. 45).

$$\frac{h_н}{h_2} = \left[\frac{1+\sqrt{1+(\xi_1\delta-1)\cdot(\xi_2\delta+1)\cdot\left(\frac{h_1}{h_2}\right)^{\delta}}}{\xi_2\delta+1}\right]^{\frac{1}{\delta}}.$$

Необходимо еще раз отметить, что эта формула основана на замене процесса прокатки осадкой между плоскостями, проходящими через хорду дуги касания.

2. Приближенная формула Целикова и Третьякова

В целях упрощения решения уравнения (II. 16) авторы приняли, что $k = p_x$, и получили

$$\frac{dp_x}{dx} - \frac{p_x}{y}\cdot\frac{dy}{dx} \pm \frac{\mu}{y}p_x = 0.$$

В этом уравнении переменные разделяются. После интегрирования и определения произвольных постоянных в зоне отставания

$$p_x = \xi_1 k\left(\frac{h_1}{h_x}\right)^{\delta-1}, \qquad \text{(IV.2а)}$$

в зоне опережения

3. Формула Рокотяна

В работе, специально посвященной исследованию изменения предела текучести по дуге захвата при холодной прокатке, Рокотян установил, что с достаточной для практики точностью можно принять, что предел текучести по дуге захвата изменяется по прямой линии, т. е.

$$k_{f_x} = k_{f_1} + \frac{k_{f_2} - k_{f_1}}{l}x, \qquad \text{(IV.5)}$$

где k_{f_x} — текущее значение предела текучести по дуге захвата, соответствующее абсциссе x;

k_{f_1} — предел текучести до прокатки (в точке входа);

k_{f_2} — предел текучести после прокатки (в точке выхода);

l — длина дуги захвата.

В связи с тем, что учет наклепа по уравнению (IV. 5) значительно усложняет конечные формулы расчета давления, Рокотян

тян принял, что толщина полосы по дуге захвата будет постоянной и равной

$$h = \frac{h_1 + h_2}{2}.$$

Следовательно, Рокотян приравнял процесс прокатки между окружностями валков процессу осадки между параллельными плоскими плитами. Формула Рокотяна имеет вид

$$p_{ср} = 1{,}15b \frac{l}{2m^2}\left(\sqrt{\rho_1\rho_2}\, e^m - \frac{\rho_1 + \rho_2 + \ln\frac{\rho_2}{\rho_1}}{2}\right), \qquad \text{(IV.6)}$$

где

$$\rho_1 = 1 + \frac{2\mu k_{f_1}}{lh}\left(1 - \frac{1}{1{,}15 k_{f_1}}\right);$$

$$\rho_2 = \frac{2\mu}{h}\left[\frac{f\left(1 - \frac{\sigma_2}{1{,}15 k_{f_1}}\right)}{b} + l\right] - 1;$$

$$m = \frac{\mu l}{h};$$

$$b = \frac{k_{f_2} - k_{f_1}}{l},$$

$$l = \sqrt{R\Delta h};$$

σ_2 — переднее натяжение;

σ_1 — заднее натяжение.

При отсутствии натяжения полосы $\sigma_1 = \sigma_2 = 0$, тогда

$$p_{ср} = 1{,}15b \frac{l}{m^2}\left[\sqrt{\rho_1\rho_2}\, e^m - \left(\rho_1 + m + \frac{1}{2}\ln\frac{\rho_2}{\rho_1} - 1\right)\right]. \qquad \text{(IV.7)}$$

Рокотян также показал, что если принять предел текучести неизменяющимся по дуге захвата, то при замене окружностей валков плоскими плитами среднее удельное давление с учетом натяжения может быть определено по следующей формуле:

$$\frac{p_{ср}}{k} = \frac{\sqrt{\xi_1\xi_2}\, e^m - \frac{\xi_1 + \xi_2}{2}}{m} \qquad \text{(IV.8)}$$

При $\sigma_1 = \sigma_2 = 0$ уравнение превращается в обычную формулу осадки (III. 6) для расчета без учета натяжения.

4. Приближенный метод расчета давления с учетом натяжения и наклепа

По этому методу давление металла рассчитывается по формуле (III. 4) с использованием кривых (см. рис. 26). Следовательно,

$$\delta = \mu\sqrt{\frac{2D}{\Delta h}},$$

а затем, по рис. 26, для заданной величины обжатия по величине δ находится величина $\frac{p_{ср}}{k}$.

Так как натяжение уменьшает величину k до значения $(k - \sigma_1)$ в плоскости входа и до $(k - \sigma_2)$ в плоскости выхода, то среднее значение k становится равным

$$\frac{(k - \sigma_1) + (k - \sigma_2)}{2} = k - \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} = k'.$$

Произведение $\frac{p_{ср}}{k}$ на величину k' и дает среднюю величину давления металла на валок.

Для получения наиболее правильных результатов по указанному методу необходимо принимать среднее истинное значение предела текучести k по дуге захвата в случае, если k вдоль дуги захзата изменяется непрямолинейно. Если же принимать значения k_1 в плоскости входа и k_2 в плоскости выхода, то результаты получатся менее точными. В этом случае

$$k' = \frac{(k_1 - \sigma_1) + (k_2 - \sigma_2)}{2} =$$

$$= \frac{k_1 + k_2}{2} - \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}.$$

Так как этот метод расчета не учитывает, что натяжение смещает положение нейтральной плоскости, то он может давать сравнительно правильные результаты лишь

в случае применения одинакового по величине переднего и заднего натяжения. В этом случае результаты расчета по этому методу аналогичны результатам расчета по уравнению (IV.8). В случае большой разницы в величинах σ_1 и σ_2 возможны значительные погрешности.

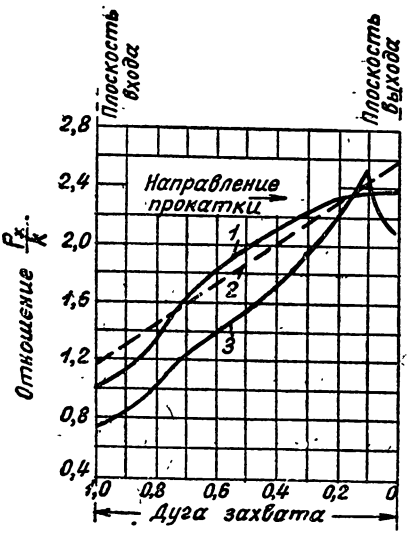


Рис 37. Расчет $p_{ср}$ при холодной прокатке стальных лент с учетом наклепа и натяжения D = 406 *мм*; h_1 = 1,6 *мм*; h_2 = 0,74 *мм*; μ = 0,04; σ_1 = 6,47 *кг/мм²*; σ_2 = 7,73 *кг/мм²*: *1* — кривая k; *2* — эквивалентная прямая k, принятая для расчета по формуле Рокотяна (IV 6); *3* — расчетная кривая p_x

§ 2. СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ ПО ФОРМУЛАМ С МАТЕМАТИЧЕСКИ ТОЧНЫМ МЕТОДОМ ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ПО ТОЧКАМ

Рассчитаем среднее удельное давление металла на валок при следующих условиях:

Диаметр валков D, *мм*	406
Толщина ленты, *мм*:	
до пропуска h_1	1,6
после пропуска h_2	0,74
Относительное обжатие $\frac{h_1 - h_2}{h_1} \cdot 100$, %	54
Коэффициент трения μ	0,04
Переднее натяжение σ_2, *кг/мм²*	7,73
Заднее натяжение σ_1, *кг/мм²*	6,47
Предел текучести в плоскости входа $(1{,}15\ k_{f_1})$, k_1, *кг/мм²*	27
Предел текучести в плоскости выхода $(1{,}15\ k_{f_2})$, k_2, *кг/мм²*	64

Предел текучести в рассматриваемом проходе изменяется не прямолинейно, а по кривой, показанной на рис. 37 На этом рисунке показано рассчитанное методом численного интегрирования изменение удельного давления по дуге захвата. Среднее значение $\frac{p_{ср}}{k}$, согласно этой кривой, составляет около 1,6, так что $p_{ср} = 1{,}6 \cdot 27 = 42{,}9$ *кг/мм²*.

1. Формула Целикова (IV. 1)

В связи с тем, что выражение (IV. 1) не учитывает наклепа в течение прохода, то, естественно, результат будет зависеть от того, какую величину k использовать в расчете.

Можно, например, принять среднее значение k по кривой (рис. 37). Это будет более правильным, чем определение k как полусуммы из значений k_1 в точке входа и k_2 в точке выхода, так как в этом случае не учитывается криволинейный характер изменения k по дуге захвата.

Произведем расчет, используя оба метода определения величины k.

Первый случай. Среднее истинное значение k определено по рис. 37: k = 50 *кг/мм²*.

Определяем постоянные величины, входящие в формулу:

$$l = \sqrt{R \Delta h} = \sqrt{203 \cdot 0{,}86} = 13{,}22\ мм;$$

$$\delta = \frac{2\mu l}{\Delta h} = \frac{2 \cdot 0{,}04 \cdot 13{,}2}{0{,}86} = 1{,}23;$$

$$\xi_1 = 1 - \frac{\sigma_1}{k} = 1 - \frac{6{,}47}{50} = 0{,}871;$$

$$\xi_2 = 1 - \frac{\sigma_2}{k} = 1 - \frac{7{,}73}{50} = 0{,}845;$$

$$\frac{h_н}{h_2} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + (\xi_1\delta - 1)\cdot(\xi_2\delta + 1)\left(\frac{h_1}{h_2}\right)^{\delta}}}{\xi_2\delta + 1}\right]^{\frac{1}{\delta}} =$$

$$= \left[\frac{1 + \sqrt{1 + (0{,}871 \cdot 1{,}23 - 1)(0{,}845 \cdot 1{,}23 + 1)\cdot\left(\frac{1{,}6}{0{,}74}\right)^{1{,}23}}}{0{,}845 \cdot 1{,}23 + 1}\right]^{\frac{1}{1{,}23}} = 1{,}05;$$

откуда $h_н = 1{,}05 \cdot 0{,}74 = 0{,}777$ *мм*;

$$\frac{p_{ср}}{k} = \frac{h_н}{2\mu l}\left\{\frac{1}{\delta - 1}(\xi_1\delta - 1)\cdot\left[\left(\frac{h_1}{h_н}\right)^{\delta} - \frac{h_1}{h_н}\right] + \left(\frac{h_1}{h_н} - 1\right) + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{\delta + 1}(\xi_2\delta + 1)\cdot\left[\left(\frac{h_н}{h_2}\right)^{\delta} - \frac{h_н}{h_2}\right] - \left(1 - \frac{h_2}{h_н}\right)\right\};$$

$$\frac{p_{ср}}{k} = \frac{0{,}777}{2 \cdot 0{,}04 \cdot 13{,}22}\left\{\frac{1}{1{,}23 - 1}(0{,}871 \cdot 1{,}23 - 1)\times\right.$$

$$\times\left[\left(\frac{1{,}6}{0{,}777}\right)^{1{,}23} - \frac{1{,}6}{0{,}777}\right] + \left(\frac{1{,}6}{0{,}777} - 1\right) + \frac{1}{1{,}23 + 1}\times$$

$$\left.\times(0{,}845 \cdot 1{,}23 + 1)\cdot\left(1{,}05^{1{,}23} - \frac{0{,}74}{0{,}777}\right) - \left(1 - \frac{0{,}74}{0{,}777}\right)\right\} = 0{,}905;$$

$$p_{ср} = 50 \cdot 0{,}905 = 45{,}25.$$

Второй случай. k определено как полусумма из значений k_1 и k_2.

$$k = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{27 + 64}{2} = 45{,}5 \text{ кг/мм}^2;$$

$$\xi_1 = 1 - \frac{6{,}47}{45{,}5} = 0{,}858;$$

$$\xi_2 = 1 - \frac{7{,}73}{45{,}5} = 0{,}83;$$

2. Формула Целикова и Третьякова (IV.4)

При расчете по этой формуле возможны два случая:

1) принимается, что предел текучести в точке входа k_1 является средним значением для всей зоны обратного скольжения, а k_2 — средняя величина для всей области опережения;

2) принимаются средние истинные значения k_1 и k_2 из рис. 37 по кривой k для зоны обратного скольжения и для зоны опережения.

$$\frac{h_н}{h_2} = \left[\frac{1 + \sqrt{1 + (0{,}858 \cdot 1{,}23 - 1)\cdot(0{,}83 \cdot 1{,}23 + 1)\cdot 2{,}58}}{0{,}83 \cdot 1{,}23 + 1}\right]^{\frac{1}{1{,}23}} = 1{,}041;$$

Откуда

$$h_н = 0{,}74 \cdot 1{,}041 = 0{,}771;$$

$$\frac{p_{ср}}{k} = \frac{0{,}771}{2 \cdot 0{,}04 \cdot 13{,}22}\left\{\frac{1}{1{,}23 - 1}(0{,}858 \cdot 1{,}23 - 1)\times\right.$$

$$\times\left[\left(\frac{1{,}6}{0{,}771}\right)^{1{,}23} - \frac{1{,}6}{0{,}771}\right] + \left(\frac{1{,}6}{0{,}771} - 1\right) + \frac{1}{1{,}23 + 1}\times$$

$$\left.\times(0{,}83 \cdot 1{,}23 + 1)\cdot\left(1{,}041^{1{,}23} - \frac{0{,}74}{0{,}771}\right) - \left(1 - \frac{0{,}74}{0{,}771}\right)\right\} = 0{,}882.$$

Откуда

$$p_{ср} = 0{,}882 \cdot 45{,}5 = 40{,}1 \text{ кг/мм}^2.$$

Первый случай. За средние значения принимаются входное значение k_1 и выходное значение k_2.

$$\xi_1 = 1 - \frac{\sigma_1}{k_1} = 1 - \frac{6{,}47}{27} = 0{,}76;$$

$$\xi_2 = 1 - \frac{\sigma_2}{k_2} = 1 - \frac{7{,}73}{64} = 0{,}88;$$

В формулу Рокотяна входит величина предела текучести $k = 31{,}5 : 1{,}15 = 27{,}4$ *кг/мм*²:

$$b = \frac{k_2 - k_1}{1{,}15l} = \frac{70 - 31{,}5}{1{,}15 \cdot 13{,}2} = 2{,}54;$$

$$h_н = \sqrt[2\delta]{\frac{\xi_1}{\xi_2} h_1^{\delta-1} h_2^{\delta+1}} = \sqrt[2{,}46]{\frac{0{,}76}{0{,}86} \cdot 1{,}6^{0{,}23} \cdot 0{,}74^{2{,}23}} = 0{,}755 \text{ мм};$$

$$p_{ср} = \frac{1}{\Delta h}\left\{\xi_1 k_1 \frac{h_1}{\delta - 2}\left[\left(\frac{h_1}{h_н}\right)^{\delta-2} - 1\right] + \xi_2 k_2 \frac{h_2}{\delta + 2}\left[\left(\frac{h_н}{h_2}\right)^{\delta+2} - 1\right]\right\} =$$

$$= \frac{1}{0{,}8}\left\{0{,}76 \cdot 27 \frac{1{,}6}{1{,}23 - 2}\left[\left(\frac{1{,}6}{0{,}755}\right)^{1{,}23-2} - 1\right] + \right.$$

$$\left. + 0{,}88 \cdot 64 \frac{0{,}74}{1{,}23 + 2}\left[\left(\frac{0{,}755}{0{,}74}\right)^{1{,}23+2} - 1\right]\right\} = 22{,}4 \text{ кг/мм}^2.$$

Второй случай. По рис. 37 можно принять, что среднее значение вынужденного предела текучести для зоны обратного скольжения $k_1 = 45$ *кг/мм*², а для зоны опережения $k_2 = 63{,}8$ *кг/мм*².

В этом случае

$$\xi_1 = 1 - \frac{6{,}47}{45} = 0{,}856;$$

$$\xi_2 = 1 - \frac{7{,}73}{63{,}8} = 0{,}88;$$

$$h = \frac{h_1 + h_2}{2} = \frac{1{,}6 + 0{,}74}{2} = 1{,}17 \text{ мм};$$

$$\rho_1 = 1 + \frac{2\mu k_{f1}}{bh}\left(1 - \frac{\sigma_1}{1{,}15 k_{f1}}\right) =$$

$$= 1 + \frac{2 \cdot 0{,}04 \cdot 27{,}4}{2{,}54 \cdot 1{,}17} \times$$

$$\times \left(1 - \frac{6{,}47}{1{,}15 \cdot 27{,}4}\right) = 1{,}59.$$

$$h_н = \sqrt[2{,}46]{\frac{0{,}856}{0{,}88} \cdot 1{,}6^{0{,}23} \cdot 0{,}74^{2{,}23}} = 0{,}788 \text{ мм};$$

$$p_{ср} = \frac{1}{0{,}86}\left\{0{,}856 \cdot 45 \frac{1{,}6}{1{,}23 - 2}\left[\left(\frac{1{,}6}{0{,}788}\right)^{1{,}23-2} - 1\right] + \right.$$

$$\left. + 0{,}88 \cdot 63{,}8 \frac{0{,}74}{1{,}23 + 2}\left[\left(\frac{0{,}788}{0{,}74}\right)^{1{,}23+2} - 1\right]\right\} = 42{,}4 \text{ кг/м}^2.$$

3. Формула Рокотяна (IV. 6)

Для расчета по формуле Рокотяна кривую k заменяем эквивалентной приблизительной прямой, показанной на рис. 37 пунктиром; k_1 и k_2 изменятся и примут значения $k_1 = 31{,}5$ *кг/мм*² и $k_2 = 70$ *кг/мм*².

$$\rho_2 = \frac{2\mu}{h}\left[\frac{k_2\left(1 - \frac{\sigma_2}{1{,}15 k_{f_1}}\right)}{b} + l\right] - 1 =$$

$$= \frac{2 \cdot 0{,}04}{1{,}17}\left[\frac{27{,}4\left(1 - \frac{7{,}73}{1{,}15 \cdot 27{,}4}\right)}{2{,}54} + 13{,}2\right] - 1 = 1{,}46 - 1 = 0{,}46.$$

$$p_{ср} = 1{,}15\, b\, \frac{h^2}{2\mu^2 l}\left[\sqrt{\rho_1\rho_2}\, e^{\frac{\mu l}{h}} - \frac{\rho_1 + \rho_2 + \ln\frac{\rho_2}{\rho_1}}{2}\right] =$$

$$= 1{,}15 \cdot 2{,}54\, \frac{1{,}17^2}{2 \cdot 0{,}04^2 \cdot 13{,}2}\left(\sqrt{1{,}59 \cdot 0{,}46}\, e^{\frac{0{,}04 \cdot 13{,}2}{1{,}17}} - \right.$$

$$\left. - \frac{1{,}59 + 0{,}46 + \ln\frac{0{,}46}{1{,}59}}{2}\right) = 41{,}4 \ кг/мм^2.$$

4. Приближенный метод расчета

По рис. 26 для $\delta = 1{,}23$ и при обжатии за проход на 53% находим отношение $p_{ср} : k = 0{,}99$.

Среднее истинное значение k по дуге захвата, согласно рис. 37, можно принять равным 50 *кг/мм²*. Тогда

$$k_1 = k - \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} =$$

$$= 50 - \frac{6{,}47 + 7{,}73}{2} = 42{,}9 \ кг/мм^2,$$

откуда

$$p_{ср} = \frac{p_{ср}}{k}\, k' = 0{,}99 \cdot 42{,}9 = 42{,}4 \ кг/мм^2.$$

Если же пользоваться средним значением предела текучести, определяемым как полусумма значений в точке входа и выхода, тогда

$$k' = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} =$$

$$= \frac{27 + 64}{2} - \frac{6{,}47 + 7{,}73}{2} = 38{,}4,$$

а

$$p_{ср} = 0{,}99 \cdot 38{,}4 = 38 \ кг/мм^2.$$

Результаты всех выполненных расчетов сведены в табл. 5.

Рассмотренный частный случай прокатки иллюстрирует применение различных методов расчета, учитывающих одновременное действие натяжения и наклепа, и не может служить основанием для каких-либо общих заключений о точности того или другого метода. Однако на основании табл. 5 можно сделать некоторые частные выводы относительно рассчитанного прохода.

Наиболее правильные результаты дали формула Целикова (IV.1) и приближенный метод расчета с использованием среднего истинного значения предела текучести k. Следует особенно обратить внимание на то, что формула Целикова (IV.1) дала весьма точные результаты, хотя предел текучести в рассчитываемом проходе изменяется от 27 *кг/мм²* в плоскости входа до 64 *кг/мм²* в плоскости выхода, т. е. почти в 2,4 раза.

Таблица 5

Сравнение величины $p_{ср}$ для случая прокатки, представленного на рис. 37 и рассчитанного различными методами

Метод расчета	Расчетная величина	Разница, %
Точный метод графического интегрирования дифференциального уравнения по точкам	42,9	—
Формула Целикова (IV.1):		
а) k равно «истинному» среднему значению по дуге захвата	45,25	+5,2
б) k равно полусумме значений в точке входа и выхода	40,1	—6,5
Формула Целикова и Третьякова (IV.4):		
а) k_1 и k равны входному и выходному значениям	22,4	—48
б) k_1 и k_2 равны средним «истинным» значениям, взятым отдельно для зоны обратного скольжения и зоны опережения	42,4	—1,0
Формула Рокотяна (IV.6)	41,4	—3,5
Приближенный метод:		
а) k равно «истинному» среднему значению k	42,4	—1,0
б) k равно полусумме значений k в точке входа и выхода	38	—11,5

Формула Рокотяна также дала хороший результат, но это объясняется тем, что в рассматриваемом проходе переднее и заднее натяжения являются весьма близкими по величине, а криволинейное изменение предела текучести заменено прямолинейным.

При подстановке в формулу Целикова и Третьякова (IV 4) крайних значений k_1 и k_2 (в точках входа и выхода) разница достигает 48%. Из рис. 37 видно, что в рассчитываемом проходе длина зоны опережения составляет лишь 10% от всей дуги захвата, и поэтому более высокое значение k_2 в этой зоне не может, конечно, компенсировать слишком низкое значение k_1, принимаемое за среднее значение для всей зоны обратного скольжения, которая занимает 90% всей длины дуги захвата. Результаты значительно улучшились, когда в формулу были подставлены значения k_1 и k_2, являющиеся средними значениями для областей опережения и отставания. Разница в этом случае составила 1,0%.

§ 3. РАСЧЕТ ДАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛА НА ВАЛКИ С УЧЕТОМ СПЛЮЩИВАНИЯ ВАЛКОВ

Сплющивание валков вследствие их упругости является фактором, неизбежно сопутствующим всякому процессу прокатки и значительно усложняющим его. При больших удельных давлениях, возникающих во время холодной прокатки полос с высоким пределом текучести, деформация валков приобретает настолько значительную величину, что ее необходимо учитывать в расчетах давления металла на валки.

Из рис. 38 можно видеть что сплющивание валков обусловливает:

а) смещение точки выхода металла из валков за вертикальную линию центров валков:

б) увеличение дуги захвата по сравнению с недеформированным валком при том же обжатии.

В связи с этим приближенно допускается, что сплющивание валков увеличивает радиус валка и смещает его центр за линию центров. В действительности, вероятно, сплющенная дуга не является частью увеличенной окружности, а представляет собой параболическую кривую. Приближенно длина дуги захвата при сплющивании валков была определена следующим образом.

Если x и y — координаты недеформированной поверхности валка радиусом R относительно точки выхода металла из валков, то, очевидно,

$$x^2 + (R - y)^2 = R^2.$$

Так как при холодной прокатке значение y весьма мало в сравнении с R, то пренебрегая y^2, можно написать

$$y = \frac{x^2}{2R}.$$

Предположим, что кривая поверхности деформированного валка выражается уравнением

$$y' = f(x).$$

Так как целью расчета является определение длины деформированной дуги захвата $l' = x_0 + x_2$, то нас будут интересовать следующие характеристические точки этой дуги:

а) точка *5* с абсциссой x_0 — точка выхода металла из валков.

б) точка *3* с абциссой x_2 — точка входа металла в валки;

в) точка *4* с абциссой x_1 — предполагаемая центральная точка, относительно которой радиальная деформация принимается симметричной.

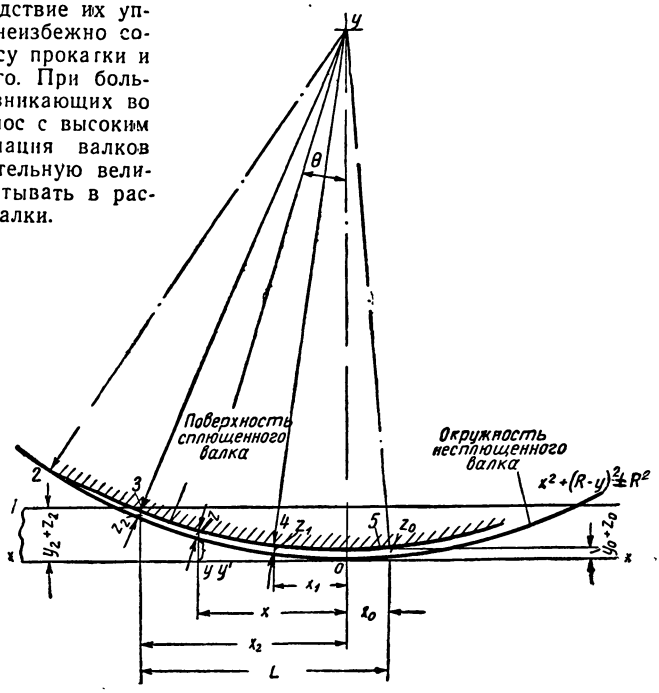


Рис 38. Упругая деформация («сплющивание») окружности валка при холодной прокатке

Если радиальную деформацию валка в какой-либо точке с абсциссой x, радиус к которой образует с вертикальной линией

центров угол θ, обозначить через z, то из рис. 38

$$y' = y + \frac{z}{\cos\theta}.$$

Для холодной прокатки угол θ настолько мал (практически не превышает 4°), что можно принять $\cos\theta = 1$; отсюда

$$y' = \frac{x^2}{2R} + z. \qquad \text{(IV.9)}$$

Предположим, что прокатываемая полоса не дает упругих деформаций и не пружинит после выхода из валков. Тогда можно принять плоскость выхода полосы из валков совпадающей с линией центров деформированных валков.

Соответственно в точке выхода (точка 5 на рис. 38) деформированная поверхность валка будет иметь вершину выпуклости, и касательная к ней в этой точке будет горизонтальна. (В действительности, вследствие наличия упругой деформации полосы, точка выхода сместится вперед за линию деформированных центров.)

Отсюда при $x = -x_0$.

$$\left(\frac{dy'}{dx}\right)_{x=-x_0} = 0.$$

По уравнению (IV. 9)

$$\frac{dy'}{dx} = \frac{x}{R} + \frac{dz}{dx},$$

откуда

$$x_0 = R\left(\frac{dz}{dx}\right)_{x=-x_0}.$$

Далее принимается, что эпюра распределения удельного давления по дуге захвата является эллиптической. Эпюра такого вида по форме очень близка к тем эпюрам, которые были получены Люэгом путем измерения. В теории упругости выводится, что для этого случая нагружения цилиндра радиальная деформация любой точки дуги соприкосновения определяется следующим уравнением:

$$\frac{d^2z}{dx^2} = \frac{4(1-\gamma^2)P}{\pi E a^2}, \qquad \text{(IV.10б)}$$

где γ — коэффициент Пуассона;

E — модуль упругости материала валков;

a — половина длины дуги захвата, равная $\frac{l}{2}$;

P — полное давление металла на валок.

Обозначая являющуюся постоянной величиной правую часть уравнения (IV. 9) через k и интегрируя, получаем

$$\frac{dz}{dx} = -kx + C_1.$$

Постоянную интегрирования C_1 определяем из условия, что наибольшая радиальная деформация имеет место посредине деформированной дуги (точка 4, абсцисса x_1, рис. 38), т. е.

$$\frac{dz}{dx} = 0 = -kx + C_1,$$

откуда

$$C_1 = kx_1,$$

а

$$\frac{dz}{dx} = -k(x - x_1).$$

Из этого уравнения и уравнения (IV. 10а)

$$x_0 = Rk(x_0 + x_1).$$

Так как a — половина дуги захвата, то $a = x_0 + x_1$, откуда

$$x_1 = \frac{4R(1-\gamma^2)P}{\pi E x_0} - x_0. \qquad \text{(IV.11)}$$

Теперь для нахождения величины x_2 аналогично уравнению (IV. 9) можно написать

$$y'_2 = \frac{x_2^2}{2R} + z_2$$

и

$$y_0 = \frac{x_0^2}{2R} + z_0,$$

откуда, учитывая, что $y'_2 - y_0 = \frac{\Delta h}{2}$,

$$\frac{x_2^2}{2R} + z_2 - \frac{\Delta h}{2} = \frac{x_0^2}{2R} + z_0.$$

Соответственно эллиптической нагрузке, приложенной симметрично относительно центральной точки 4, принимается, что радиальная деформация точек дуги захвата является также симметричной относительно точки 4, так что $z_2 = z_0$ и

$$x_2^2 - x_0^2 = hR. \qquad \text{(IV.12)}$$

Кроме того, из рис. 38

$$\frac{x_2 + x_0}{2} = x_1 + x_0,$$

или

$$x_0 = x_2 - 2x_1.$$

Подставляя в это выражение значение x_1 из уравнения (IV. 11), получаем

$$x_2 x_0 + x_0^2 = \frac{8R(1-\gamma^2)P}{\pi E}. \qquad \text{(IV.13)}$$

Из уравнения (IV. 12) и (IV. 13) можно найти значения x_2 и x_0, а следовательно,

длину деформированной дуги захвата:

$$l' = x_2 + x_0 = \sqrt{\left[\frac{8R(1-\gamma^2)p_{ср}}{\pi E}\right]^2 + R\Delta h} + \frac{8R(1-\gamma^2)p_{ср}}{\pi E}. \quad (IV.14)$$

Для стальных валков при $E = 2{,}1 \cdot 10^4$ *кг/мм*^{2} и $\gamma = 0{,}3$

$$l' = \sqrt{\left[\frac{8\cdot(1-0{,}3^2)}{3{,}14\cdot 2{,}1\cdot 10^4}\right]^2 R^2 p_{ср}^2 + R\Delta h} + \frac{8\cdot(1-0{,}3^2)}{3{,}14\cdot 2{,}10\cdot 10^4}\times$$

$$\times Rp_{ср} = \sqrt{1{,}21\cdot 10^{-8} R^2 p_{ср}^2 + R\Delta h} + 1{,}1\cdot 10^{-4} Rp_{ср}.$$

В формуле (IV. 14) первый член равен величине x_2, а второй — x_0.

Значение $p_{ср}$, которое подставляется в формулу (IV. 14), должно соответствовать сплющенной дуге захвата, а не расчетной величине для жестких (недеформированных) валков. Это создает известные трудности в непосредственном применении формулы (IV. 14) для расчета давлений металла на валки при их сплющивании.

На рис. 39 дан график для расчета длины сплющенной дуги захвата l'' по формуле (IV. 14). На этом графике величины $100\frac{l''}{R}$ являются ординатами, а $100\frac{p_{ср}}{E}$ — абсциссами. Наклонные же кривые, являющиеся параметрическими, имеют величину $\frac{100\Delta h}{R}$.

Этот график совместно с графиком рис. 26 в основном применяется для определения давления металла на валок при наличии сплющивания.

Формула (IV. 14) позволяет сделать следующие выводы в отношении факторов, влияющих на величину сплющивания валков:

1. Если валки считать недеформирующимися (абсолютно твердыми), т. е. если $E = \infty$, то формула (IV. 14) превращается в обычную формулу $l = \sqrt{R\Delta h}$.

2. Длина сплющенной дуги захвата l' при данных валках и давлении $p_{ср}$ зависит от модуля упругости валков E, но не зависит от твердости валков. Поэтому существующее мнение о том, что твердые валки сплющиваются, меньше, чем более мягкие, могло бы быть справедливым лишь в том случае, если бы модуль упругости был пропорционален твердости. Этой пропорциональности, однако в действительности не наблюдается.

3. Сплющивание валков тем больше, чем больше их диаметр и чем больше величина $p_{ср}$.

В связи с тем, что сплющивание растет с величиной $p_{ср}$, оно также увеличивается вместе со всеми факторами, вызывающими рост $p_{ср}$. Поэтому следует отметить, что сплющивание валков будет тем больше, чем более наклепана лента, чем меньше ее толщина и чем больше внешнее трение.

4. Сплющивание валков достигает чрезвычайно больших значений при малых обжатиях, особенно на прогладочных станах. Однако, как правильно указывает

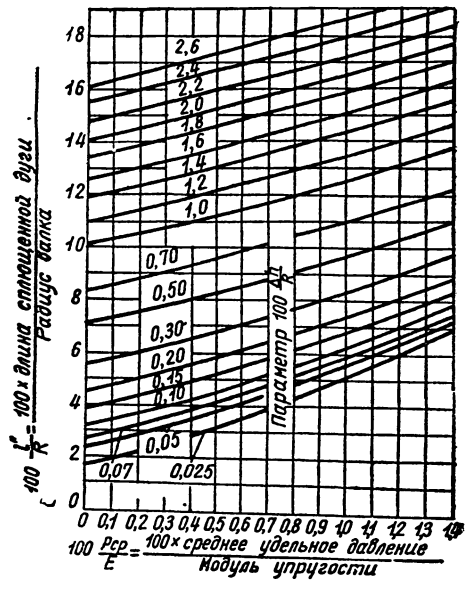


Рис. 39. Длина сплющенной дуги захвата в зависимости от обжатия и удельного давления по формуле (IV.14)

А. Я. Хейн, формула (IV. 14) вряд ли применима для малых обжатий ввиду того, что в этом случае величина упругой деформации ленты, которая не учитывается формулой (IV. 14), весьма значительна в сравнении с величиной обжатия.

Значение $p_{ср}$, которое подставляется в формулу (IV. 14), должно соответствовать сплющенной дуге захвата. Поэтому порядок расчета среднего удельного давления $p_{ср}$ с учетом сплющивания валков заключается в следующем:

а) длина дуги захвата, рассчитанная для недеформированных валков по формуле $l = \sqrt{R\Delta h}$, увеличивается до какой-то величины l', так как сплющивание валков вызывает уплинение дуги захвата;

б) по величине l', определенной по рис. 26 или по формуле (III. 4), рассчитывается значение $p_{ср}$;

в) по полученному значению $p_{ср}$ по формуле (IV. 14) или по рис. 39, рассчитывается длина дуги захвата l'';

г) если длина l', которой задавались, совпадает с полученной величиной l'', то $p_{ср}$ будет являться правильной величиной для сплющенной дуги захвата, а полное давление прокатываемой полосы на валок (на единицу ее ширины) $P = p_{ср}\, l'$;

д) если такого совпадения не получено, то необходимо задаться другой величиной l' и повторять весь расчет до тех пор, пока не будет получено совпадающих значений l' и l''.

При подборе совпадающих значений l' и l'' следует руководствоваться следующей зависимостью между ними: с увеличением l' (которой задаемся) растет и значение l'', с уменьшением l' уменьшается и l''.

Соответственно этому, если рассчитанная величина l'' получается больше намеченной величины l', то намечаемая новая величина l' должна быть принята больше полученной величины l''.

Если же l'' получилось меньше предположенной величины l', надо наметить l' меньшим полученного l''.

§ 4. ПРЕДЕЛЬНАЯ ТОЛЩИНА ЛЕНТЫ, КОТОРАЯ МОЖЕТ БЫТЬ ПРОКАТАНА ПРИ ДАННЫХ УСЛОВИЯХ ПРОКАТКИ

Предположим, что в валки, имеющие раствор h_0, задана лента также толщиной h_0. Чтобы создать ее обжатие, необходимо нажимными винтами с определенным давлением P вдавить валок в ленту. Когда в области дуги захвата среднее удельное давление превзойдет сопротивление металла деформации, лента начнет пластически деформироваться. Будем увеличивать давление нажатия валка. Под влиянием приложенного давления валок начнет сплющиваться, а длина дуги захвата увеличиваться до значения l'. С ростом l' повышается и влияние внешнего трения, т. е. отношение $\frac{p_{ср}}{k}$ и сопротивление деформации, с которым лента давит на валки.

Таким образом, увеличение P обусловливает рост l', а эта последняя повышает значение $p_{ср}$, необходимое для пластической деформации. Возможно положение, при котором P вызовет настолько большое увеличение l', что среднее удельное давление $p_{ср} = \frac{P}{Bl}$ будет меньше, чем сопротивление металла ленты пластической деформации. Когда это условие достигается, то дальнейшее увеличение давления P не вызовет никакого увеличения обжатия.

Следовательно, существует определенный предел толщины полосы, которая может быть прокатана из данного материала на валках заданного диаметра. При достижении этого предела деформация полосы превращается только в упругую, и обжатие ее невозможно.

На рис. 40 изображены условия, возникающие в области захвата при достижении полосой наименьшей толщины.

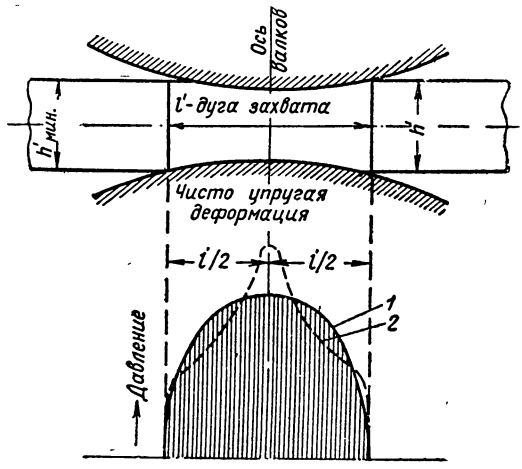


Рис. 40 Распределение удельного давления в области дуги захвата при достижении лентой минимальной толщины Деформация чисто упругая и обжатие равно нулю:
1 — эллипс. уравнение (IV 14); *2* — вероятное фактическое распределение давления

В связи с тем, что деформация является чисто упругой, максимум удельного давления и нейтральная плоскость размещаются на линии центров валков. Заменяя окружности валков плоскими плитами, получаем среднюю величину удельного давления металла на валок, согласно формуле (III. 6):

$$p_{ср} = k\frac{e^m - 1}{m}.$$

Но в этом случае

$$m = \frac{\mu\, l'}{h'},$$

а l' может быть определена по выражению (IV. 14) из условия $\sqrt{R\Delta h} = 0$. При этом выражение (IV. 14) превращается в

$$l' = \frac{8D\,(1 - \gamma^2)\,p_{ср}}{\pi E}.$$

Подставляя это выражение для дуги захва-

та в уравнение (III.6), получаем

$$p_{ср} = k\frac{e^{\frac{\mu D(1-\gamma^2)\,8p_{ср}}{\pi Eh'}} - 1}{\frac{\mu D(1-\gamma^2)\,8p_{ср}}{\pi Eh'}},$$

откуда

$$p_{ср}^2 = \frac{k\pi E}{8(1-\gamma^2)\mu D}h'\left(e^{\frac{8\mu(1-\gamma^2)Dp_{ср}}{E\pi h'}} - 1\right). \qquad (IV.16)$$

При заданном диаметре валков и материале ленты все величины, входящие в это уравнение, кроме $p_{ср}$ и h', известны, так что уравнение может быть написано следующим образом:

$$p_{ср}^2 = Ah'\left[e^{\frac{ap_{ср}}{h'}} - 1\right], \qquad (IV.16а)$$

где

$$A = \frac{k\pi E}{8(1-\gamma^2)\mu D};$$

$$a = \frac{8\mu(1-\gamma^2)D}{\pi E}.$$

γ — коэффициент Пуассона;
k — вынужденный предел текучести.

В случае прокатки с равным по величине передним и задним натяжением величина k понижается до $k\xi$.

Приведенное уравнение дает теоретическую зависимость между минимальной толщиной полосы h' и средним удельным давлением, но оно может решаться только путем подбора. Для одного частного случая прокатки это решение было найдено. Вот условия этого прохода: валки стальные диаметром 457,2 *мм*; $E = 21090$ *кг/мм*^{2}; $\gamma = 0{,}3$ и $\mu = 0{,}04$. Вынужденный передел текучести равен 77,3 *кг/мм*^{2}. Натяжение ленты равно: а) нулю и б) 23,2 *кг/м*^{2} при одинаковом переднем и заднем натяжении. Результаты расчетов даны на рис. 41, на котором минимальная толщина ленты h' проведена в зависимости от полного давления металла на валки, отнесенного к единице ширины ленты, т. е. от

$$l'p_{ср} = ap_{ср}^2.$$

Из рис. 41 видно, что по мере увеличения силы нажатия валков на ленту толщина полосы уменьшается до минимума, а затем начинает возрастать. Как уже говорилось, это объясняется все увеличивающимся сплющиванием валков и повышающимся вследствие этого сопротивлением металла деформации.

Этот вывод согласуется с практическими наблюдениями. Из приведенных уравнений следует, что для того, чтобы на заданных валках получить наиболее тонкую ленту, необходимо или увеличить натяжение ленты, или уменьшить значение μ, или подвергнуть металл отжигу. Другой путь — вести прокатку на валках меньшего диаметра.

Необходимо подчеркнуть, что приведенные расчеты весьма приближенны и точность их неопределенна вследствие серьезности тех упрощений, которые положены в основу выражения (IV.14)

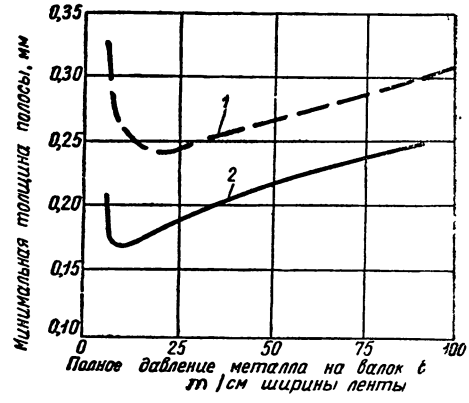


Рис. 41. Расчетное изменение минимальной толщины ленты в зависимости от давления. Прокатываемый материал — сталь, $k = 77{,}3$ *кг/мм*^{2}; диаметр валков 457,2 *мм*; $\mu = 0{,}04$. Величины переднего и заднего натяжения одинаковы: $\xi_1 = \xi_2 = 0{,}7$:
1 — без натяжения; *2* — с натяжением

Особенно важно, что при выводе этого уравнения не учитывались упругие деформации самой полосы.

§ 5. ПРИМЕР РАСЧЕТА ДАВЛЕНИЯ С УЧЕТОМ СПЛЮЩИВАНИЯ ВАЛКОВ

В качестве примера рассчитаем схему обжатий при прокатке никелевых листов с начальными размерами: толщина 5,5 *мм*, ширина 1350 *мм*, длина 3000 *мм*. Конечная

Таблица 6

Расчет давления металла на валки при холодной прокатке никелевых листов начальной толщиной 5,5 *мм* и шириной 1350 *мм*

на двухвалковом стане (по рис. 39)

Валки из кованой стали диаметром 625 *мм* и длиной бочки 1600 *мм*. Наибольшее допустимое давление металла на валок 950 *т*. Прокатка с незначительной смазкой, $\mu = 0{,}15$

№ прохода	h_1, *мм*	h_2, *мм*	Δh, *мм*	$\frac{\Delta h}{h_1} 100$, %	Общее обжатие после отжи а, l_0	Среднее общее обжатие после отжига, %	$k = 1{,}15\, k_f$, *кг/мм²*	$l = \sqrt{R \Delta h} = 17{,}7 \sqrt{\Delta h}$, *мм*	l', *мм*	$\delta = \frac{2\mu l'}{\Delta h}$	$\frac{p_{ср}}{k}$	$p_{ср} = \frac{p_{ср}}{k} k$, *кг/мм²*	$100 \frac{p_{ср}}{E}$	$100 \frac{\Delta h}{R}$	$100 \frac{l''}{R}$	l'', *мм*	Полное давление P, *т*
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	5,50	4,90	0,6	10,9	10,9	5,45	36	13,7	15,4	7,72	1,2	43,2	0,196	0,192	4,9	15,2	890
2	4,90	4,60	0,3	6,10	16,4	13,65	49,5	9,7	11,3	11,3	1,19	59	0,268	0,096	3,75	11,7	930
3	4,60	4,40	0,2	4,35	20	18,2	55	7,91	10,0	15	1,15	63,3	0,288	0,064	3,2	10	855
4	4,40	4,25	0,15	3,41	22,8	21,4	58,3	6,85	9,4	18,8	1,19	68,4	0,311	0,048	3,0	9,4	870
5	4,25	4,15	0,10	2,36	24,6	23,7	61,2	5,60	8,5	25,5	1,13	69,1	0,314	0,032	2,8	8,7	810
6	4,15	4,05	0,10	2,41	26,4	25,5	61,8	5,60	8,5	25,5	1,13	69,8	0,317	0,032	2,8	8,7	820
7	4,05	4,00	0,05	1,23	27,3	26,9	63,3	3,96	7,2	43,2	1,12	70,9	0,322	0,016	2,1	6,6	630

толщина листа должна определиться расчетом. Прокатка производится на реверсивном стане с валками из кованой стали диаметром 625 *мм* и длиной бочки 1600 *мм*. Наибольшее допустимое давление металла на валок 950 *т*. Прокатка производится с незначительной смазкой, так что коэффициент внешнего трения можно принять $\mu = 0{,}15$.

Расчет произведен в двух вариантах: с учетом и без учета сплющивания валков.

Расчет обжатий с учетом сплющивания валков прои ведем по формуле Целикова (III. 4) с использованием кривых (рис. 26) и по формуле (IV. 14) с использованием кривых рис. 39.

Удобнее производить расчет в форме табл. 6.

Ниже приводятся пояснения к составлению этой таблицы Графы 1, 2, 3, 4, 5 и 6 в пояснениях не нуждаются.

Графа 7. Среднее общее обжатие от отжига определяется как среднее значение общего обжатия до и после данного прохода. Например, если после четвертого прохода металл имеет общее обжатие 22,8%, а после пятого — 24,6%, то среднее значение обжатия в пятом проходе составит

$$\frac{22{,}8 + 24{,}6}{2} = 23{,}7\%.$$

Графа 8. Значение предела текучести никеля в данном проходе находится по кривой *3* рис. 65. В расчет принимается средняя в данном проходе величина предела текучести, которая берется соответственно величине среднего значения общего обжатия в данном проходе.

Графа 9. Длина дуги захвата при недеформированных валках рассчитывается по обычной формуле: $l = \sqrt{R \Delta h} = \sqrt{312{,}5\, \Delta h} = 17{,}7 \sqrt{\Delta h}$.

Графы 10, 11, 12 и 13. Задаемся предположительной длиной дуги захвата l' и определяем величину $p_{ср}$ обычным методом по кривым рис. 26.

Графы 14, 15 и 16 содержат расчет фактической длины сплющенной дуги захвата l'' по кривым рис. 39. В графе 14 вычислены значения $100 \frac{p_{ср}}{E}$, являющиеся абсциссами на рис. 39, а в графе 15 — значения $100 \frac{\Delta h}{R}$, нанесенные на том же рисунке в виде параметрических кривых. В графе 16 приведены значения $100 \frac{l''}{R}$, которые определяются как ординаты на рис. 39 по значениям $100 \frac{\Delta h}{R}$ и $100 \frac{p_{ср}}{E}$.

Графа 17. В этой графе определено значение l''. Так как величина $p_{ср}$ годится для сплющенной дуги захвата в том случае, если l'' совпадает с предположенной величиной l', то при совпадении этих величин проход считается рассчитанным. В противном случае необходимо задаваться другой величиной l', руководствуясь правилом, приведенным выше.

Графа 18. Полное давление металла на

валок рассчитывается по обычной формуле: $P = p_{ср} bl''$.

Из табл. 6 ясно, что за семь проходов лист может быть выкатан до толщины 4 *мм*, т. е. общее обжатие составляет лишь 27,3%. Абсолютное обжатие в последнем проходе возможно лишь 0,05 *мм*, после чего металл для дальнейшей прокатки целесообразно подвергнуть отжигу.

В табл. 7 выполнен аналогичный расчет, но сплющивание валков не учитывалось. В этом случае абсолютное обжатие в любом проходе выше, чем с учетом сплющивания валков, и общее обжатие является также более высоким. Действительно, в седьмом проходе лист получает абсолютное обжатие 0,15 *мм* при толщине листа после прохода в 3,25 *мм*, и есть возможность дать еще один или два прохода. Следовательно, общее обжатие возможно до 41% и больше.

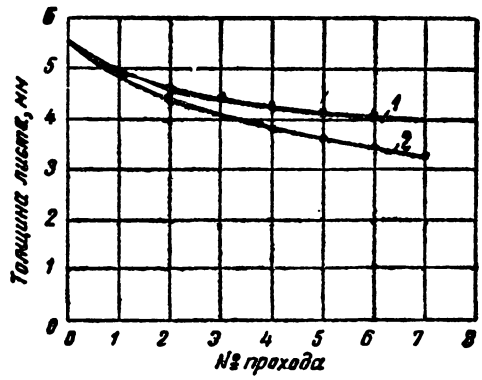


Рис. 42. Сравнение результатов расчета обжатий с учетом и без учета сплющивания при прокатке никелевых листов: *1* — с учетом сплющивания валков; *2* — без учета сплющивания

Таблица 7

Расчет давления металла на валки к случаю, приведенному в табл. 6, но без учета сплющивания валков

(Данные для расчета те же, что и в табл. 6)

№ прохода	h_1, *мм*	h_2, *мм*	Δh, *мм*	$\frac{\Delta h}{h_1} 100$, %	Обжатие после отжига, %	Среднее общее обжатие после отжига, %	$k = 1.15\, k_f$, *кг/мм²*	$l = 17.7\sqrt{\Delta h}$, *мм*	$\delta = \frac{2\mu l}{\Delta h}$	$\frac{p_{ср}}{k}$	$p_{ср}$ *кг/мм²*	Полное давление P, *т*
1	5,50	4,80	0,7	12,7	12,7	6,35	37	14,8	6,35	1,23	45,5	910
2	4,8	4,40	0,4	8,33	20	16,35	53,5	11,2	8,4	1,20	64,3	970
3	4,40	4,10	0,30	6,82	25,5	22,75	60	9,7	9,7	1,20	72	945
4	4,10	3,85	0,25	6,1(	30	27,75	65	8,85	10,6	1,19	77,4	924
5	3,85	3,60	0,25	6,5(	34,6	32,3	68	8,85	10,6	1,19	80,8	965
6	3,60	3,40	0,20	5,56	38,2	36,4	70	7,92	12,5	1,19	83,5	900
7	3,40	3,25	0,15	4,41	41	39,6	72,5	6,85	13,7	1,13	82	760

На рис. 42 приведены результаты сравнения толщины листа по проходам на основе расчетов по табл. 6 и 7.

Большая разница в схеме обжатий объясняется тем, что при расчете с учетом сплющивания давление металла на валок прогрессивно увеличивается. Его рост происходит вследствие:

1) увеличения среднего удельного давления, так как в связи с ростом длины дуги захвата растет величина δ, увеличивается отношение $p_{ср}: k$.

2) увеличения общего давления в результате роста $p_{ср}$ и увеличения поверхности соприкосновения металла с валками.

Этот пример показателен в том отношении, что иллюстрирует, насколько важно учитывать сплющивание валков при прокатке металлов с высоким значением предела текучести.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Целиков. Влияние внешнего трения и натяжения на давление металла. Металлург, 1939, № 6.

2. А И Целиков и А. В Третьяков. Вестник машиностроения, 1954, № 12, стр. 10.

3. Е С Рокотян. Сталь, 1947, № 9, см. также автореферат докторской диссертации. Изд. АН СССР, 1956.

4. А А Королев. Новые исследования деформации металла при прокатке. Машгиз. 1953.

5. И Г Арутюнов Влияние натяжения металла на процесс холодной прокатки ленты, Машгиз, 1951.

6. G. Lianis, G. Ford. J. Inst. Met., april, 1956, № 8, p. 299.

7. V. Treenks. Blast Furnas and Steel Plante, July, 1931, pp. 713—715.

8. И Хичкок Роликовые подшипники. Доклад спец. исслед. комитета инженеров-механиков. 1935.

9. В. Тринкс. Удельное давление и сплющивание валков при холодной прокатке. Новости иностранной металлургии, 1938, № 12, реф

10. Keller. Blast Furnas and Steel Plante, 1943, № 10.

ГЛАВА V

УШИРЕНИЕ ПРИ ПРОКАТКЕ

§ 1. ОБЩАЯ ПРИРОДА УШИРЕНИЯ

Все рассмотренные теории прокатки предполагают, что ширина полосы не изменяется при прохождении металла через зев валков. Это допущение было сделано для упрощения обработки дифференциального уравнения прокатки и в общем оно верно, когда отношение ширины полосы к толщине велико. Однако в действительности уширение всегда имеет место, а когда $b:h<6$, его приходится учитывать в расчетах при необходимости получения лент определенной ширины.

Когда уширение значительно, то распределение удельного давления поперек полосы становится сильно неравномерным с

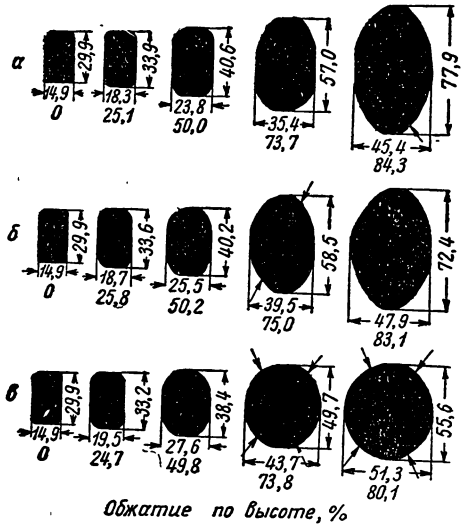


Рис. 43. Сжатие свинцовых призм прямоугольного сечения между параллельными плоскими плитами с различным состоянием поверхности Высота до сжатия 10 *мм*:
***а* — плиты полированные и смазанные, $\mu = 0{,}05$; *б* — плиты полированные не смазанные, $\mu = 0{,}1$; *в* — плиты шероховатые, $\mu = 0{,}3$**

максимумом посредине полосы и со снижением его к кромкам. Вследствие уширения кромка получается всегда утоненной в сравнении с остальной частью полосы, а в результате неравномерного распределения давлений в кромках возникают значительные напряжения растяжения, которые могут вызывать трещинообразование на кромках.

Умение рассчитать уширение часто требуется при горячей прокатке листовой заготовки, а при прокатке профилей уширение становится важнейшей проблемой

Имеется принципиальная разница в природе уширения в случае осадки прямоугольных образцов между параллельными плоскими плитами и в случае прокатки вследствие влияния в последнем случае внешних зон полосы.

На рис. 43 показаны периметры прямоугольных свинцовых призм после сжатия их на разную высоту. Из этого рисунка можно сделать следующие выводы:

1. При совершенно гладких полированных плитах с минимальным трением первоначально прямоугольное сечение остается прямоугольным и геометрически подобным при всех обжатиях.

2. При слегка шероховатых плитах прямоугольные образцы удлиняются больше в направлении, параллельном коротким сторонам, чем в направлении, параллельном

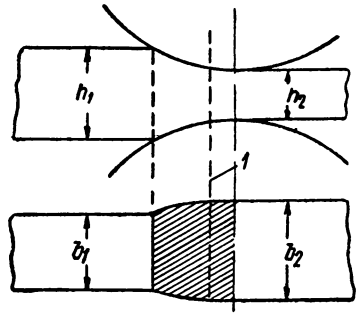


Рис. 44 Распределение уширения на контактной поверхности: *1* — нейтральная плоскость

длинным сторонам, а также больше в середине сечения, чем у краев.

3. При сильно шероховатых плитах это явление проявляется еще сильнее и прямоугольное сечение стремится принять форму круга.

Из пунктов 2 и 3 следует, что материал больше течет в том направлении, в котором сопротивление является наименьшим.

Особенности деформации металла при прокатке могут быть охарактеризованы следующим образом. При прокатке сжатие металла происходит между криволинейными окружностями валков; так как имеется угол наклона, металлу легче течь в длину, чем в ширину, где нет наклона. При прокатке лент, если пренебречь уширением, форма контактной поверхности является прямоугольником, у которого отношение $b:l$ большое. Поэтому сопротивление течению в сторону уширения гораздо больше, чем в сторону удлинения.

В действительности при прокатке контактная поверхность имеет вид, представленный на рис. 44, где фактическая величина уширения равна $b_2 - l_1$. Большая часть уширения лежит между плоскостью входа и нейтральной плоскостью и очень

незначительная часть увеличения ширины происходит между нейтральной плоскостью и плоскостью выхода.

Объясняется это влиянием внешних зон полосы, которые сдерживают уширение перед и за контактной поверхностью и стремятся выравнять удлинение полосы в ее центральной части и у боковых граней.

Благодаря этому действию внешних зон в плоскостях входа и выхода металла из валков возникают продольные напряжения, примерное распределение которых дано на рис. 45.

До настоящего времени ни одной теорией прокатки не учитывается влияние внешних

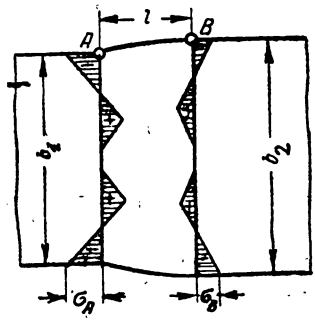


Рис. 45. Продольные напряжения в сечениях входа и выхода, вызываемые внешними зонами Знаком плюс обозначены напряжения сжатия (А. И. Целиков)

зон на уширение за исключением анализа, впервые проведенного А. И. Целиковым. Однако ввиду экспериментальной неизученности эпюры по рис. 45 А. И. Целиковым не получено конечной формулы для расчета уширения с учетом влияния внешних зон.

Имеется большое количество экспериментальных работ по исследованию уширения; они характеризуют многообразие факторов, влияющих на уширение и сложный характер их взаимодействия. Ниже будут приведены основные результаты этих исследований по зависимости уширения от различных факторов.

1. Влияние на уширение отношения ширины полосы к толщине ее

При прочих равных условиях, т. е. при одних и тех же начальной толщине h_1, диаметре валков D, коэффициенте внешнего трения μ, обжатии ε с ростом $b_1 : h_1$ уширение сперва увеличивается до максимума, а затем уменьшается и стремится к постоянной величине.

Величина отношения $b_1 : h_1$, соответствующего максимуму уширения, зависит от ряда факторов и в особенности большое влияние на него оказывает отношение $h_2 : D$. С уменьшением этого отношения растет величина отношения $b_1 : h_1$, при котором уширение максимально.

2. Влияние на уширение обжатия ε

Уширение возрастает с ростом обжатия. Скорость возрастания уширения в связи с изменением обжатия зависит от многих факторов: диаметра валков, коэффициента трения, отношения $b_1 : h_1$ и т. д.

3. Влияние на уширение диаметра валков

Уширение возрастает с увеличением диаметра валков.

4. Влияние на уширение коэффициента трения между валками и полосой

Уширение возрастает с увеличением коэффициента трения. В некоторых случаях уширение может быть одинаковым при прокатке на гладких и шероховатых валках. В этих случаях решающим является отношение длины дуги захвата к средней толщине полосы.

5. Влияние на уширение скорости прокатки

При горячей прокатке стали имеются основания считать, что уширение уменьшается с увеличением скорости прокатки. У магниевых сплавов обнаруживается обратное явление: рост уширения с увеличением скорости. У многих цветных металлов (алюминий, медь, свинец) уширение при горячей прокатке, по данным Тафеля и Анке, не зависит от скорости.

6. Влияние на уширение температуры прокатки

Практические наблюдения говорят об уменьшении уширения стали с ростом температуры. У меди обнаружено постоянство уширения при температурах от 300 до 800°, у алюминия — рост уширения в интервале от 200 до 500°. У магниевых сплавов зависимость более сложная: кривые показывают минимум при определенной температуре и носят параболический характер.

7. Влияние на уширение натяжения полосы

Натяжение уменьшает уширение.

Из-за сложной природы уширения только на основе глубокого общего анализа процесса прокатки может быть получена формула, которая бы учитывала влияние всех факторов прокатки. А. И. Целиков дал полный анализ уширения с учетом влияния внешних зон, однако им не дана конечная формула, а предложена приближенная формула без учета влияния внешних зон. К числу аналитических относятся также формулы Экелунда и Бахтинова.

Наряду с аналитическими, существуют полуэмпирические формулы, к которым подобраны коэффициенты на основании проведенных экспериментов. Это формулы

Э. Зибеля, Х. Седлачека и др. Расчет по ним может дать правильные результаты, если условия прокатки близки к условиям опытов, при которых были получены коэффициенты.

§ 2. ФОРМУЛА ЦЕЛИКОВА ДЛЯ РАСЧЕТА УШИРЕНИЯ ПРИ ОТСУТСТВИИ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ЗОН

Для анализа уширения А. И. Целиков в очаге деформации выделяет зону уширения, условно ограниченную треугольником ADB и криволинейной боковой гранью полосы, и считает, что весь металл внутри этой зоны будет деформироваться в боковом направлении (рис. 46).

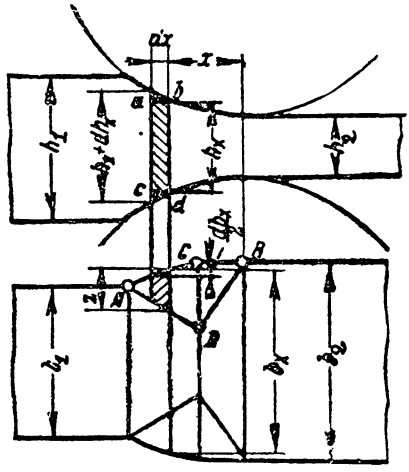


Рис. 46. Условные зоны стремления широкой полосы к уширению при отсутствии влияния внешних зон (А. И. Целиков)

При перемещении сечения ac, находящегося на расстоянии $x + dx$ от линии центров валков, на величину dx, т. е. в положение bd, сохраняется равенство смещенных объемов

$$\frac{1}{2} h_x dx \frac{db_x}{2} = -\frac{1}{2} z dx 2 \frac{dh_x}{2}, \quad (V.1)$$

где dh_x — уменьшение высоты h_x;
db_x — увеличение ширины полосы при перемещении сечения ac на dx;
z — расстояние от боковой грани полосы до условной границы зоны уширения в сечении bd.

Знак минус у правой части отмечает, что с уменьшением значения h_x увеличивается величина b_x.

Из уравнения (V. 1) получается

$$db_x = -2z \frac{dh_x}{h_x}. \quad (V.2)$$

Зависимость между z и h_x Целиков находит из условия, что на границах зоны уширения, с одной стороны, и зон отставания и опережения, с другой, средние по высоте напряжения σ_z и средние по высоте продольные напряжения σ_x должны быть равны.

Приближенно напряжения σ_x Целиков определяет из дифференциального уравнения прокатки (II. 16):

$$d\sigma_x = \left(k \frac{dy}{dx} \mp t_x\right) \frac{dx}{y}. \quad (V.3)$$

В этом уравнении знак минус относится к зоне отставания, а знак плюс — к зоне опережения.

Аналогично можно написать для напряжения σ_z

$$d\sigma_z = \frac{2t_z}{h_x} dz, \quad (V.4)$$

где t_z — удельные силы трения, действующие по контактным поверхностям в поперечном направлении.

Из уравнений (V. 3) и (V. 4) Целиков получил

$$dz = h_x \left(\frac{k}{t_z} \frac{dy}{dx} \mp \frac{t_x}{t_z}\right) \frac{dx}{y}. \quad (V.5)$$

Для решения этого уравнения Целиков заменил дугу захвата хордой:

$$y = \frac{\Delta h}{2l} x + \frac{h_2}{2}; \quad \frac{dy}{dx} = \frac{\Delta h}{2l}$$

приравнял удельное давление пределу текучести ($p \approx k$, $t_z \approx \mu k$) и принял равными удельные силы трения на поверхности в продольном и поперечном направлениях ($t_x = t_z$).

После этих подстановок

$$dz = h_x \left(\frac{\Delta h}{2l\mu} \mp 1\right) \frac{dx}{h_2 + \frac{\Delta h}{l} x} \quad (V.6)$$

и

$$z = h_x \left(\frac{\Delta h}{2l\mu} \mp 1\right) \frac{l}{\Delta h} \ln\left(h_2 + \frac{\Delta h}{l} x\right) + C. \quad (V.7)$$

Значение постоянной C для линии AD находится при $x = l$, а для линии DB — при $x = 0$.

Подставляя эти значения C в уравнение (V. 7) имеем:

для линии AD

$$z = \left(\frac{l}{\Delta h} - \frac{1}{2\mu}\right) h_x \ln \frac{h_1}{h_2 + \frac{\Delta h}{l} x}; \quad (V.7a)$$

для линии DB

$$z = \left(\frac{l}{\Delta h} - \frac{1}{2\mu}\right) h_x \ln \frac{h_2 + \frac{\Delta h}{l} x}{h_2}. \quad (V.7б)$$

Определив постоянные и подставив выражение z в уравнение (V. 2), а также вместо h_x выражение (II. 20), Целиков получил следующие выражения для ширины полосы в поясе деформации на расстоянии x от плоскости, проходящей через оси валков:
для участка AC

$$b_x = \frac{2}{R}\left(\frac{2l}{\Delta h} - \frac{1}{\mu}\right)\int x \ln \frac{h_2 + \frac{\Delta h}{l}x}{h_1} dx; \qquad (V.8)$$

для участка CB

$$b_x = \frac{2}{R}\left(\frac{2l}{\Delta h} + \frac{1}{\mu}\right)\int x \ln \frac{h_2}{h_2 + \frac{\Delta h}{l}x} dx. \qquad (V.9)$$

Постоянную C_0 Целиков определяет из условия, что при $x = l$, $b_x = b_1$, $y = y_1$

$$\frac{b_x - b_1}{\Delta h} = \frac{2}{\varepsilon^2}\left(\frac{2l}{\Delta h} - \frac{1}{\mu}\right)\frac{1}{y_0^2}\left[y\left(1 - \frac{y}{2}\right)\ln\frac{y_0}{y} + \frac{1}{4}(y_0^2 - y^2) - (y_0 - y_1)\right]. \qquad (V.11)$$

Соответственно для участка CB Целиков получает

$$b_x = \left(\frac{2l}{\Delta h} + \frac{1}{\mu}\right)\frac{2l}{R\varepsilon^2}\cdot\frac{y}{y_0^2}\left[\left(1 - \frac{y}{2}\right)\ln y + \frac{y}{4} - 1\right] + C_1. \qquad (V.12)$$

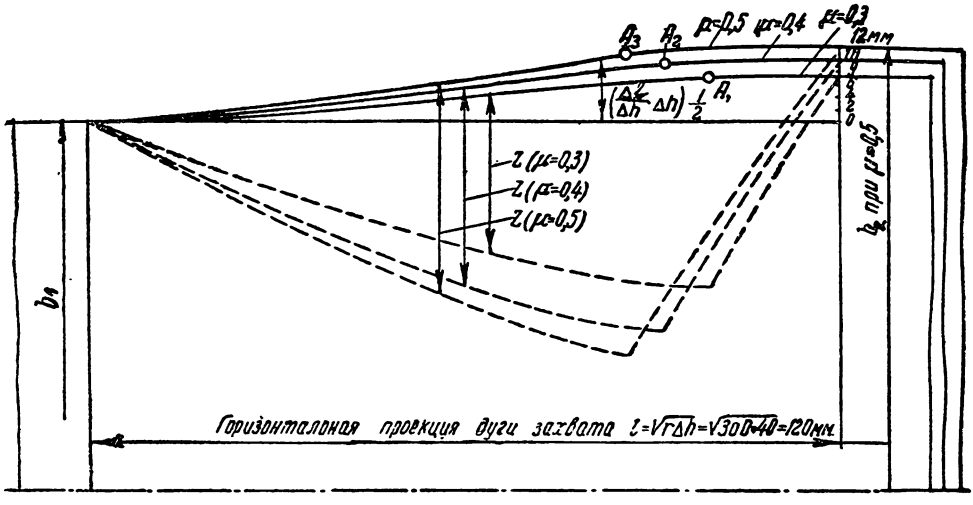


Рис. 47. Изменение ширины полосы в зеве валков при отсутствии влияния внешних зон по уравнениям (V.11) и (V.13) для прокатки в гладких валках при μ =0.3; 0.4 и 0,5; (h_1 = 100 *мм*; h_2 = = 60 *мм*; D = 720 *мм*). Точки перегиба A_1, A и A_2 определяют положение нейтральных сечений (А. И. Целиков)

Делая подстановки

$$y = 1 + \frac{1}{l}\frac{\Delta h}{h_2}x, \quad \frac{\Delta h}{h_1} = \varepsilon, \quad \frac{h_1}{h_2} = y_0,$$

Целиков получает для участка AC

$$b_x = \left(\frac{2l}{\Delta h} - \frac{1}{\mu}\right)\frac{2l^2}{R\varepsilon^2}\cdot\frac{y}{y_0^2}\times \times\left[\left(1 - \frac{y}{2}\right)\ln\frac{y_0}{y} + 1 - \frac{y}{4}\right] + C_0. \qquad (V.10)$$

Величина C_1 находится из условия, что при $x = x_н$, $b_x = b_н$, $y = y_н$

$$\frac{b_н - b_1}{\Delta h} = \frac{2}{\varepsilon^2}\left(\frac{2l}{\Delta h} + \frac{1}{\mu}\right)\left\{\frac{y}{y_0^2}\left[\left(1 - \frac{y}{2}\right)\ln y + \frac{y}{4} - 1\right] - \frac{y_н}{y_0^2}\left[\left(1 - \frac{y_н}{4}\right)\ln y_н + \frac{y_н}{4} - 1\right]\right\}. \qquad (V.13)$$

Уравнения (V. 11) и (V. 13) позволяют определить изменение ширины прокатываемой полосы в очаге деформации в зависимости от x. На рис. 47 изображено изменение ширины прокатываемой полосы в зе-

ве валков, рассчитанное по уравнениям (V. 11) и (V. 13) для прокатки в гладких валках диаметром 720 *мм* полосы с $h_1 = 100$ *мм* до $h_2 = 60$ *мм* при коэффициенте внешнего трения $\mu = 0{,}3$, 0,4 и 0,5. На этом же рисунке даны условные зоны стремления деформации на уширение, найденные по уравнениям (V. 7а) и (V. 7б).

Если в уравнении (V. 11) принять $y = y_н$, а в уравнении (V. 13) $y = y_1 = 1$ и сложить их правые части, то общая величина уширения получится в следующем виде:

$$\frac{b_2 - b_1}{\Delta h} = \frac{2}{\varepsilon^2 y_0^2}\left(\frac{2l}{\Delta h} - \frac{1}{\mu}\right)\left[y_н\left(1 - \frac{y_н}{2}\right)\ln\frac{y_0}{y_н} + \frac{1}{4}(y_0^2 - y_н^2) - (y_0 - y_н)\right] + \frac{2}{\varepsilon^2 y_0^2}\left(\frac{2l}{\Delta h} + \frac{1}{\mu}\right) \times \left[y_н - 1 - y_н\left(1 - \frac{y_н}{2}\right)\ln y_н - \frac{1}{4}(y_н^2 - 1)\right]. \quad (V.14)$$

Величина $y_н$ определяется из уравнения

$$y_н = 1 + \frac{\Delta h}{lh_2} x_н, \quad (V.15)$$

где $x_н$ — расстояние от оси центров валков до нейтрального сечения.

Приближенно А. И. Целиков определил $x_н$ следующим образом:

$$x_н = \frac{l}{\Delta h}\left(e^{\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{2\delta k}} h_1^{\frac{\delta - 1}{2\delta}} h_2^{\frac{\delta + 1}{2\delta}} - h_2\right), \quad (V.16)$$

где

$$\delta = \frac{2\mu l}{\Delta h}.$$

Чтобы дать конечную расчетную формулу, А. И. Целиков использовал уравнение (V. 11) и пренебрег уширением в области опережения, где оно незначительно.

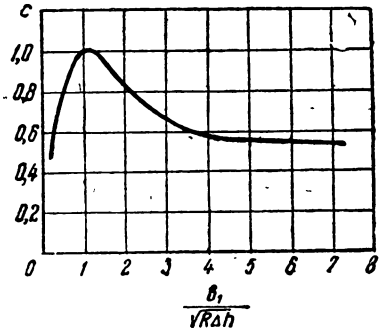


Рис. 48. Величина коэффициента C в зависимости от отношения ширины полосы к длине дуги захвата (А. И. Целиков)

Формула Целикова для расчета уширения (при $\frac{\Delta h}{h_1} < 0{,}9$) имеет следующий вид:

$$\frac{\Delta b}{\Delta h} = C\left[2\sqrt{\frac{R}{\Delta h}} - \frac{1}{\mu}\right][0{,}138\varepsilon^2 - 0{,}323\varepsilon] \quad (V.17)$$

где C — коэффициент, зависящий от отношения начальной ширины к длине дуги захвата и определяемый по формуле

$$C = 1{,}34\left(\frac{b_1}{\sqrt{R\Delta h}} - 0{,}15\right)e^{0{,}15 - \frac{b_1}{\sqrt{R\Delta h}}} + 0{,}5 \quad (V.18)$$

или по рис. 48.

§ 3. ДРУГИЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА УШИРЕНИЯ

1. Формула Экелунда

С. Экелунд считает, что уширение зависит от абсолютного обжатия и от внешних сил сопротивления на контактных поверхностях между полосой и валками. Он исходит из того, что удельная работа на единицу поверхности в области контактной поверхности одинакова в продольном и поперечном направлениях. Другими словами, это значит, что

$$(p_{ср} - k)\,db = (p_{ср} - k)\,dl, \quad (V.19)$$

так как работу на поверхности совершают давления, определяемые как разность между средним удельным давлением и пределом текучести.

Принимая сплошное прилипание поперек полосы, когда при сжатии прямоугольника шириной b и высотой h параллельными плоскими плитами

$$\frac{p_{ср}}{k} = 1 + 0{,}25\frac{b}{h},$$

а в области удлинения — скольжение на $\frac{2}{3}$ дуги захвата и прилипание на $\frac{1}{3}$ дуги,

когда

$$\frac{p_{ср}}{k} = 1 + \frac{1{,}6\mu\sqrt{R\Delta h} - 1{,}2\Delta h}{h_1 + h_2},$$

С. Экелунд уравнение (V. 19) заменяет следующим:

$$\frac{bk}{4h}db = \frac{1{,}6\mu\sqrt{R\Delta h} - 1{,}2\Delta h}{h_1 + h_2}kdl = kmdl, \quad (V.20)$$

откуда

$$db = \frac{4hmdl}{b}. \quad (V.21)$$

Рассматривая деформацию параллелепипеда, Экелунд выводит, что вследствие постоянства объема

$$\frac{dl}{\sqrt{R\Delta h}} = \frac{dh}{h} - \frac{db}{b}. \quad (V.22)$$

Из уравнений (V. 21) и (V. 22) имеем

$$bdb = 4m\sqrt{R\Delta h}dh - 4mh\sqrt{R\Delta h}\frac{db}{b} \quad (V.23)$$

Принимая $h = \frac{h_1 + h_2}{2}$ и интегрируя в пределах от b_2 до b_1, С. Экелунд получает следующую формулу для расчета уширения:

$$\frac{1}{2}(b_2^2 - b_1^2) = 4m\sqrt{R\Delta h}\,\Delta h - $$

$$- 2m(h_1 + h_2)\sqrt{R\Delta h}\ln\frac{b_2}{b_1}. \quad (V.24)$$

Эту формулу можно представить в следующем виде:

$$b_2^2 = 8m(\sqrt{R\Delta h}\,\Delta h + b_1^2) - 9{,}2m(h_1 + h_2)\sqrt{R\Delta h}\lg\frac{b_2}{b_1},$$

$$\text{или } b_2^2 = a - c\lg\frac{b_2}{b_1},$$

где a, c и b_1 — постоянные.

Это уравнение относительно b_2 решается методом подбора или с помощью специальной линейки.

Входящая в эту формулу величина коэффициента внешнего трения для стали определяется по формуле

$$\mu = 0{,}8\cdot(1{,}05 - 0{,}0005t°), \quad (V.25)$$

где $t°$ — температура полосы, °С.

А. Лендл, проверявший формулу С. Экелунда на большом количестве экспериментов при прокатке стали, пришел к выводу о том, что из всех других формул она дает наиболее правильные результаты.

2. Упрощенная формула Экелунда

Если в формуле (V. 24) принять, что $\ln\frac{b_2}{b_1} \cong \frac{b_2}{b_1} - 1$, что приблизительно правильно, когда $\frac{b_2}{b_1} < 1{,}2$, то

$$b_2 = -A + \sqrt{A^2 + b_1^2 + 4m\sqrt{R\Delta h}\,(3h_1 - h_2)}, \quad (V.26)$$

где

$$A = 2m(h_1 + h_2)\frac{\sqrt{R\Delta h}}{b_1}.$$

3. Формула Бахтинова

Формула Б. П. Бахтинова имеет вид

$$\Delta b = 1{,}15\frac{\Delta h}{2h_1}\left(\sqrt{R\Delta h} - \frac{\Delta h}{2\mu}\right). \quad (V.27)$$

Эта формула получена теоретически исходя из распределения работы по зонам опережения, отставания и уширения. Она, как показывает анализ автора, дает правильные результаты при $\frac{h_1}{2\sqrt{R\Delta h}} > 1$. Однако в большинстве случаев сортовой прокатки цветных металлов это отношение меньше единицы.

Коэффициент внешнего трения при прокатке стали Б. П. Бахтинов определяет по формуле Экелунда (V. 25).

4. Формула Седлачека

Формула Седлачека имеет вид

$$\Delta b = \frac{b_1(h_1 - h_2)\sqrt{b_1 R}}{3(b_1^2 + h_1 h_2)}. \quad (V.28)$$

Эта формула дает хорошие результаты при прокатке полос из мягкой углеродистой стали со скоростью 3 *м/сек*. Для других сталей и других скоростей в эту формулу рекомендуется вводить поправочные коэффициенты. Например, поправочный коэффициент на скорость прокатки стали имеет следующие значения:

Скорость прокатки, *м/сек* . . .	0,5	1,5	3,0	5,0	7,5	10,0	15,0
Поправочный коэффициент . .	1,37	1,15	1,0	0,9	0,81	0,76	0,69

На рис. 49, *а* и *б* дано сопоставление расчетной (по формуле Х. Седлачека) и измеренной величины свободного уширения при прокатке ряда магниевых и алюминиевых сплавов. Магниевые образцы сечением 55 × 18,2 и алюминиевые 80,5 × 25,5 длиной 200—300 *мм* прокатывали вгорячую на двухвалковом стане с диаметром валков 300 *мм* со скоростью 1,8 *м/сек* в несколько проходов.

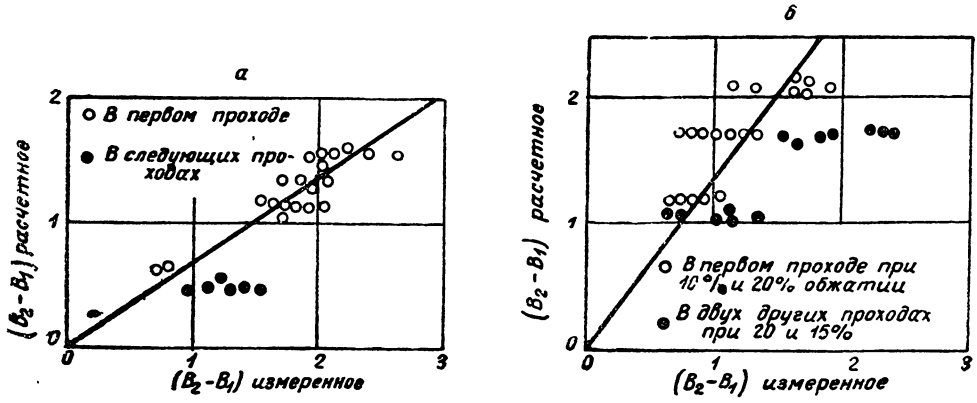


Рис. 49. Сравнение рассчитанного и измеренного уширения: *а* — магниевые сплавы, *б* — алюминиевые сплавы

Между проходами образцы подогревали На основании рисунка определено, что для магниевых сплавов $C = 1{,}45$; для алюминиевых сплавов $C = 0{,}75$.

В этом исследовании установлено, что уширение магниевых сплавов растет с увеличением скорости (а уширение стали, как упоминалось, уменьшается) и имеет минимум при 370°.

5. Формула Зибеля

Формула Зибеля имеет вид

$$\Delta b = C\frac{\Delta h}{h_1}\sqrt{R\Delta h}. \qquad (V.29)$$

Эта формула получена Зибелем при рассмотрении поверхностных сил трения, действующих в зеве валков, когда, как он получил, сопротивление удлинению или тенденция к уширению пропорциональны длине дуги захвата ($\sqrt{R\Delta h}$) и относительному обжатию $\frac{\Delta h}{h_1}$.

Тафель и Анке, прокатывая на двухвалковых станах с диаметром валков 104 *мм* (скорость 0,229 *м/сек*) и 440 *мм* (скорость 1,98 *м/сек*) вгорячую медные и алюминиевые образцы сечением 7 × 7; 10 × 10; 13 × 13 и 20 × 20 *мм* и железные 19,5 × × 19,5 и 39,8 × 39,8 *мм*, получили, что формула Э. Зибеля дает хорошие результаты, если принять, что коэффициент C имеет следующие значения:

Для меди при температуре от 300 до 800° 0,36
Для алюминия при 450° 0,45
Для мягкой стали при 1150° 0,31

В результате опытов по прокатке стальных заготовок конечной толщиной 20, 10 и 5 *мм* на лабораторном стане с диаметром валков 180 *мм* Э. Зибель установил, что при температуре более 1000° величина $C = 0{,}35$. Ниже этой температуры C имело большие значения, вероятно, в связи с ростом коэффициента внешнего трения.

Формула Э. Зибеля не учитывает влияния ширины заготовки, что делает эту формулу мало пригодной в тех случаях прокатки, когда ширина полосы равна или меньше ее **толщины.**

§ 4. ПРИМЕР РАСЧЕТА УШИРЕНИЯ ПО РАЗЛИЧНЫМ ФОРМУЛАМ

Расчет уширения по всем формулам при горячей прокатке на сортопрокатном стане алюминиевого слитка производится исходя из следующих данных:

Начальная толщина h_1, *мм* 51,5
Конечная толщина h_2, *мм* 28
Начальная ширина B_1, *мм* 51,5
Абсолютное обжатие $h_1 - h_2 = \Delta h$, *мм* 23,5
Относительное обжатие $\Delta h : h_1 = \varepsilon$. 0.456
Радиус валков (катающий) R, *мм* . . 200
Коэффициент внешнего трения μ . . 0,45

По формуле Целикова

$$C = 1{,}34\left(\frac{b_1}{\sqrt{R\Delta h}} - 0{,}15\right)e^{0{,}15-\frac{b_1}{\sqrt{R\Delta h}}} + 0{,}5 =$$

$$= 1{,}34\left(\frac{51{,}5}{\sqrt{200\cdot 23{,}5}} - 0{,}15\right)e^{0{,}15-\frac{51{,}5}{\sqrt{200\cdot 23{,}5}}} + 0{,}5 = 0{,}941;$$

$$\frac{\Delta b}{\Delta h} = C\left(2\sqrt{\frac{R}{\Delta h}} - \frac{1}{\mu}\right)\cdot(0{,}138\,\varepsilon^2 + 0{,}323\,\varepsilon) = 0{,}941\left(2\sqrt{\frac{200}{23{,}5}} - \frac{1}{0{,}45}\right)\times$$
$$\times\,(0{,}138^2\cdot 0{,}456^2 + 0{,}323\cdot 0{,}456) = 0{,}6.$$

Уширение

$$\Delta b = 0{,}6\,\Delta h = 0{,}6\cdot 23{,}5 = 14{,}1\ мм.$$

По формуле Экелунда

$$m = \frac{1{,}6\mu\sqrt{R\Delta h} - 1{,}2\Delta h}{h_1 + h_2} =$$

$$= \frac{1{,}6\cdot 0{,}45\sqrt{200\cdot 23{,}5} - 1{,}2\cdot 23{,}5}{51{,}5 + 28} = 0{,}267;$$

По формуле Седлачека

$$\Delta b = \frac{b_1\Delta h\sqrt{h_1 R}}{3(b_1^2 + h_1 h_2)} =$$

$$= \frac{51{,}5\cdot 23{,}5\cdot\sqrt{51{,}5\ 200}}{3(51{,}5^2 + 51{,}5\cdot 28)} = 10\ мм.$$

$$a = 8m\sqrt{R\Delta h}\,\Delta b + b_1^2 = 8\cdot 0{,}267\sqrt{200\cdot 23{,}5}\cdot 23{,}5 + 51{,}5^2 = 6100;$$

$$C = 9{,}2m\sqrt{R\Delta h}\,(h_1 + h_2) = 9{,}2\cdot 0{,}267\sqrt{200\cdot 23{,}5}\cdot(51{,}5 + 28) = 13400\ ;$$

$$b_2^2 = a - C\lg\frac{b_2}{b_1} = 6100 - 13400\lg\frac{b_2}{51{,}5}.$$

Методом подбора находим $b_2 = 67{,}4$.
Уширение

$$\Delta b = 67{,}4 - 51{,}5 = 15{,}9\ мм.$$

По формуле Зибеля

$$\Delta b = C\frac{\Delta h}{h_1}\sqrt{R\Delta h} =$$

$$= 0{,}45\frac{23{,}5}{51{,}5}\sqrt{200\cdot 23{,}5} = 14{,}1\ мм.$$

По формуле Бахтинова

$$\Delta b = 1{,}15\frac{\Delta h}{2h_1}\left(\sqrt{R\Delta h} - \frac{\Delta h}{2\mu}\right) =$$

$$= 1{,}15\frac{23{,}5}{2\cdot 51{,}5}\times\left(\sqrt{200\cdot 23{,}5} - \frac{23{,}5}{2\cdot 0{,}45}\right) =$$

$$= 0{,}262\cdot(68{,}5 - 26{,}1) = 11{,}2\ мм$$

Измеренная величина уширения при опытной прокатке образца, нагретого до 500°, на валках диаметром 400 *мм* с грубообработанной поверхностью со скоростью 1,1 *м/сек* равна 19 *мм*. Результаты расчетов по формулам в сравнении с измеренной величиной даны в табл. 8.

Таблица 8

Сравнение уширения, рассчитанного по разным формулам, с измеренной величиной

Формулы	Абсолютная величина уширения *мм*	Абсолютная величина уширения в сравнении с измеренной, %
Измеренная величина	19	0
Целикова	14,1	—25,8
Экелунда	15,9	—16,3
Зибеля	14,1	—25,8
Бахтинова	11,2	—41
Седлачека	10,0	—47,3

ЛИТЕРАТУРА

1. E. Sibel und E. Osenberg. Mitt. K. Wihl Inst Eisenf., 1934, Bd. 16, SS. 33—50.
2. А. И Целиков. Влияние внешних зон на уширение и распределение скоростей и напряжений по ширине прокатываемой полосы. Сб «Проблемы металлургии», изд. АН СССР, 1953, стр. 392.
3. Б. П. Бахтинов и М. М. Штернов. Калибровка прокатных валков. Металлургиздат. 1953.
4. S. Ekelund. Stell, Aug. ets, 1933, v. 93. p. 21.
5 W. Tafel und F. Anke. Z. Metallk., 1927, Bd. 19, SS. 225—231.
6. A. E. Lendl. Blast Furnas and Steel Plante, 1941, v. 3, pp. 307—312.
7. H. Sedlaczek. Z. Metallk. 1939, Bd. 3. S. 73—75.

ГЛАВА VI

ВЕЛИЧИНА ПРЕДЕЛА ТЕКУЧЕСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ПРИ ГОРЯЧЕЙ И ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ

Предел текучести определяется как напряжение, при котором деформации из упругих переходят в пластические. У многих очень вязких цветных металлов и сплавов переход от упругих к пластическим деформациям совершается плавно и на диаграмме напряжение — деформация предел текучести не имеет ясно выраженного значения («площадки»).

Поэтому для вязких металлов предел текучести определяется как предел упругости при остаточной деформации. Он является напряжением, необходимым для получения определенной величины остаточного удлинения (обычно 0,2—0,5%). Предел текучести зависит от ряда изменяющихся факторов. При горячей прокатке на величину предела текучести влияют:

а) физическая природа и свойства прокатываемого металла;

б) температура прокатки;

в) скорость деформации;

г) относительное обжатие в проходе.

При холодной прокатке предел текучести зависит от:

а) свойств прокатываемого металла;

б) наклепа, полученного металлом перед прокаткой в данном проходе;

в) величины наклепа, получаемого в данном проходе.

На основании ряда исследований можно считать, что при холодной прокатке скорость деформации оказывает незначительное влияние на величину предела текучести. Практически этим влиянием обычно пренебрегают. Рассмотрение факторов, влияющих на величину предела текучести, дается раздельно для горячей и холодной прокатки.

§ 1. ВЕЛИЧИНА ПРЕДЕЛА ТЕКУЧЕСТИ И ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ

При высоких температурах скорость деформации оказывает значительное влияние на величину предела текучести. Поэтому стандартные разрывные машины, на которых скорость деформации обычно составляет от 2 до $3 \cdot 10^{-3}$ сек.$^{-1}$, не могут правильно характеризовать величину предела текучести для случаев горячей прокатки, когда скорость сжатия лежит в пределах от 1 до 100 сек.$^{-1}$. Ввиду этого испытания должны производиться на скоростных машинах, оборудованных специальной электроаппаратурой для автоматической записи диаграммы напряжение — деформация.

Предел текучести, определенный при испытаниях растяжением, всегда несколько отличается от определяемого испытаниями на сжатие. Для прокатки правильнее определять предел текучести испытаниями на сжатие.

1. Определение предела прочности непосредственными методами экспериментального исследования

Исследование Надаи и Менджойна

До настоящего времени проведено лишь очень небольшое количество испытаний в горячем состоянии, в которых скорость деформации была бы близкой к скоростям деформации при горячей прокатке.

На специально сконструированной машине, позволявшей применять большие скорости деформации, определяли предел прочности для стали, меди и алюминия. В этих опытах диаграмма напряжение — деформация записывалась с помощью осциллографа.

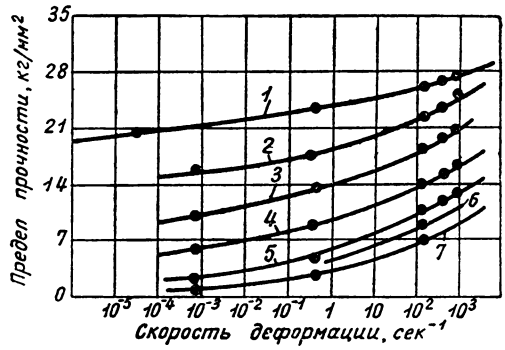


Рис. 50 Влияние температуры и скорости деформации на предел прочности технически чистой меди:
1 — комнатная температура; *2* — 200°; *3* — 400°; *4* — 600°; *5* — 800°; *6* — 900°; *7* — 1000°

Рис. 51. Влияние температуры и скорости деформации на предел прочности чистого алюминия:
1 — комнатная температура; *2* — 200°; *3* — 400°; *4* — 600°

Результаты этого исследования для меди и алюминия приведены на рис. 50 и 51. Из

этих рисунков видно, что с увеличением скорости деформации предел прочности растет при всех температурах; при высоких температурах его относительный рост весьма значителен.

Типичная скорость испытания на стандартных машинах составляет приблизительно (2—3) 10^{-3} сек.$^{-1}$, а скорость сжатия при обычных скоростях горячей прокатки цветных металлов лежит в пределах 1—100 сек.$^{-1}$.

Чтобы выяснить влияние скорости деформации на величину предела прочности, рассмотрим первый и последний проходы при горячей прокатке медного и алюминиевого слитков на стане с диаметром валков 700 *мм*.

Данные по этим проходам и расчет предела прочности сведены в табл. 9.

Исследование Алдера и Филипса

Недавно опубликованное исследование, выполненное на кулачковом измерителе пластичности Орована и Лоса, дает очень важные результаты, так как устанавливает непосредственную зависимость предела текучести (сопротивления однородной деформации) при горячей деформации, помимо температуры и скорости сжатия, еще и от степени деформации.

Цилиндрические образцы из прессованного технически чистого алюминия, холоднотянутой раскисленной меди и горячекатаной углеродистой стали (0,17% С) диаметром 12,7 или 19 *мм* и высотой 25,4 *мм*, осаживались на 50% за различное время (от 0,018 до 0,52 сек.), что давало различные скорости деформации от 1,34 до 39,3 *мм/сек*.

Таблица 9

Расчет скоростного коэффициента при горячей прокатке меди и алюминия по данным рис. 50 и 51

Прокатываемый металл	№ прохода	Начальная толщина h_1, *мм*	Конечная толщина h_2, *мм*	Скорость прокатки v, *м/сек*	Скорость сжатия $u_{ср}$ по формуле, (1.19) сек.$^{-1}$	Температура, °С	σ_b (по рис. 50 и 51) при $u_{ср}$, сек.$^{-1}$	σ_b (по рис. 50 и 51) при $u = 2 \cdot 10^{-3}$ сек.$^{-1}$	Скоростной коэффициент
Медь	Первый	120	100	1,5	2,99	850	5,5	2,1	2,62
	Последний	7,5	6,0	1,5	13,2	650	10,2	5,2	1,96
Алюминий	Первый	200	180	1,0	1,2	450	2,46	0,98	2,51
	Последний	9	6	2,5	26	350	4,70	2,0	2,35

Из этой таблицы следует, что величина предела прочности в условиях горячей прокатки по сравнению со статическими испытаниями при тех же температурах возрастет: для меди при температуре 650° в 1,96 раза, при 850° в 2,62 раза, для алюминия при температуре 350° в 2,35 раза, а при 450° в 2,51 раза.

Поэтому результаты исследования зависимости предела прочности от температуры, выполненные на обычных испытательных машинах, следует применять с корректировкой на величину скорости деформации в случае использования их для расчетов давления металла на валок.

С. И. Губкин в результате своих исследований предлагает для скорости прокатки $v \geqslant 1$ *м/сек* скоростной коэффициент $\omega = 2{,}5$. В общем эта величина хорошо совпадает с приведенными расчетами на основании рис. 50 и 51. Однако нет основательных данных считать этот коэффициент универсальным для всех металлов и сплавов.

Коэффициент ω, определенный по данным рис. 50 и 51, относится к величине предела прочности, а не к пределу текучести, который при увеличении в 1,15 раза непосредственно используется для расчетов давления металла на валок.

Для уменьшения влияния внешнего трения между плоскостями образцов и контактными поверхностями головок машины наносилась смазка. Образцы нагревали в небольшой печи в специальной коробке, в которой во избежание потери тепла образцы подавали на машину.

При каждом испытании снимали осциллограммы нагрузка — время, из которых потом получали величины сопротивления однородной деформации, соответствующие промежуточным степеням обжатия от 10 до 50%.

На основе этих данных Е. Ларке были вычерчены группы кривых, показывающих зависимость предела текучести (сопротивления однородной деформации) от степени обжатия и скорости сжатия для данной температуры.

Рис. 52 дает эти зависимости для алюминия, рис. 53 — для меди и рис. 54 — для мягкой стали.

Написанная на кривых величина скорости деформации соответствует средней скорости сжатия при прокатке (рассчитывается по уравнению 1. 26).

Точное значение средней величины предела текучести в данном проходе и для данной величины $u_{ср}$ определяется на основе этих кривых следующим образом:

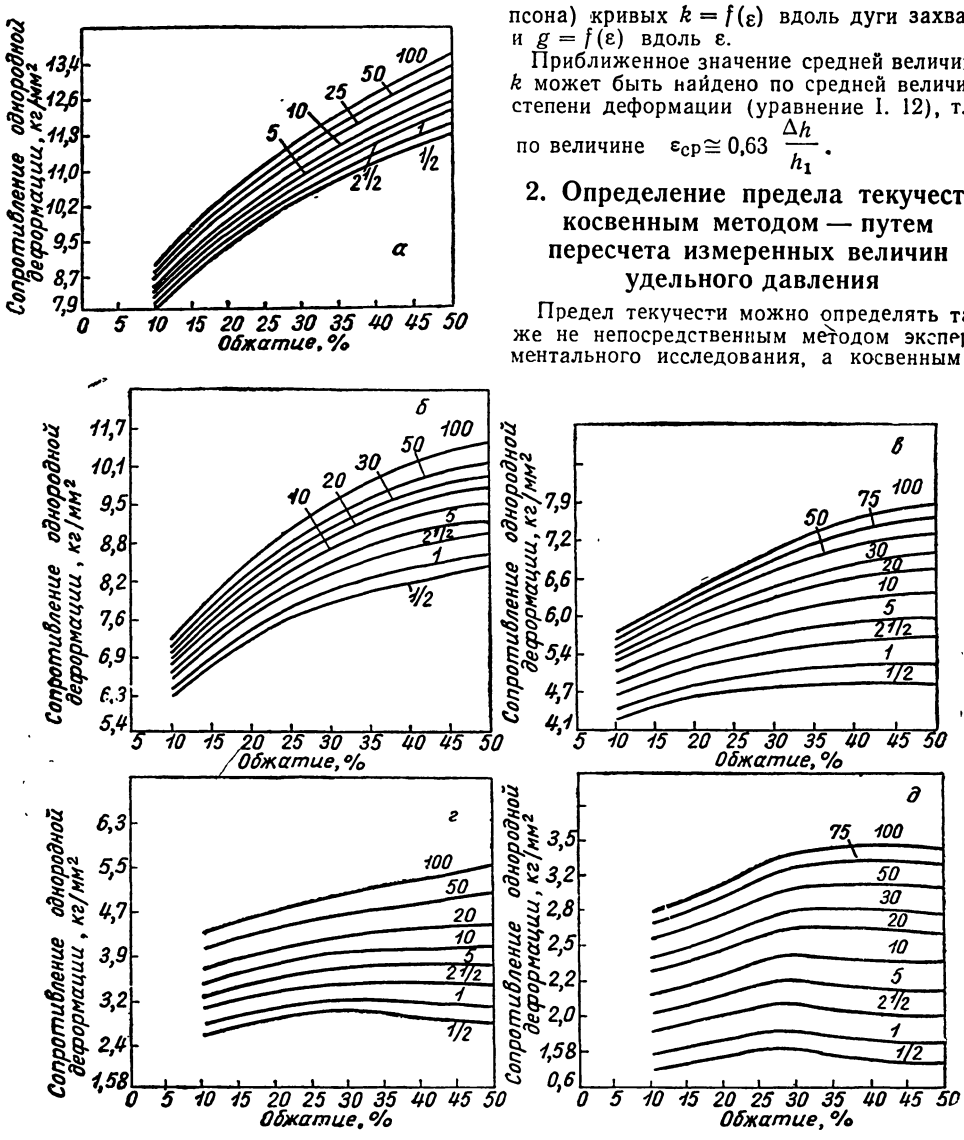


Рис. 52. Влияние температуры, скорости сжатия и степени деформации на предел текучести (сопротивление однородной деформации) алюминия:
а — 150°; *б* — 250°; *в* — 350°; *г* — 450°; *д* — 550°

псона) кривых $k = f(\varepsilon)$ вдоль дуги захвата и $g = f(\varepsilon)$ вдоль ε.

Приближенное значение средней величины k может быть найдено по средней величине степени деформации (уравнение I. 12), т. е. по величине $\varepsilon_{ср} \cong 0{,}63 \frac{\Delta h}{h_1}$.

2. Определение предела текучести косвенным методом — путем пересчета измеренных величин удельного давления

Предел текучести можно определять также не непосредственным методом экспериментального исследования, а косвенным — путем пересчета измеренных величин удельного давления.

$$k = \frac{1}{\alpha} \int_0^{\alpha} k d\alpha = \frac{1}{\alpha} \int_0^{\alpha} f(\varepsilon) d\alpha.$$

при расчете давления металла на валки

$$g = \frac{1}{\varepsilon} \int_0^{\varepsilon} k d\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon} \int_0^{\varepsilon} f(\varepsilon) d\varepsilon.$$

при расчете крутящего момента

Величины k и g находятся графическим интегрированием (например по правилу Симп-

При этом допускается, что современная теория прокатки точно учитывает влияние внешнего трения. Тогда, зная для данного прохода начальную и конечную толщину полосы, диаметр валков и измеренную величину среднего удельного давления и принимая наиболее близкую к условиям производимого опыта величину коэффициента внешнего трения μ, можно рассчитать величину $\delta = \mu \sqrt{\frac{2D}{\Delta h}}$ и по фиг. 26 для соот-

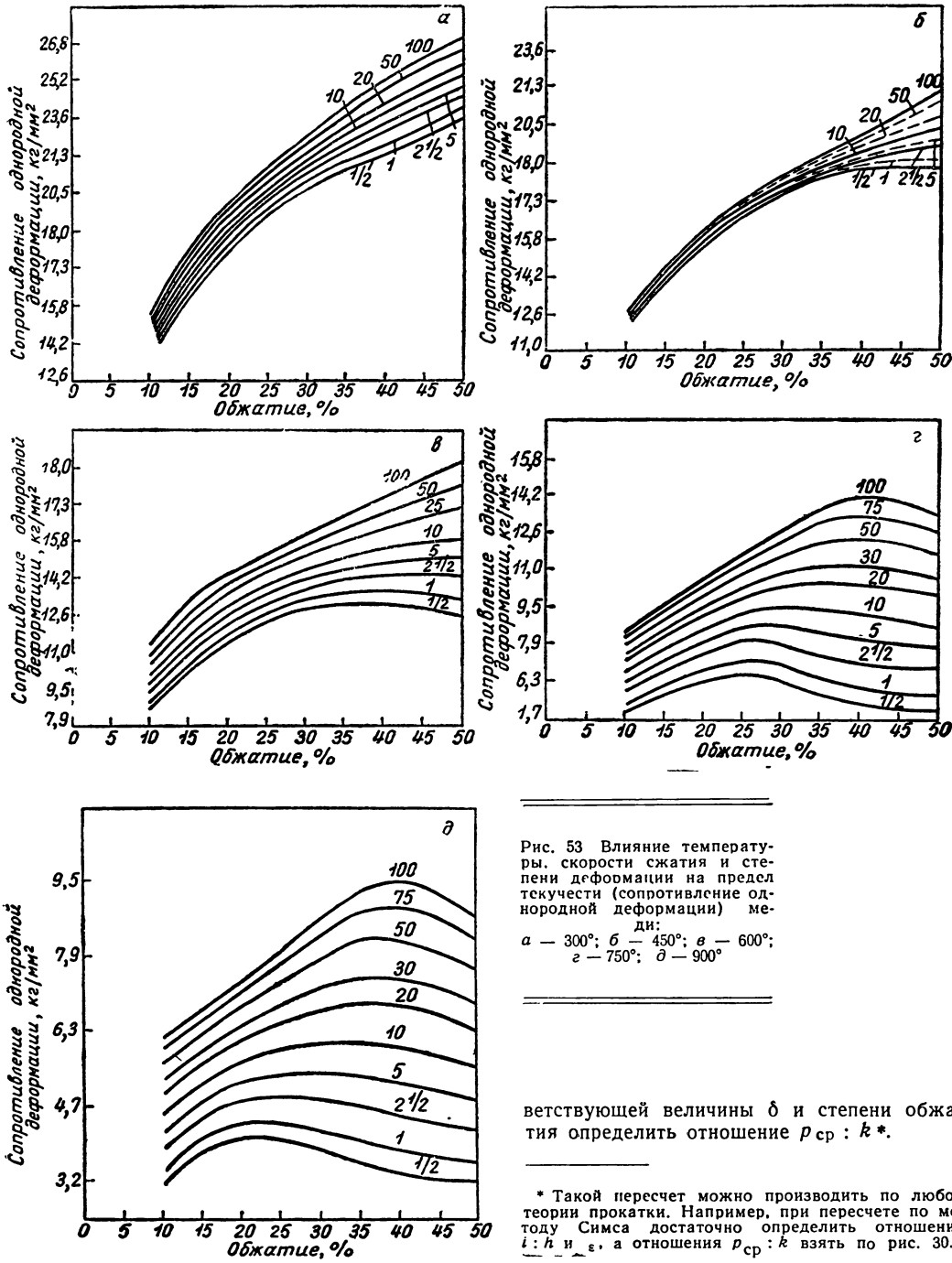


Рис. 53 Влияние температуры, скорости сжатия и степени деформации на предел текучести (сопротивление однородной деформации) меди:
а — 300°; *б* — 450°; *в* — 600°; *г* — 750°; *д* — 900°

ветствующей величины δ и степени обжатия определить отношение $p_{ср} : k$ *.

* Такой пересчет можно производить по любой теории прокатки. Например, при пересчете по методу Симса достаточно определить отношение $l : h$ и ε, а отношения $p_{ср} : k$ взять по рис. 30.

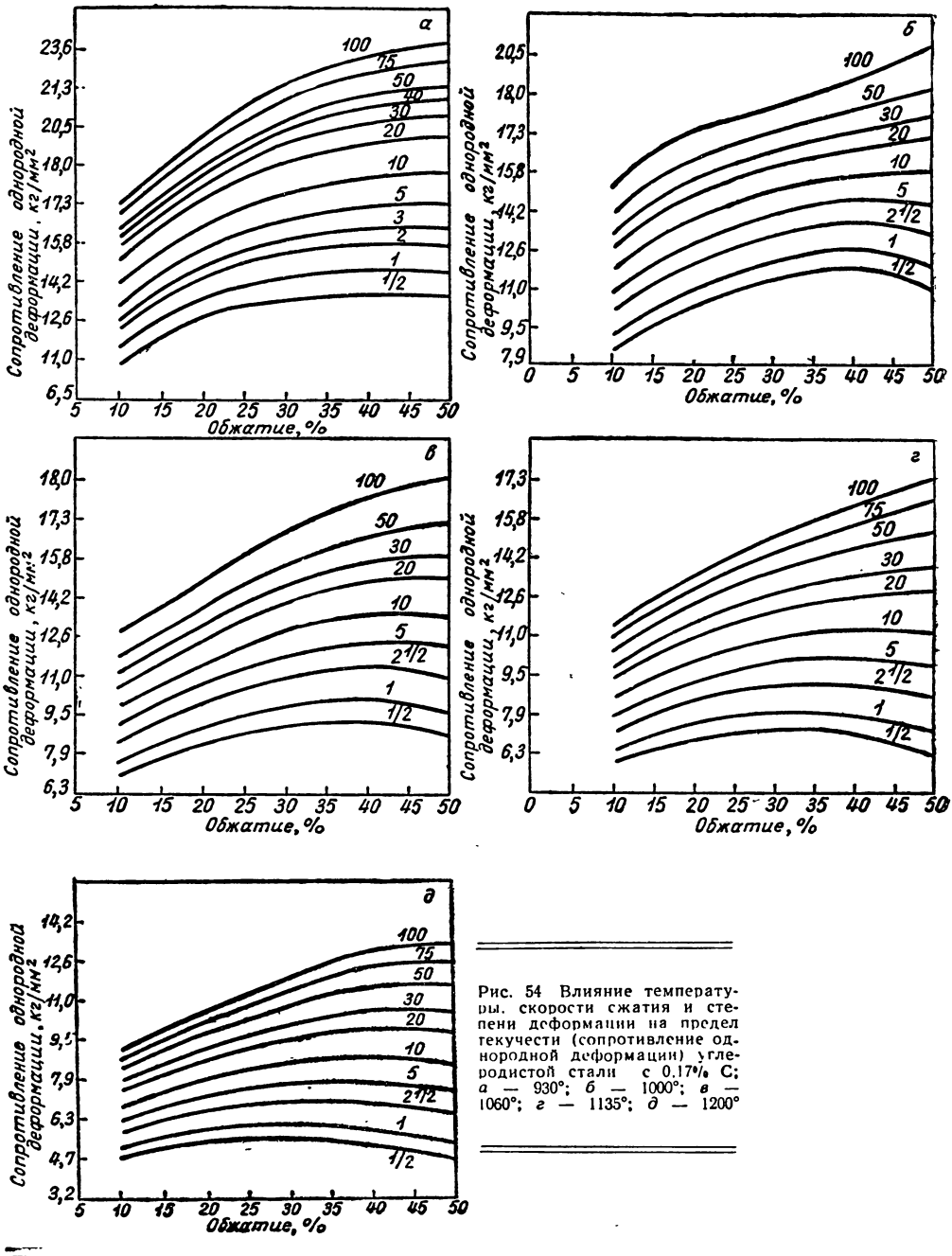


Рис. 54 Влияние температуры, скорости сжатия и степени деформации на предел текучести (сопротивление однородной деформации) углеродистой стали с 0,17% С; *а* — 930°; *б* — 1000°; *в* — 1060°; *г* — 1135°; *д* — 1200°

По измеренной величине $p_{ср}$ можно определить величину $k = p_{ср}$: $\frac{p_{ср}}{k}$, которая уже автоматически включает влияние температуры, скорости сжатия и степени деформации.

Рассмотрим применение этого метода на следующем примере. На лабораторном стане с диаметром валков 360 *мм* и постоянной скоростью прокатки $v = 0{,}4$ *м/сек* прокатывали полосы из дуралюмина и алюминия начальной толщиной 15 *мм* и шириной 100 *мм*, но с различной степенью обжатия: 10, 20, 30, 40 и 50%. Прокатку вели на не подогретых валках без смазки в один проход при трех различных температурах: 450, 400 и 350° Во время опытов измеряли давление металла на валки и построили результативные кривые изменения удельного давления в функции от степени обжатия и температуры прокатки.

Так как скорость прокатки в течение всех опытов оставалась постоянной, то различная скорость сжатия, изменявшаяся от 2,44 до 5,44 сек.$^{-1}$, была следствием изменения обжатия.

Как будет показано (глава VII, рис. 75) наиболее вероятное значение коэффициента внешнего трения, которое может быть принято для этих опытов, составляет $\mu = 0{,}3$. На основании этих данных указанным выше методом были рассчитаны значения вынужденного предела текучести k в функции от скорости сжатия и температуры, которые нанесены на рис. 55 в виде кривых соответственных температур.

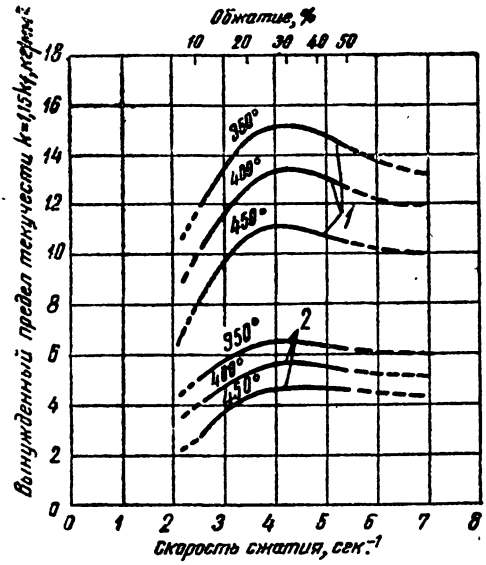


Рис. 55. Влияние температуры и скорости сжатия на величину вынужденного предела текучести k для алюминия и дуралюмина. Кривые построены путем пересчета опытных данных по формуле Целикова (III, 4) при $\mu = 0{,}3$:

1 — дуралюмин (4,2% Cu, 0,73% Mg, 0,74% Mn, 0,52% Si); *2* — 99,5%-ный алюминий

Скорость сжатия определяли по уравнению (I, 19).

Из рассмотрения кривых (рис. 55) можно видеть, что вынужденный предел текучести k быстро повышается с ростом скорости сжатия до значения $\sim 4{,}2$ сек.$^{-1}$, после чего он начинает медленно понижаться и с дальнейшим увеличением скорости сжатия стремится, по-видимому, к постоянной величине. Наличие максимума при величине 4,2 сек.$^{-1}$ (соответствующего 30% обжатия) объясняется, вероятно, значительным ростом температуры металла вследствие теплоты, развивающейся в нем при больших обжатиях и приводящей к его размягчению.

Удивительным является весьма быстрый рост величины k в интервале скоростей сжатия до 3,4 сек.$^{-1}$. Этот факт объясняется тем, что значения $p_{ср}$ для обжатия в 10% кажутся сильно заниженными.

В этом же исследовании определяли влияние изменения скорости прокатки на величину среднего удельного давления при постоянном обжатии и при одной температуре. Полосу начальной толщиной $h_1 = 33$ *мм* прокатывали в один проход с обжатием 24% при температуре 430° на том же стане с валками диаметром 360 *мм*, но при различных скоростях прокатки: от 0,2 до 1,4 *м/сек*.

В связи с изменением скорости прокатки скорость сжатия в этом опыте изменялась в пределах от 1,73 до 12,1 сек.$^{-1}$.

Аналогичным методом, принимая $\mu = 0{,}3$, были рассчитаны значения k и нанесены на рис. 56. На этом же рисунке для сравнения показана кривая *2*, интерполированная с рис. 55, для температуры 430°. Рис. 56 показывает, что кривая *1*, построенная по результатам опытов при прокатке с постоянным обжатием, но с переменной скоростью, дает более низкие величины k, чем кривая *2*, полученная пересчетом из опытов по прокатке с различным обжатием. Кроме того, кривая *1* с увеличением скорости сжатия медленно растет и не показывает никакого максимума.

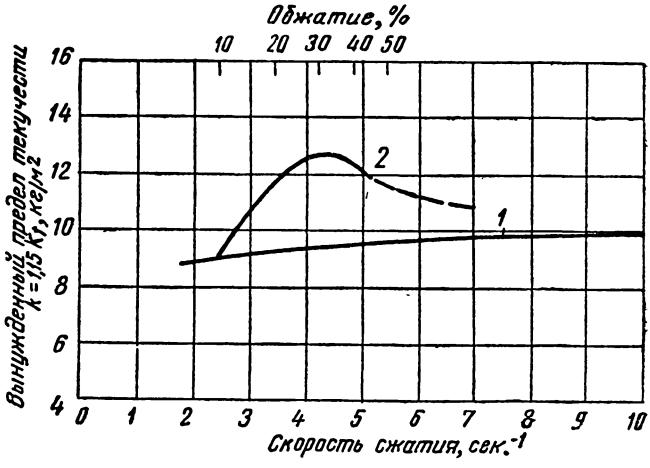


Рис. 56. Влияние скорости сжатия на величину вынужденного предела текучести алюминия, определенное путем пересчета опытных данных по формуле Целикова (III, 4):

1 — прокатка с постоянным обжатием 24%, но с переменной скоростью $v = 0{,}2 \div 1{,}4$ *м/сек*; при 430° и $h_1 = 33$ *мм*, *2* — прокатка с постоянной скоростью $v = 0{,}4$ *м/сек*, но с различным обжатием 10, 20, 30, 40 и 50% при 430° и $h_1 = 15$ *мм*

Напомним, что среднее значение скорости сжатия определяется выражением

$$u = \frac{v}{h_1}\sqrt{\frac{\Delta h}{R}}.$$

Тогда на основании рис. 56 можно прийти к заключению, что значительный рост скорости сжатия вследствие увеличения скорости прокатки приводит лишь к незначительному увеличению предела текучести. В то же время изменение скорости сжатия в небольших пределах вследствие изменения обжатия вызывает весьма резкое изменение предела текучести.

Отсюда напрашивается вывод, что величина обжатия в проходе влияет на давление металла на валки не только вследствие изменения влияния внешнего трения, определяемого, например, формулой Целикова (III.4), но также и за счет изменения самой величины предела текучести, т. е. величина предела текучести зависит от обжатия в проходе.

Этот вывод подтверждают результаты экспериментального исследования Алдера и Филипса, но он был значительно раньше их исследования высказан Н. Н. Крейндлиным.

3. Теоретическая зависимость сопротивления однородной деформации от скорости и степени деформации

Неоднократно предлагались разные формулы, связывающие предел текучести (прочности) со скоростью деформации.

Можно, например, указать на следующую логарифмическую зависимость:

$$k = k_0 + m \ln \frac{u}{u_0}, \qquad (VI.1)$$

где m — коэффициент, зависящий только от материала; k_0 — величина, зависящая от материала и температуры.

Однако при попытке охарактеризовать уравнением (VI.1) кривые рис. 50 и 51, особенно при высоких температурах (800 и 600°), для всего интервала скоростей сжатия результаты получаются мало удовлетворительными, так как коэффициент m подвержен сильным колебаниям (до 100%) при различных скоростях сжатия.

Поэтому уравнение (VI.1) следует рассматривать лишь как принципиальное, дающее представление о связи k и u в первом приближении. Это уравнение может оказаться действительным внутри ограниченного интервала изменения скорости деформации (например, от 0,1 до 100 сек.$^{-1}$).

Алдер и Филипс на основе своих исследований предложили для предела текучести (сопротивления однородной деформации) следующую формулу:

$$k = k_0 u^n, \qquad (VI.2)$$

где u — скорость деформации, сек.$^{-1}$;
k_0 — напряжение при скорости деформации, равной единице;
n — коэффициент.

Величины k_0 и n зависят от температуры испытания и степени деформации (табл. 10 и 11).

Таблица 10

Величина коэффициента n, полученная Алдером и Филипсом

Металл	Температура, °С	$n \cdot 10^3$ для обжатия %				
		10	20	30	40	50
Технически чистый алюминий	150	22	22	21	24	26
	250	26	31	35	41	41
	350	55	61	73	84	88
	450	100	68	100	116	130
	550	130	130	141	156	155
Медь, раскисленная фосфором	300	16	18	17	25	24
	450	10	4	8	14	31
	600	50	43	41	56	78
	750	96	97	128	186	182
	900	134	110	154	195	190
Мягкая сталь, содержащая 0,17% С	930	88	84	94	99	105
	1000	108	100	90	93	122
	1060	112	107	117	127	180
	1135	123	129	138	159	198
	1200	116	122	141	173	196

Таблица 11

Величина k_0, полученная Алдером и Филипсом

Металл	Температура, °С	k_0, кг/мм², для обжатия, %				
		10	20	30	40	50
Технически чистый алюминий	150	7,99	9,45	10,50	11,28	11,9
	250	6,37	7,86	8,0	8,35	8,61
	350	4,41	4,73	5,04	5,12	5,18
	450	2,73	3,02	3,15	3,07	3,02
	550	1,54	1,68	1,76	1,68	1,68
Медь, раскисленная фосфором	300	14,18	18,6	21,18	22,58	24,56
	450	11,9	15,79	17,58	18,61	18,79
	600	8,97	11,79	13,23	13,6	13,38
	750	5,32	6,79	7,0	5,95	5,75
	900	3,3	0,41	4,27	3,86	3,64
Мягкая сталь, содержащая 0,17%С	930	11,41	13,6	14,3	14,62	12,6
	1000	9,1	10,91	12,11	12,6	11,81
	1060	7,65	9,05	9,8	10,08	9,54
	1135	6,37	7,35	7,85	7,7	6,94
	1200	5,32	6,04	6,17	5,82	5,32

В общем виде величина предела текучести при высоких температурах может определяться выражениями следующего типа (при какой-либо постоянной температуре):

$$k = f(\varepsilon) + \varphi(\varepsilon) \ln u_{cp}. \qquad (VI.3)$$

Так как величина предела текучести сильно зависит от относительного обжатия, то нельзя согласиться с рекомендуемым Целиковым и Пушкаревым методом расчета давления металла с помощью базисного удельного давления (т. е. удельного давления, измеренного при прокатке $l:h \approx 1$; $\varepsilon = 10 \div 13\%$ и малом коэффициенте внешнего трения).

Физическая природа увеличения прочности с ростом скорости сжатия заключается в том, что при высоких скоростях сжатия, даже при высоких температурах, металл проявляет тенденцию к образованию наклепа.

Из изложенного выше можно увидеть, с какими сомнениями и неопределенностями в выборе величины предела текучести сталкивается технолог, который попытается одним лишь теоретическим методом произвести расчет давлений при горячей прокатке.

Поэтому можно отметить, что недостаточность теоретических и экспериментальных исследований предела текучести различных металлов и сплавов при температурах и скоростях деформации, соответствующих горячей прокатке, значительно ограничивает возможность применения на практике теоретического метода расчета давления металла на валки.

Силы упругости и силы трения, контактные напряжения — все они связаны со структурой материи и могут быть объяснены, когда будут известны принципы ее строения. Так как материя состоит из атомов, эти силы являются в конечном итоге следствием взаимодействия атомов.

Именно возможностями, скрытыми в атомных силах, объясняются поразительные эффекты прочности, предсказанные теорией дислокаций и нашедшие в самые последние годы полное экспериментальное подтверждение.

Этим же должно объясняться возникновение различных способов деформации материала при идентичных условиях эксперимента, приводящих к большой разнице в усилиях, потребных для деформации — так называемый разброс точек при обработке экспериментов.

Г. Валквист по этому поводу замечает: «Аналогично многим своим исследованиям, автор в настоящей работе пришел к выводу, что два параллельных испытания, проведенных с максимальной точностью, показывают различные результаты по давлению металла на валки и расходу энергии. Получаемые при этом отклонения не могут быть квалифицированы только как ошибки измерения. Вероятно, в данном случае существует различие в самой деформации металла, которое может быть объяснено теорией

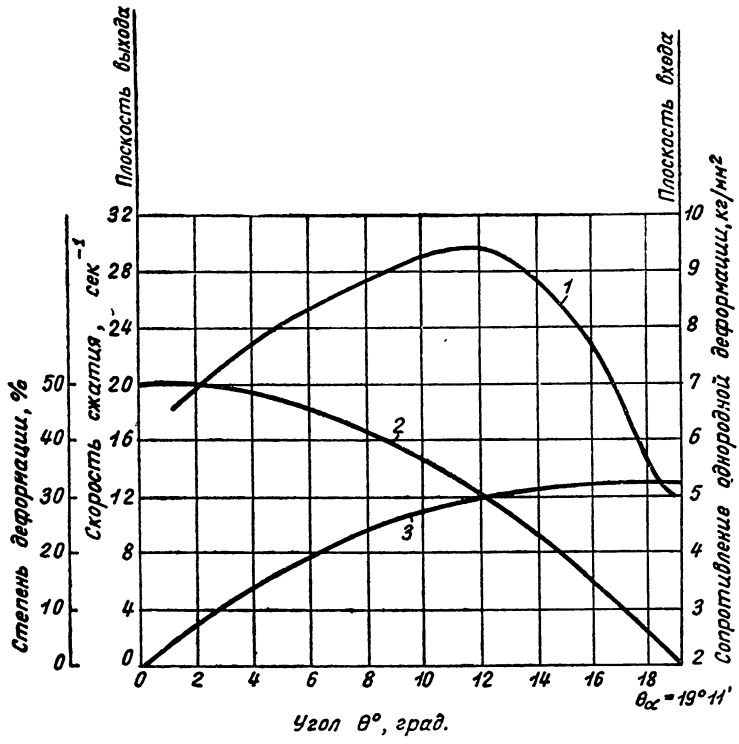


Рис. 57. Изменение скорости сжатия u), степени деформации ε_θ и предела текучести (сопротивления однородной деформации) k_θ по дуге захвата для $h_2 : D = 0.0556$ при горячей прокатке меди. Температура прохода 750°:
1 — сопротивление однородной деформации k_θ; *2* — степень деформации ε_θ : *3* — скорость сжатия u_θ

пластической деформации. Этот вопрос должен быть рассмотрен в сочетании с проблемой дислокаций». Поэтому радикальное решение вопросов определения предела текучести и других проблем теории прокатки следует ожидать от быстро развивающейся современной физики твердого тела.

Ближайшей задачей теории горячей прокатки должно явиться нахождение функций $f(\varepsilon)$ и $\varphi(\varepsilon)$ в уравнении (IV. 3) и решение дифференциального уравнения прокатки в общем виде с подстановкой в него для предела текучести уравнения (IV. 3).

4. Изменение предела текучести по дуге захвата при горячей прокатке

При прокатке в данном проходе температуру металла приближенно можно принять постоянной, если допустить, что падение температуры за счет теплопередачи валкам компенсируется повышением температуры вследствие деформации в валках.

Тогда предел текучести по дуге захвата будет изменяться только с изменением скорости сжатия и степени деформации.

Если воспользоваться кривыми величин сопротивления однородной деформации (см. рис. 53), можно исследовать изменение предела текучести по дуге захвата.

Рассмотрим следующий проход при горячей прокатке меди при температуре 750°. Диаметр валков $D = 900$ *мм*; начальная толщина $h_1 = 100$ *мм*; конечная толщина $h_2 = 50$ *мм*; скорость прокатки $v = 2$ *м/сек*; угол захвата $\alpha = 19°15'$; угол опережения $\gamma = 6°$ и $\lambda = 1.0987$.

Тогда, согласно уравнению (I. 22), величина скорости сжатия при любом угле θ может быть вычислена по выражению

$$u_\theta = \frac{2 \cdot 2 \sin\theta}{0{,}050 + 0{,}90 \cdot (1 - \cos\theta)} \text{ сек.}^{-1}.$$

На рис. 57 представлен график изменения скорости сжатия, степени деформации и предела текучести по дуге захвата для рассматриваемого прохода. Из рисунка видно, что распределение предела текучести по дуге захвата в рассматриваемом проходе весьма далеко от равномерного.

§ 2. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ВЕЛИЧИНЫ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ И ПРЕДЕЛА ТЕКУЧЕСТИ

Рис. 58—63 иллюстрируют влияние температуры на предел прочности ряда цветных металлов и сплавов.

Рис. 58 показывает зависимость σ_b от температуры для чистой меди и чистого алюминия при трех различных скоростях

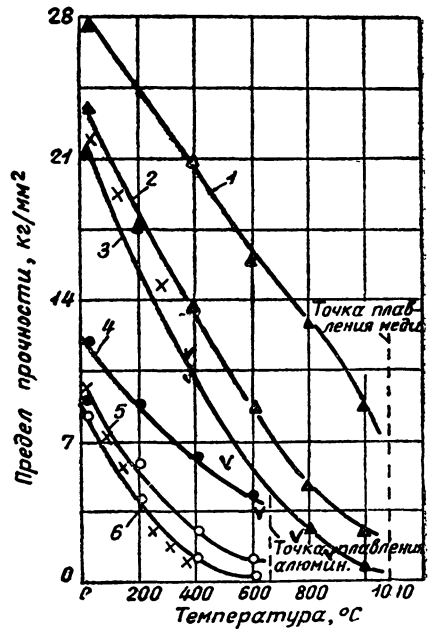


Рис. 58. Влияние температуры и скорости деформации на предел прочности чистой меди и чистого алюминия:
1 — скорость деформации 900 сек.$^{-1}$; *2* — 0,46 сек.$^{-1}$; *3* — 7,7 · 10^{-4} сек.$^{-1}$; *4* — 1000 сек.$^{-1}$, *5* — 0,51 сек.$^{-1}$; *6* — 8,5 · 10^{-4} сек.$^{-1}$;
△ — опыты с медью;
○ — опыты с алюминием;
× — опыты Бассета с электролитической медью и опыты Темплина и Пауля с алюминием; V — опыты Прайса с медью

деформации. Этот график построен по данным рис. 50 и 51. На этом же рисунке для сравнения приведены данные других исследований. Скорости деформации при этих испытаниях неизвестны и могут быть приняты равными обычным скоростям испытаний — 2 · 10^{-3} сек.$^{-1}$. Результаты этих исследований нанесены различными знаками.

На рис. 59 даны кривые предела прочности для двух медноцинковых сплавов Л62 и Л68. На этом же рисунке для сравнения знаками «*x*» нанесены результаты более раннего исследования. Скорости деформации в этих исследованиях неизвестны и могут быть приняты обычными для стандартных машин. На этом рисунке показаны кривые *2*, полученные А. В. Бобылевым и А. И. Чипиженко при несколько бо́льших скоростях деформаций, в связи с чем они показывают и бо́льшие значения σ_b. Разница в значениях σ_b оказывается, однако слишком значительной, поэтому к ним следует относиться с осторожностью.

На рис. 60 нанесены кривые изменения временного сопротивления срезу $\tau_{\text{ср}}$ и предела текучести k_f дуралюмина (4,3% Cu, 0,6% Mg, 0,5% Mn, 0,4% Si).

Там же дана кривая предела прочности близкого по составу сплава (4,5% Cu, 0,6% Mn, 1,5% Mg). Скорость деформации неиз-

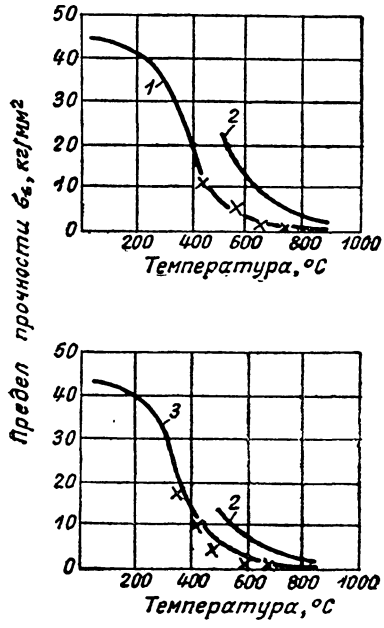


Рис. 59. Влияние температуры на предел прочности латуни Л62 и Л68:
1 — Л62 (31 98% Zn при 20% холодной деформации); *2* — Л68, скорость деформации 5 10^{-2} сек.$^{-1}$; *3* — Л62 (37,54% Zn при 20% холодной деформации)

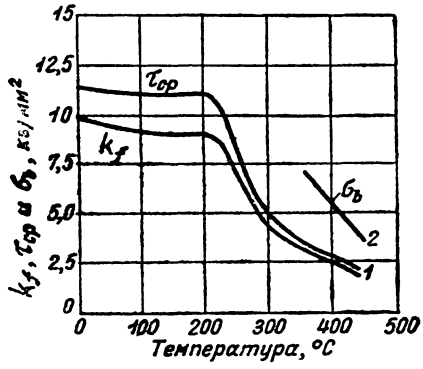


Рис. 60. Влияние температуры на предел текучести k_f, временное сопротивление срезу $\tau_{ср}$ и предел прочности дуралюмина. Скорость деформации неизвестна и может быть принята обычно $2 \cdot 10^{-3}$ сек.$^{-1}$.
1 — 4,3% Cu, 0,6% Mg, 0,5% Mn, 0,4% Si; *2* — 4,5% Cu, 1,5% Mg, 0,6% Mn

вестна и может быть принята обычной: $2 \cdot 10^{-3}$ сек.$^{-1}$. Разница в значениях $\sigma_в$ и k_f очень высока, очевидно, повышенное содержание магния во втором сплаве не могло не сказаться. На рис. 61 показано изменение предела текучести цинка с изменением температуры.

Рис. 62 иллюстрирует влияние температуры на величину предела прочности никеля и мельхиора по данным С. И. Губкина

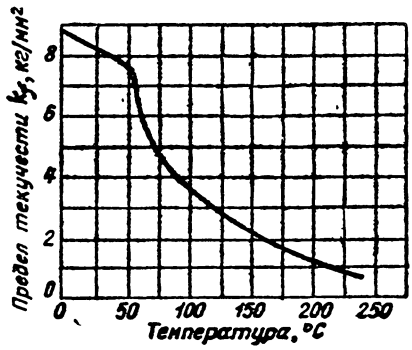


Рис. 61. Влияние температуры на предел текучести цинка

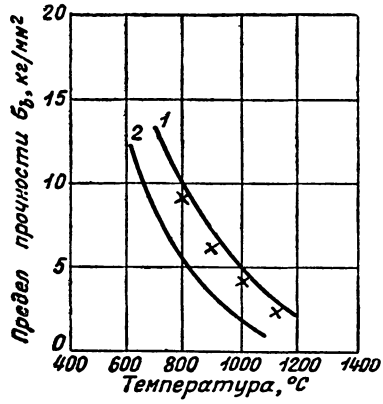


Рис. 62 Влияние температуры на предел прочности никеля и мельхиора. Скорость деформации 2,8 10^{-3} сек.$^{-1}$ (С. И Губкин и П. Г. Кириллов):
1 — никель; *2* — мельхиор

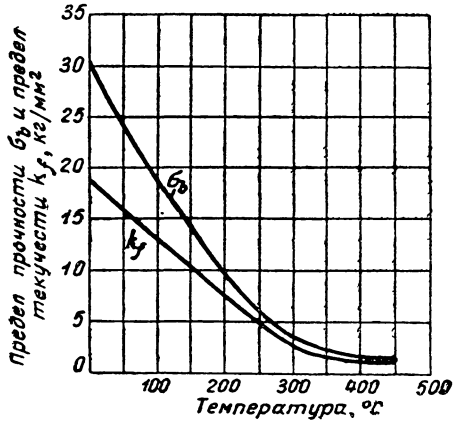


Рис. 63. Влияние температуры на предел прочности $\sigma_в$ и предел текучести k_f сплава МА3

и П. Г. Кириллова. Образцы с расчетной длиной 60 *мм* разрывались со скоростью 10 *мм/мин*, так что скорость деформации составляла $2{,}7 \cdot 10^{-3}$ *сек*$^{-1}$. Для сравнения на этом рисунке показаны знаками *x* результаты, полученные ранее для никеля Людвиком.

На рис. 63 показано влияние температуры на величину предела прочности и предела текучести магниевого сплава МАЗ, приблизительный состав которого 6% Al, 1% Zn, 0,3% Mn, остальное Mg. Скорость испытания неизвестна и может приниматься обычной.

§ 3. ВЕЛИЧИНА ПРЕДЕЛА ТЕКУЧЕСТИ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ. ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА И НАКЛЕПА

Под действием усилий, превышающих сопротивление текучести, металлы пластически деформируются и диаграмма зависимости напряжения от величины деформации показывает пластические свойства материала.

В настоящее время для исследования зависимости между напряжением и деформацией в условиях пластической деформации обычно пользуются кривыми истинных напряжений, в которых по оси абсцисс откладывается фактическая величина деформации в данный момент, а по оси ординат — фактическое напряжение, получающееся путем деления измеренной в данный момент нагрузки на фактическое сечение. Вследствие наклепа при холодной деформации по мере развития ее истинные напряжения непрерывно растут и характер этого роста показывает склонность к наклепу различных металлов.

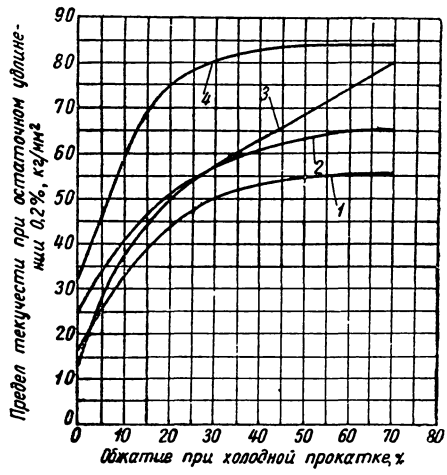


Рис. 65. Влияние холодной прокатки на предел текучести полос из никеля и медноникелевых сплавов, предварительно отожженных до размера зерна 0,015 *мм*.
1 — мельхиор (78,18% Cu, 20,65% Ni, 0,51% Mn); *2* — нейзильбер (66,18% Cu, 15,01% Ni, остальное Zn); *3* — никель; *4* — пружинный нейзильбер (56,56% Cu, 17,77% Ni, остальное Zn)

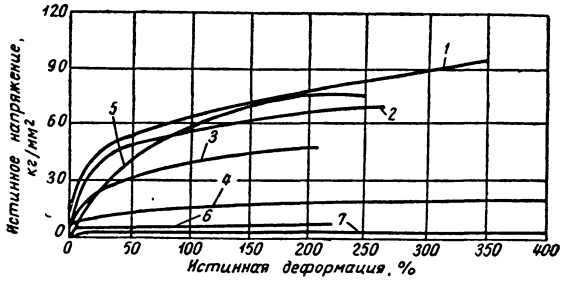


Рис. 64. Кривые истинное напряжение — истинная деформация для различных металлов:
1 — латунь 70/30; *2* — мельхиор; *3* — электролитическая медь; *4* — тянутый алюминий; *5* — малоуглеродистая сталь, *6* — чистое олово; *7* — чистый свинец

На рис. 64 представлены кривые истинных напряжений, полученные при испытаниях на разрыв отожженных образцов некоторых металлов. Из рисунка видно, что не только величина предела текучести в отожженном состоянии, но и рост наклепа для различных металлов и сплавов весьма различны и что из приведенных сплавов наиболее склонны к наклепу латунь и мельхиор. Чистые металлы — медь и алюминий — наклепываются значительно меньше, а олово и свинец практически не наклепываются.

На деле применение кривых истинных напряжений для целей прокатки, когда обжатия могут достигать 60—70% и выше, ограничено тем, что после образования шейки распределение напряжений по сечению образца становится заведомо неравномерным, а величина истинных напряжений — приближенной. Шейка же при испытаниях на растяжение образуется при сравнительно небольших деформациях.

Поэтому для целей прокатки лучшим методом изучения влияния наклепа является определение предела текучести у образцов, прокатанных после отжига с различной степенью обжатия.

На рис. 65 даны построенные таким образом кривые предела текучести в функции от обжатия при холодной прокатке для чистого никеля и никелевых сплавов; на рис. 66 — для чистой меди и медноцинковых сплавов; на рис. 67 — для алюминия и его сплавов.

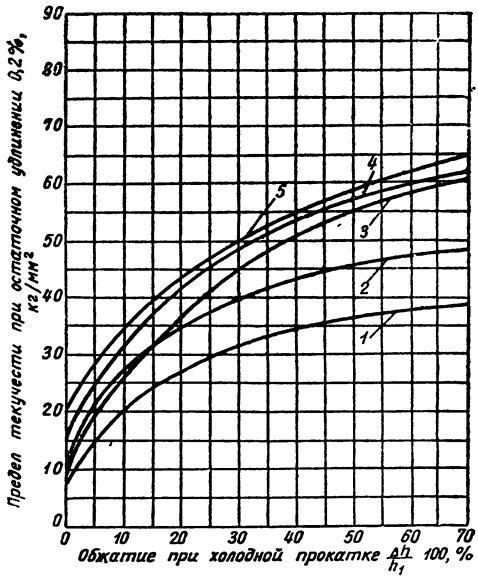


Рис. 66 Влияние холодной прокатки на предел текучести полос из меди и медноцинковых сплавов, предварительно отожженных до размеров зерна 0.015 *мм*:
1 — электролитическая медь (99.92% Cu, 0.05% O); *2* — томпак ЛТ90 (89,74% Cu, остальное Zn); *3* — латунь Л68 (68,41% Cu, остальное Zn); *4* — латунь Л62 (60,5% Cu, остальное Zn); *5* — латунь ЛС64-2 (63,5% Cu, 1,5% Pb, остальное Zn)

1. Изменение предела текучести по дуге захвата при холодной прокатке

При прохождении через зев валков полоса подвергается наклепу, в результате которого повышается предел текучести. Любая кривая изменения предела текучести с наклепом может быть использована для характеристики роста предела текучести по дуге захвата в границах того обжатия, которое полоса получает за проход. Кривые наклепа различны для различных сплавов, и этот факт обусловливает их различный наклеп в течение прохода.

В общем с наклепом предел текучести растет не прямолинейно, а по какой-то кривой, и в особенности это относится к первому проходу после отжига. Рис. 20 и 21, на которых предел текучести нанесен в виде 1,15 k_f, показывают это с большой наглядностью. Существуют формулы, которые аналитически связывают предел текучести с наклепом. Можно указать, например, на следующую формулу, предложенную для алюминиевых сплавов:

$$k_x = k_1\left(1 + 0{,}9\,\frac{h_1 - h}{h_1}\right), \quad \text{(VI.4)}$$

k_x — предел текучести при толщине h во время прохода;
k_1 — предел текучести перед проходом при толщине h_1.

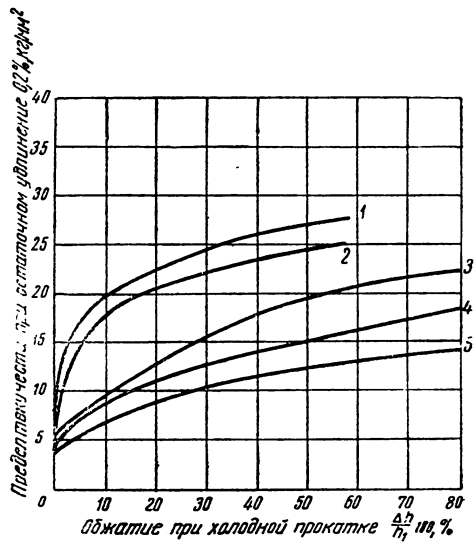


Рис. 67. Влияние холодной прокатки на предел текучести алюминия и его сплавов: *1* — 3,94% Cu, 0,90% Mg, 0,45% Mn, 0,35% Si; *2* — 4,2% Cu, 0,73% Mg, 0,74% Mn, 0,52% Si; *3* — 1,2% Mn, 1% Mg, *4* — АМц (1 — 1,6% Mn, 0,05% Mg); *5* — алюминий

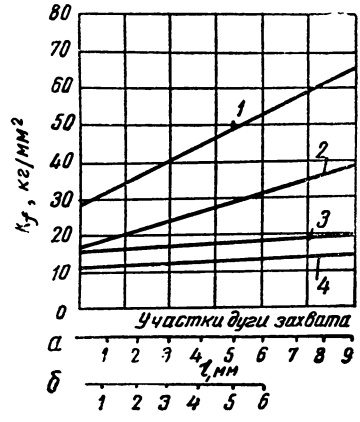


Рис. 68. Изменение предела текучести по дуге захвата при холодной прокатке различных металлов:
а — при обжатии 40%; *б* — при обжатии 80%; *1* — сталь 10; *2* — медь; *3* — цинк; *4* — алюминий

Следовательно, этой формулой сделана попытка охарактеризовать наклеп алюминия и его сплавов по мере прохождения металла через валки.

Е. С. Рокотян в специальном исследовании показал, что даже при больших обжатиях изменение предела текучести по дуге захвата мягкой стали (Ст. 10), меди, алюминия и цинка можно с достаточной для практики точностью считать прямолинейным. Это положение иллюстрирует рис. 68.

С рис. 65 и 66, показывающими влияние обжатия на предел текучести медноцинковых и медноникелевых сплавов, этот результат согласуется плохо.

Однако при прокатке алюминиевых сплавов, не воспринимающих закалки (см. кривые *3*, *4*, и *5* рис. 67), в пределах тех обжатий, которые обычно даются за проход, кажется допустимым кривую наклепа заменять прямой без получения при этом больших погрешностей при расчете давления на валки.

§ 4. ВЕЛИЧИНА КОЭФФИЦИЕНТА ВНЕШНЕГО ТРЕНИЯ ПРИ ГОРЯЧЕЙ И ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ

При исследовании закона распределения удельного давления было выяснено, какое большое влияние оказывает величина коэффициента внешнего трения на величину и распределение удельного давления по дуге захвата Поэтому определение точного значения средней для всей дуги захвата величины коэффициента внешнего трения для каждого случая прокатки имеет большое значение для получения правильных результатов при расчете давления металла на валки.

Коэффициент внешнего трения находится в сложной зависимости от ряда факторов. Установлено, что на его величину влияют:

а) состояние поверхности (степень обработки и износа) валков и полосы;

б) наличие и состав смазки между полосой и валками;

в) природа прокатываемого металла;

г) температура металла при горячей прокатке — главным образом потому, что она определяет природу и толщину окалины на поверхности полосы;

д) давление между полосой и валками;

е) скорость проскальзывания поверхности полосы по поверхности валков.

В процессе горячей и холодной прокатки от прохода к проходу, а иногда и в процессе прохода многие из этих факторов подвержены колебаниям. При горячей прокатке налипание металла на валок, падение температуры, появление окислов на полосе могут вызывать колебание величины μ. Такие же колебания могут происходить при холодной прокатке, когда применяемая смазка может выжиматься в области наиболее высоких давлений или концентрироваться на отдельных участках и т. д.

Кроме того, в зеве валков происходит образование новых поверхностей полосы, имеющих другое состояние; этот факт при холодной прокатке приводит к тому, что коэффициент внешнего трения будет изменяться от точки к точке вдоль дуги захвата.

Только непосредственно в условиях обжатия в валках проявляется полностью эта сложная зависимость коэффициента внешнего трения от всех перечисленных факторов.

Однако до сих пор еще не найдено способа измерения μ в условиях прокатки, а косвенные методы не всегда позволяют определить его правильное значение.

1. Методы определения μ испытаниями на прокатку

Известны три основных способа определения величины коэффициента внешнего трения испытаниями на прокатку:

а) по максимальному углу захвата;

б) по величине опережения;

в) клещевым прибором проф. И. М. Павлова.

Во всех этих методах предполагается, что μ остается постоянным по дуге захвата. Рассмотрим, в какой мере эти методы позволяют правильно определить истинное среднее значение μ для всей дуги захвата.

Определение величины μ по первому методу основано на том факте, что захват полосы валками происходит только тогда, когда угол захвата α равен или меньше угла трения β При этом методе к валкам, вращающимся с определенной скоростью и имеющим раствор, при котором захват невозможен, подается полоса и поддерживается в соприкосновении с валками. Затем верхний валок поднимается, и в момент наступления равенства $\alpha_{макс} = \beta$ валки захватывают полосу. По величинам h и D определяется угол захвата α, который и считается равным углу трения β:

$$\beta = \arccos \alpha_{макс} = \arccos \frac{D - \Delta h}{D}.$$

Этот способ определения μ позволяет исследовать влияние на его величину следующих факторов:

а) состояния поверхности валков и полосы;

б) температуры металла;

в) скорости прокатки.

Величина μ, определяемая этим методом, отвечает условиям трения между верхним и нижним краями полосы и валками только в точке входа и лишь для той частной скорости проскальзывания, которая соответствует скорости прокатки при постановке опытов. Следовательно, эта величина коэффициента трения не может представлять собой истинное среднее значение для всей поверхности соприкосновения.

Этот метод совсем не может давать правильных значений при прокатке тонких полос, когда наличие больших по величине удельных давлений и скорости скольжения на дуге касания должно сильно сказываться на величине μ.

2. Определение коэффициента трения по величине опережения

Этот метод основан на теоретической связи между критическим углом и μ и между опережением и критическим углом.

Теоретические формулы (I. 3), (I. 9а), (II. 48) и др. были рассмотрены ранее. Правильность вычисленных по ним значе-

ний, очевидно, зависит от того, насколько справедливы гипотезы, положенные в основу их вывода.

Как видно из табл. 3, неравномерное распределение давлений по дуге захвата, учитываемое формулой Целикова, не приводит

хватив полосу, натягивают цепь, и это тянущее усилие передается на месдозу через реверсивную рамку *1* посредством стального шарика. Вращаясь, валки натягивают цепь и затем начинают буксовать по полосе. В момент установившегося буксования

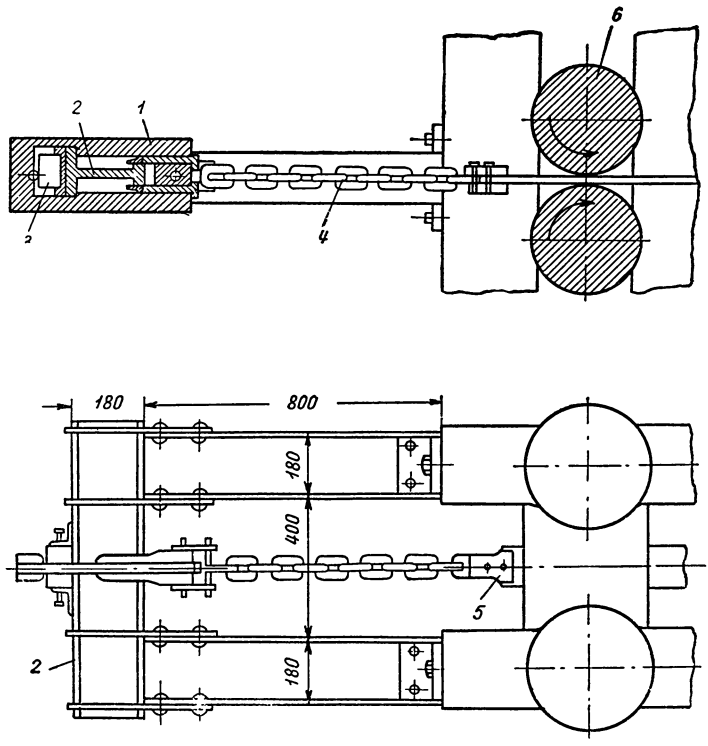


Рис. 69. Схема клещевого прибора И. М. Павлова:
1 — реверсивная рамка; *2* — поперечная балка; *3* — месдоза; *4* — цепь; *5* — зажим; *6* — валки

к каким-либо большим расхождениям при определении величины опережения (а следовательно, и величины μ) по сравнению с формулами, принимающими равномерное распределение удельных давлений.

Таким образом, если справедлива гипотеза плоских сечений, то этот метод позволяет наиболее полно учесть влияние всех факторов, определяющих среднее значение величины μ по дуге захвата, за исключением сплющивания валков, которое обычно имеет место при холодной прокатке тонких листов.

Коэффициент внешнего трения определяют методом И. М. Павлова на предложенном им оригинальном приборе (рис. 69). Рама выполнена из двух продольных и одной поперечной балок и прикреплена к станинам клети. Реверсивную рамку *1* надевают на поперечную балку *2*, между ними располагается месдоза *3*. Прокатываемую полосу укрепляют болтами в зажиме *5*, который цепью *4* присоединяется к реверсивной рамке и задается в валки *6*. Валки, замеряют величину тянущего усилия T и величину давления металла на валок P.

Если допустить, что равнодействующая давления металла на валок проходит посредине дуги захвата, то, как выводит И. М. Павлов из положений элементарной теории прокатки,

$$\mu = \frac{T}{2P} + \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2},$$

где α — угол захвата.

Следовательно, методом И. М. Павлова определяется значение μ для исключительного случая прокатки, при котором нейтральная точка смещается за плоскость выхода металла из валков, а опережение является величиной отрицательной (буксование). Но этим методом:

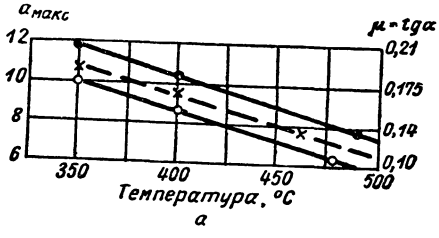
а) учитывается влияние больших давлений металла на валок при реальном процессе прокатки;

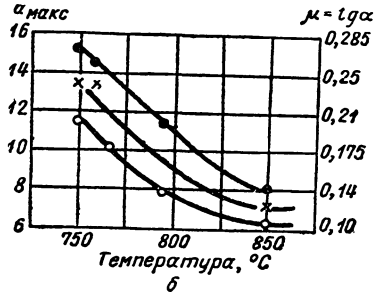
б) может быть исследовано влияние различных скоростей прокатки, т. е. различного скольжения, на величину μ.

В случае определения μ этим методом наиболее правильные результаты будут получаться при сухой прокатке. При прокатке же со смазкой влияние смазки на действительный процесс прокатки будет совсем не таким, как в случае буксования, воспроизводимом в приборе Павлова.

3. Экспериментальные работы по определению μ

Зависимость μ от температуры прокатки и состояния поверхности валков при прокатке цветных металлов исследовали И. М. Павлов и Н. Н. Гет. Они установили





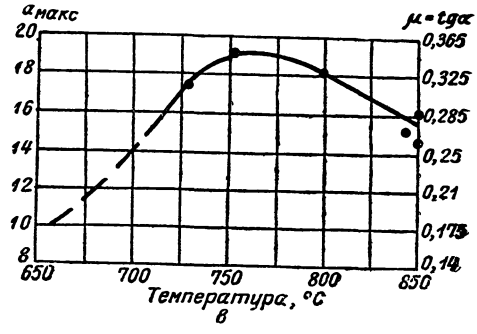


Рис. 70. Влияние температуры на угол захвата и величину коэффициента внешнего трения при прокатке алюминия, латуни и меди на грубо полированных валках диаметром 658 *мм* без смазки. Размер прокатывавшихся полос 50×35×400 *мм*: *а*—нешаброванный алюминий; *б* — шаброванная латунь; *в* — нешаброванная красная медь

влияние температуры прокатки и состояния поверхности валков на величину коэффициента трения при горячей прокатке алюминия, меди и латуни Л62.

Использовался метод предельного угла захвата, причем постоянное соприкосновение образца с валками поддерживалось до момента захвата легким прижатием полосы к валкам с одинаковой силой на всем протяжении опытов.

Прокатку производили на стане с диаметром валков 658 *мм*. Скорость прокатки во всех опытах была постоянной, т. е. влияние скорости на коэффициент трения не исследовали.

Прокатку осуществляли на валках с разным состоянием поверхности: гладких, грубо полированных, шероховатых с сильно развитой сеткой и на валках с налипшим металлом.

На гладких валках прокатывались болванки из всех сплавов одного размера (50 × × 35 × 400 *мм*). Алюминиевые слитки нагревали в электропечах, а латунные и медные — в пламенной печи. Температуру полос замеряли перед проходом термопарой с точностью ±10°. Результаты опытов по прокатке на гладких валках, представленные на рис. 70, показывают, что с понижением температуры коэффициент трения алюминия, латуни и меди повышается, причем для меди возможен максимум в интервале 750—800°. Можно предположить, что чем больше прокатываемые металлы склонны образовывать окислы при нагреве, тем выше величина коэффициента трения.

Другая серия опытов была проведена на том же стане, но на шероховатых с резко выраженной сеткой валках, близких к перешлифовке. Такое состояние поверхности появляется у полированных валков приблизительно после 8—10 дней горячей прокатки с поливкой водой. Прокатывали болванки увеличенных размеров: медные (вайербарс) размерами 80/90×100 *мм*, латунные Л62 размерами 108×80 *мм* и алюминиевые 100×100 *мм*. Длина всех образцов составляла 300—400 *мм*. Результаты опытов этой серии приведены в табл. 12.

Третья серия опытов имела целью определить значение коэффициента трения при прокатке на валках с налипшим металлом. Налипание особенно сильно проявляется при горячей прокатке алюминия и магния и является неизбежным фактором. Результаты этих опытов приведены в табл. 13.

Достаточно высокие значения коэффициента трения, приведенные в табл. 13, нельзя считать предельными, так как степень налипания металлов, которая непосредственно влияет на величину коэффициента, под-

Таблица 12

Величина максимального угла захвата α и значение коэффициента внешнего трения μ при прокатке на валках с развитой сеткой

Показатели	Красная медь			Шаброванная латунь		Шаброванный алюминий	
Температура, °С .	700	780	800	750	850	350	450
Среднее значение угла захвата α . .	22°56′	24°51′	24°12′	23°6′	18°58′	24°58′	22°56′
Коэффициент трения μ	0,42	0,46	0,45	0,43	0,34	0,46	0,42

Таблица 13

Величина максимального угла захвата α и значение коэффициента внешнего трения μ при прокатке в валках с налипшим металлом

Показатели	Медь		Алюминий	
Температура, °С	790	850	350	450
Среднее значение угла захвата α	29°15′	28°35′	29°10′	28°10′
Коэффициент трения μ . . .	0,56	0,54	0,56	0,53

вержена значительным колебаниям и ни в коем случае не является величиной постоянной.

Общим результатом для всех трех серий опытов является чрезвычайная неустойчивость углов захвата и величины μ в связи с изменением состояния поверхности валков. Например, для алюминия μ изменяется от $\sim 0{,}13$ при 500° и грубо полированных валках до $\mu = 0{,}56$ при прокатке на валках с налипшим металлом при температуре 350°.

Определение значения μ методом И. М. Павлова при холодной прокатке алюминия, свинца и меди

И. М. Павлов, пользуясь своим прибором, определил значение μ при прокатке без смазки на сухих полированных валках диаметром 158, 5 *мм* со скоростью 0,025 *м/сек* алюминиевых и свинцовых образцов сечением (4—7)×75 *мм*. Одновременно определяли значение μ методом максимального угла захвата. Результаты обоих опытов были весьма близкими и дали значения μ, равные 0,15—0,17 для алюминия и 0,193—0,200 для свинца, причем метод угла захвата показывает меньшие значения.

В другом случае, на валках диаметром 160 *мм*, давно не полированных и имевших матовую поверхность с отдельными вмятинами, при скорости $v = 0{,}025$ *м/сек* И. М. Павлов получил при прокатке алюминиевых и медных полос сечением 2,5×33—35 *мм* значение μ, одинаковое для обоих металлов и равное 0,125.

Остается неясным, почему на более грубых валках получено меньшее значение μ.

Исследование Рокотяна по определению значений μ при холодной прокатке

Рокотян определял среднее для данного прохода значение коэффициента внешнего трения при холодной прокатке методом измерения давления металла на валок.

Отожженные образцы сечением 0,5—1,5× ×50—60 *мм* и длиной до 200 *мм* прокатывали на слабо отшлифованных закаленных валках диаметром 130 *мм* из хромистой стали в один проход при различных условиях трения: без смазки, со смазкой машинным маслом и со смазкой керосином. В каждом проходе замеряли давление металла на валок, а также значение предела текучести образцов до и после прокатки.

Подставляя указанные данные в свою формулу, Рокотян получил расчетным путем значения μ, приведенные в табл. 14.

Таблица 14

Величины коэффициента трения μ для холодной прокатки, полученные при экспериментальной проверке формулы Е. С. Рокотяна на закаленных валках из хромистой стали

Металл	Без смазки	Смазка керосином	Смазка легким машинным маслом
Сталь Ст. 10 . . .	0,20—0,30	0,15—0,17	0,10—0,13
Медь	0,20—0,25	0,13—0,15	0,10—0,13
Алюминий	0,20—0,30	0,10—0,15	0,08—0,09
Латунь (нагартованная)	0,12—0,15	0,06—0,07	0,05—0,06
Цинк	0,25—0,30	0,12—0,15	—

Правильность значений μ, приведенных в табл. 14, естественно, зависит от того, насколько точно формула Рокотяна учитывает влияние внешнего трения. Сплющивание валков, по-видимому, он не учитывал.

Наибольшие величины μ, полученные Рокотяном при прокатке на сухих валках для меди и алюминия, почти в два раза превышают значения, которые определил Павлов. Разница очень значительна, даже если принять во внимание, что Рокотян характеризует валки как слабо шлифованные, а Павлов — как полированные. Здесь сказалось также и различие в методах определения μ.

При холодной прокатке алюминия и его плакированных сплавов в условиях, когда рабочие валки стана покрываются тонким слоем алюминия, коэффициент трения принимает следующие значения:

Прокатка без смазки . .	0,23—0,35
Прокатка со смесью керосина и масла . . .	0,16—0,20
Прокатка со смазкой и эмульсией	0,18—0,23

При горячей прокатке алюминия и его сплавов и при условии, что поверхность валков также покрыта тонким слоем алюминия, принимается, что $\mu = 0{,}4 \div 0{,}5$.

4. Определение величины μ сжатием образцов между коническими бойками

Все приведенные выше значения коэффициента трения были получены испытаниями на прокатку. Теперь рассмотрим метод определения μ, предложенный С. И. Губкиным и заключающийся в сжатии цилиндрических образцов, имеющих на обоих концах

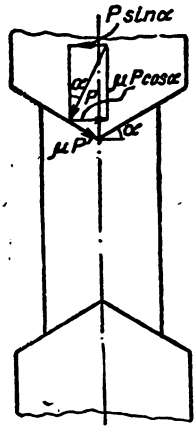


Рис. 71. Метод определения коэффициента внешнего трения μ сжатием цилиндрического образца между коническими бойками при давлениях, соответствующих пределу текучести испытуемого образца

коническую выточку, между коническими сдавливающими бойками, плотно пригнанными к конусам в цилиндрах, как показано на рис. 71.

Два бойка с находящимся между ними цилиндрическим образцом помещают между плитами пресса и сжимают до начала пластической деформации образца. После этого исследуют вид боковой поверхности цилиндра. Если боковая поверхность образца остается прямой или неискривленной, то угол α представляет собой угол трения между образцом и коническими бойками, т. е.

$$\mu = \operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \alpha .$$

Действительно, для параллельного перемещения образующих цилиндра при сжатии необходимо, чтобы в конусах между образцом и бойками не возникло сил трения, препятствующих этому движению. Аналитическим выражением этого условия является выражение (рис. 71).

$$P \sin \alpha = \mu P \cos \alpha ,$$

или

$$\mu = \operatorname{tg} \alpha .$$

Таким образом, при этом методе приходится постепенно подбирать конические бойки с таким углом, при котором цилиндрический образец сохранит свою форму, причем для эксперимента приходится иметь набор бойков, углы которых отличаются один от другого на 1—2°. Этот метод позволяет воспроизводить различные условия трения (со смазкой, без смазки с полированными или шероховатыми поверхностями) различной обработкой конической поверхности бойков.

В одном эксперименте методом конических бойков был определен коэффициент трения ряда металлов при различных условиях трения. Результаты опытов приведены в табл. 15.

Таблица 15

Значения μ, полученные методом сжатия образцов различных металлов между коническими бойками из хромистой стали с различным состоянием поверхности без смазки

Металл	Коэффициент внешнего трения μ		
	шлифованная и полированная поверхность	шероховатая обработанная кислотой поверхность	сильно шероховатая, обработанная песком поверхность
Алюминий	0,1	0,3	~0,4
Медь	0,08—0,09	0,3	~0,4
Свинец	<0,1	0,3	~0,4
Железо (сварочное)	0,1	0,25	0,32

Примечание. Шероховата : обработанная кислотой поверхность может быть сравнима с поверхностью сработанного валка.

Этим же методом А. К. Чертавских определял величину μ при сжатии образцов различных металлов между бойками из стали

ЭХ12. Поверхность бойков, которые после термической обработки лишь слегка подшлифовывались наждачной бумагой, следует считать грубо шлифованной. Поверхность же образцов, подвергавшуюся после отжига лишь обезжириванию, можно считать слегка шероховатой. Результаты его опытов по сухому сжатию приведены в табл. 16.

Таблица 16

Значения μ, полученные методом сжатия коническими бойками оттожженных образцов

Металл	Условия отжига		Обжатие, %	Среднее значение μ (всухую)
	среда	температура °С		
Алюминий	Селитровая ванна	375	31,5	>0,97
Медь	Вакуум	750	32,5	0,36
Латунь Л59	Муфельная печь (воздух)	600	32,5	0,44
Цинк	Трансформаторное масло	120	31,6	0,39
Железо-армко	Вакуум	800	32,0	0,71

А. К. Чертавских исследовал этим же методом влияние различных смазок на величину μ при сжатии медных и алюминиевых образцов при сохранении прочих условий опытов и получил результаты, приведенные в табл. 17.

Сравнивая результаты этих опытов с результатами опытов Рокотяна, можно отметить, что значения μ, полученные при сжатии между коническими бойками без смазки для алюминия, латуни и железа, значительно выше полученных Рокотяном при сухой прокатке. Вызывает удивление величина μ>0,97, полученная Чертавских для алюминия, которая более чем в три раза выше величины, полученной при аналогичном эксперименте (см. табл. 15). При использовании смазки машинным маслом величина коэффициента внешнего трения для меди и алюминия имеет весьма близкие значения в обоих опытах.

Таблица 17

Значения μ, полученные методом сжатия коническими бойками при различных смазках

Смазка	Значения μ для различных металлов	
	алюминий	медь
Керосин	0,30	0,26
Машинное масло . .	0,07	0,12
Вода	0,14	0,19

Суммируя результаты всех описанных исследований и опытов, нельзя не отметить, что все методы определения коэффициента трения между металлом и валками не дают возможности точно определить истинное среднее значение μ и построены на ряде допущений, обоснованность которых остается недоказанной. Часто результаты, полученные различными методами для идентичных условий, оказываются весьма противоречивыми.

Кроме того, ни один из рассмотренных методов не позволяет непосредственно измерить изменение коэффициента внешнего трения по дуге захвата.

При рассмотрении в свете современной теории влияния различных переменных факторов на величину давления металла на валки предполагается, что изменение любого из этих факторов (таких, как диаметр валков, скорость прокатки, степень обжатия) не оказывает никакого влияния на величину μ. Однако никаких экспериментальных доказательств этого не приводится.

Недостаточная исследованность величины коэффициента внешнего трения при прокатке создает наибольшие трудности при практическом использовании формул современной теории прокатки для расчетов давления металла.

Поэтому, когда приходится выбирать наиболее вероятное для определенных условий прокатки значение μ, необходимо соблюдать большую осторожность и учитывать все те особенности, на которые указывалось при рассмотрении экспериментальных работ.

ГЛАВА VII

ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ДАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛА НА ВАЛКИ И МОМЕНТОВ, СОСТАВЛЯЮЩИХ НАГРУЗКУ ПРИВОДА

Рассмотрение теоретического метода расчета показало, что расчет давления металла на валки при горячей прокатке связан с неопределенностью и сомнениями в выборе как величины предела текучести в зависимости от скорости деформации и температуры, так и теории, учитывающей влияние внешнего трения, а при малых отношениях $l:h$ — в трудности правильной оценки влияния внешних зон.

При холодной прокатке расчеты значительно усложняются вследствие необходимости учитывать натяжение и наклеп и в особенности сплющивание валков.

В результате теоретический метод расчета применяется еще мало и лишь совместно с более простыми эмпирическими методами расчета, которые рассматриваются ниже. Распространение получили два эмпирических метода расчета давления и моментов прокатки:

а) по кривым среднего удельного давления $p_{ср}$;

б) по кривым удельного расхода энергии в функции от удлинения (вытяжки) или толщины полосы.

Эти методы основываются на обобщении экспериментальных исследований усилий на лабораторных или промышленных прокатных станах.

§ 1. КРИВЫЕ $P_{ср}$ В ФУНКЦИИ ОТ ОТНОШЕНИЯ $l:h$ ДЛЯ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

Обобщение $p_{ср}$ при горячей прокатке достигается построением кривых в осях координат $p_{ср} = f(l:h)$. Результаты лабораторных опытов получены для ряда постоянных температур, промышленных опытов — при постепенном падении температуры, когда прокатку ведут в последовательное число проходов.

1. Кривые $p_{ср}$ для меди, латуней и цинка

Лабораторные опыты прокатки меди

На рис. 72 даны кривые $p_{ср}$ для технически чистой меди, построенные по исследованиям О. Эмике и К. Люкаса. На лабораторном стане с диаметром валков 360 *мм* прокатывали полоски толщиной от 5 до 40 *мм* и шириной от 80 до 300 *мм* при трех различных температурах: 650, 750 и 850°. Скорость прокатки составляла 0,15 — 0,55 *м/сек*, однако принятием скоростного коэффициента 1,1 все результаты приведены к эквивалентной скорости $v = 0{,}5$ *м/сек*. Полосы прокатывали в один проход с обжатием 10, 20 и 30%. Величину $l:h$ в этих опытах изменяли от 0,77 до 3,5. Результаты опытов нанесены в виде точек. При 650° проведено лишь незначительное количество опытов. Поэтому кривая этой температуры показана пунктиром.

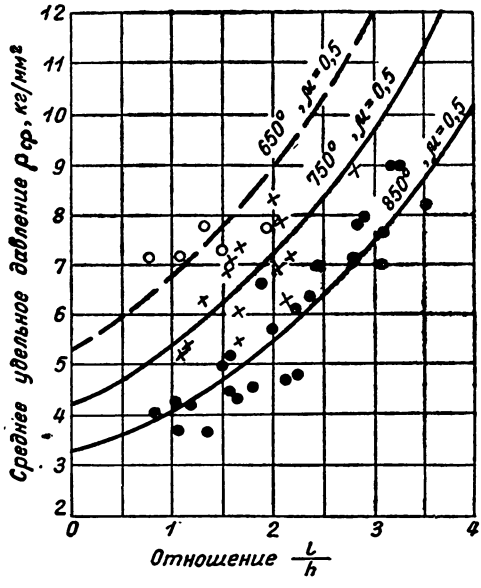


Рис. 72. Среднее удельное давление при прокатке технически чистой меди при трех температурах. Размеры заготовок: толщина от 5 до 40 *мм*, ширина от 80 до 300 *мм*. Прокатку производили в один проход с обжатием 10, 20 и 30%. Кривые построены по формуле осадки для $\mu = 0{,}5$

Промышленные опыты прокатки меди, латуней и цинка

На рис. 73 представлены кривые $p_{ср}$ для меди марки М2, томпака марки Л90 и латуней Л62 и Л68, построенные по результатам исследований К. Н. Богоявленского, Н. Н. Павлова и И. Н. Рязанцева.

Прокатку слитков производили на промышленных станах в последовательное число проходов. Условия опытов представлены в табл. 18.

Результаты исследований на станах дуо и трио наносили на диаграмму в виде точек, а результирующие кривые проводили таким образом, чтобы точки разместились более или менее равномерно по обе стороны кривых.

Таблица 18

Условия опытов по определению $P_{ср}$ при горячей прокатке меди и латуней

Кривая по рис. 73	Наименование металла и сплава	Вес слитка кг	Число прокатанных слитков	Толщина, мм		Ширина, мм		Температура, °С		Число проходов
				начальная	конечная	начальная	конечная	начальная	конечная	
Трехвалковый стан с валками диаметром 650/570/650 и длиной бочки 1525 мм. Скорость прокатки 1,35 м/сек. Привод стана от асинхронного двигателя 550 квт, 735 об/мин с маховиком										
1	Медь М2	320	2	110	5,5	450	—	880—890	—	7
2	Томпак Л90	620	3	125	5,8	620	625	8 5—890	390—440	12—14
3	Латунь Л62	720	4	125	5,5—10	720	760	780—810	480—500	11
4	Латунь Л68	940	4	120	16,8—18	1130	—	780—800	620—680	10—11
Нереверсивный двухвалковый стан с валками диаметром 750 и длиной бочки 1500 мм Скорость прокатки 1,8 м/сек. Привод стана от асинхронного двигателя 736 квт с маховиком										
3	Латунь Л62	500	—	140	10,5	450	508	770	640	6
		500	—	140	10,5	450	528	780	688	4
3	Латунь Л62	590	Всего слитков 200	140	5,5	595	646,5	757	525	7
		590		140	4,5	595	665	765	545	6
4	Латунь Л68	290	То же	120	6	340	382	808	620	6
		495		120	6	580	612	815	565	8

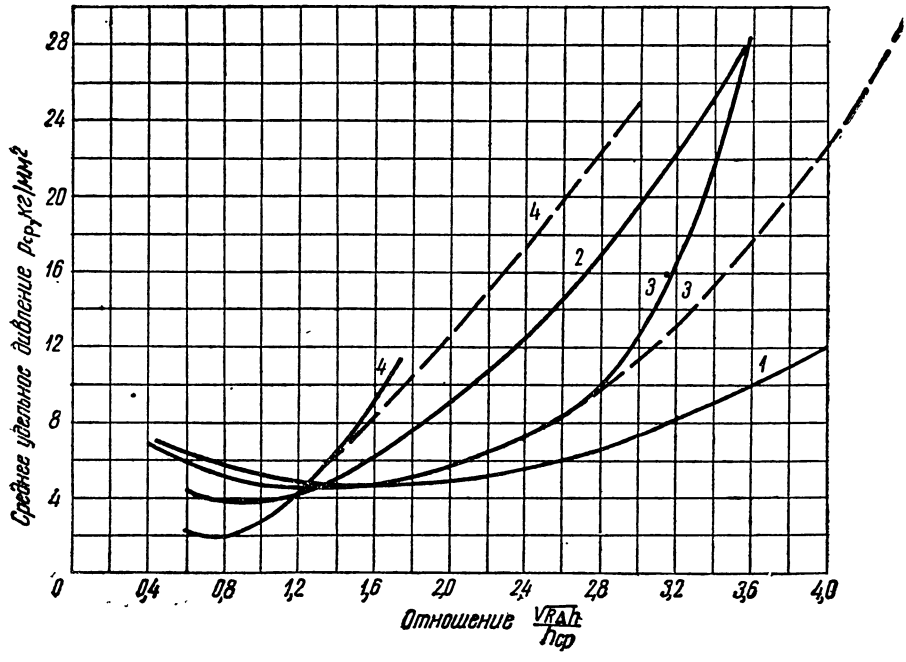


Рис. 73 Кривые средних удельных давлений металла на валки при горячей прокатке меди и латуней на трехвалковом стане 650/570/650×1525 со скоростью 1,35 *м/сек* и нереверсивном двухвалковом диаметром валков 750 и длиной бочки 1500 *мм* со скоростью 1,8 *м/сек*. Данные исследований (табл 18)·

1 — медь М2; *2* — томпак Л90; *3* — латунь Л62; 4 — латунь Л68; —— прокатка на трехвалковом стане; — — — прокатка на двухвалковом нереверсивном стане

Большинство точек, полученных при прокатке на дуо и трио, позволили провести общие кривые, однако при $l:h>2{,}5$ для латуни Л62, $l:h>1{,}5$ для латуни Л68 обнаружилось расхождение в ходе кривых. На рис. 73 пунктирные кривые относятся к прокатке на двухвалковом нереверсивном стане, а сплошные — на трехвалковом стане.

Следует отметить, что для $l:h$ более 2—2,5 разброс точек велик, а их число мало, что затрудняло проведение кривых.

На рис. 74 приведена кривая $p_{ср}$ для цинка. Прокатку слитков толщиной 16—24 *мм* до конечной толщины 4 *мм* производили на двухвалковом стане с диаметром

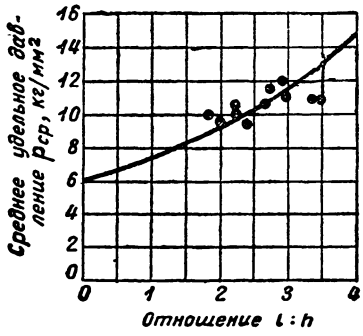


Рис. 74. Среднее удельное давление при горячей прокатке цинка

валка 600 *мм* и длиной бочки 1250 *мм* со скоростью 1,56 *м/сек* в несколько последовательных проходов при температуре 150° с обжатием за проход от 5 до 21%. Кривая, построенная по формуле осадки для $\mu=0{,}4$, прошла примерно посредине между точками опытов.

2. Кривые $p_{ср}$ при прокатке алюминия и алюминиевых сплавов

Лабораторные опыты по прокатке алюминия и сплава марки Д1

На рис. 75 даны кривые $p_{ср}$ для прокатки дуралюмина марки Д1 и 99,5%-ного алюминия марки А1. Кривые построены по формуле осадки (III. 6) при $\mu=0{,}3$. Для отношения $l:h>1{,}75$ кривые хорошо совпали с результатами опытов. При меньших значениях $l:h$ по данным опытов $p_{ср}$ значительно ниже, чем по кривым. Объясняется это тем, что приводимые авторами результативные кривые удельных давлений с уменьшением обжатия стремятся к нулю, в то время как при нулевом обжатии они должны быть равны вынужденному пределу текучести.

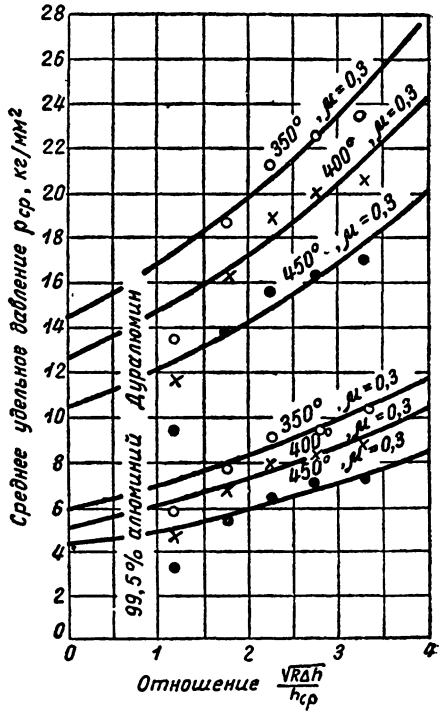


Рис. 75. Среднее удельное давление при прокатке 99,5% алюминия и дуралюмина марки Д1. Диаметр валков 360 *мм*; скорость прокатки 0,4 *м/сек*. Образцы начальной толщиной 15 *мм* и шириной 100 *мм* прокатывали в один проход с обжатием 10, 20, 30, 40 и 50%

Промышленные опыты по прокатке гомогенизированных плакированных слитков дуралюмина марки Д16А и алюминия АД1 на реверсивном четырехвалковом стане 700/1370 × 2840

На рис. 76 нанесены кривые средних удельных давлений для дуралюмина марки Д16, а на рис. 77 — для алюминия, построенные Е. С. Рокотяном по результатам промышленной прокатки. Построение кривых произведено по экспериментальным точкам в функции $l:h$ для ширины прокатываемой полосы 2160 и 1660 *мм*. Фрезерованные слябы начальной толщиной около 190 *мм*, шириной 1330, 1660 и 2160 *мм*; длиной около 1350 *мм* прокатывали в полосу толщиной 6 *мм* за 15—17 проходов в зависимости от состава сплава и ширины. Слябы из алюминия и сплава Д16, полученные методом ПН, перед прокаткой гомогенизировались. Начальная температура прокатки для сплава Д16 составляет 435°, для алюминия 460°, конечная температура около 350°.

Давление измерялось тремя типами электрических датчиков (индуктивными, емкостными и проволочными) с автоматической записывающей аппаратурой, позволявшей получать осциллограммы.

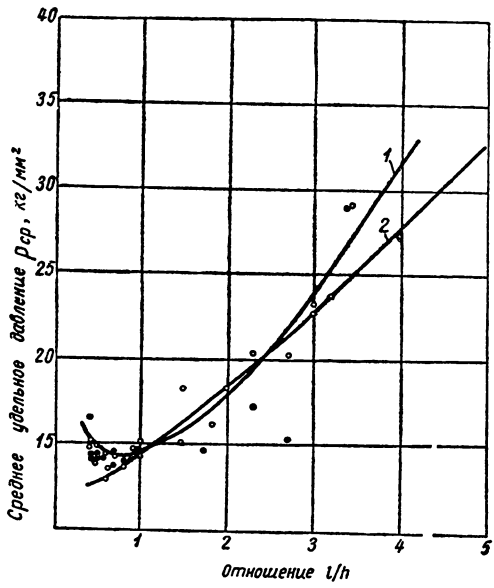


Рис. 76. Зависимость среднего удельного давления от отношения $l:h$ при горячей прокатке дуралюмина Д16А (толщина сляба 189 *мм*; конечная толщина полосы 6 *мм*) на реверсивном четырехвалковом стане 700/1370×2840 *мм*:
1 — ширина полосы 2160 *мм*, h_0 = 189 *мм*, h_1 = 6,0 *мм*, G = 1320 *кг*; *2* — ширина полосы 1660 *мм*, h_0 = 189 *мм*, h_1 = 6,0 *мм*, G = 1125 *кг*

Наибольшие величины $p_{ср}$ получаются при прокатке полос шириной 2160 *мм*, следовательно, увеличение ширины прокатываемой полосы вызывает рост средних удельных давлений.

Промышленные опыты по прокатке плакированных слитков сплава марки Д1 на нереверсивных станах

На нереверсивном двухвалковом стане диаметром 650 *мм* и трехвалковом стане диаметром 750 *мм* измеряли давление при прокатке сплава марки Д1 по десяти различным схемам обжатий с помощью двух пьезоэлектрических месдоз (давлением до 1000 *т*) и автоматической записывающей аппаратуры. Средние удельные давления $p_{ср}$, полученные путем пересчета, представлены в виде кривых в функции от $h_2:D$ на рис. 78. Кривая *1* получена при прокатке на двухвалковой клети с диаметром валков 650 *мм* со слабой смазкой валков и полосы керосином. Кривая *2* получена при прокатке на трехвалковой клети с диаметром валков 700 *мм*, с обильной поливкой валков эмульсией. Меньшие значения $p_{ср}$, представленные кривой *2*, следует объяснить не столько уменьшением коэффициента внешнего трения в результате поливки валков эмульсией, сколько более высокой начальной температурой слитка. При $h_2:D=0{,}15$ кривые имеют минимум.

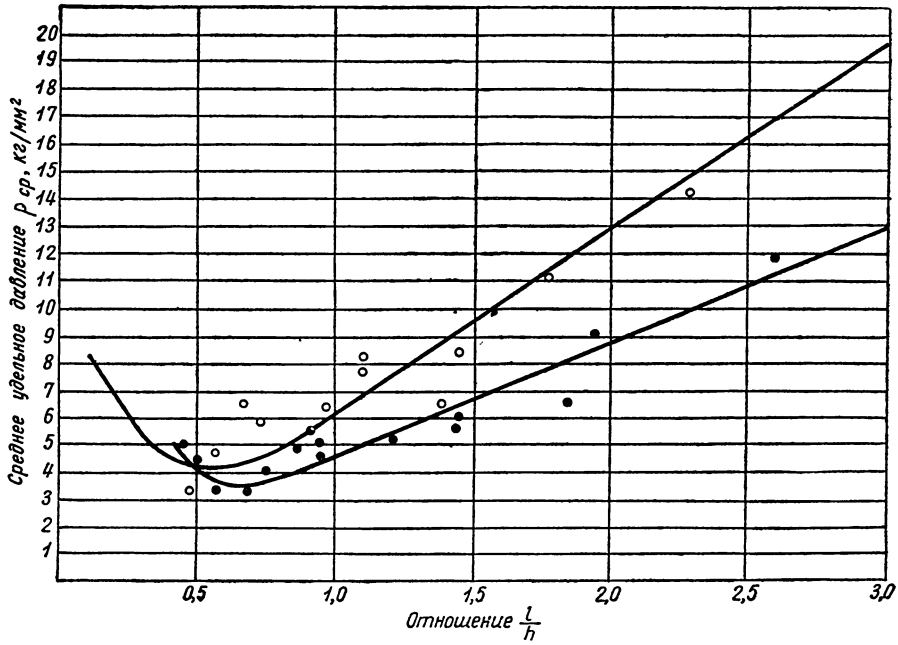


Рис 77. Зависимость среднего удельного давления от отношения $l:h$ при горячей прокатке алюминия АД1 на реверсивном четырехвалковом стане 700/1370×2840 *мм*:
1 — ширина полосы 2160 *мм*, конечная толщина 10 *мм*, толщина сляба 191 *мм*; *2* — ширина полосы 1660 *мм*, конечная толщина 7 *мм*, толщина сляба 199 *мм*

Этими кривыми целесообразно пользоваться при прокатке на нереверсивных станах слитков весом до 500 *кг*, т. е. в условиях, в которых они получены.

1 сек., при толщине полосы в 1 *мм* берутся по кривым, строящимся на основе экспериментальных исследований.

И. Л. Перлин с аспирантами в ряде работ развил этот метод.

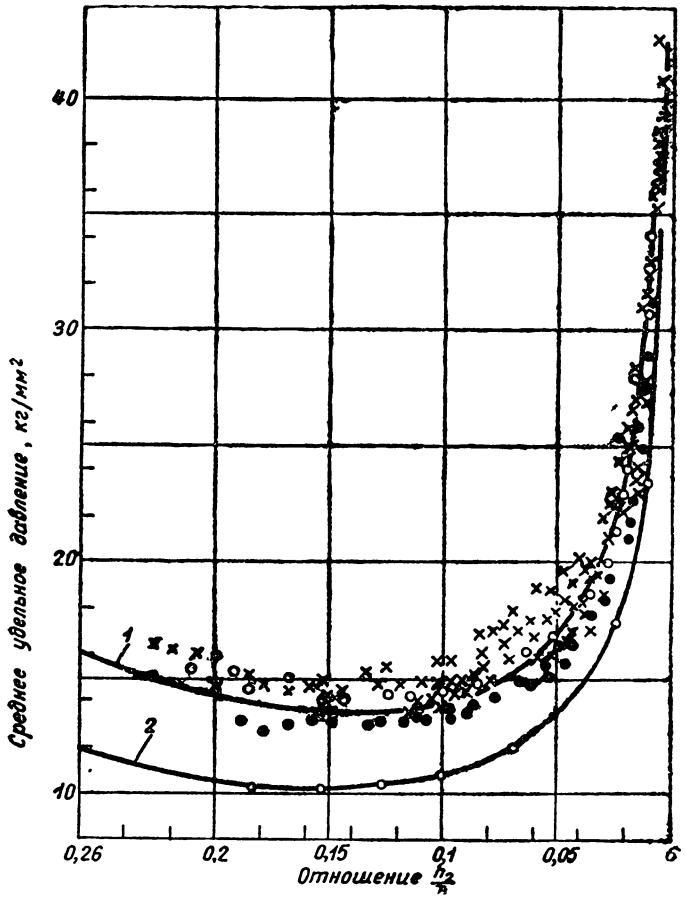


Рис 78 Зависимость среднего удельного давления от отношения выходной толщины полосы h_2 к диаметру валков D при горячей прокатке слитков дуралюмина Д1 (германский сплав FLW 3115—3116):
1 — незначительная смазка валков и полосы керосином (нереверсивный стан дуо; валки диаметром 650 *мм*); *2* — обильная поливка валков эмульсией (стан трио; валки диаметром 700 *мм*)

§ 2. ПРАКТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА ОХЛАЖДЕНИЯ ПОЛОС ПРИ ПРОКАТКЕ

Этот метод основан на уравнении охлаждения полос только путем теплоизлучения:

$$\Delta t_\varepsilon = q_\varepsilon \tau \cdot 2\left(\frac{1}{h}+\frac{1}{b}+\frac{1}{l}\right). \quad \text{(VII.1)}$$

Величины q_ε в зависимости от температуры — удельного падения температуры в

Кривые q_ε для меди и медных сплавов. Прокатку слитков толщиной 120 и 140 *мм*, шириной от 340 до 620 *мм* и длиной 800—840 *мм* производили в 5—8 проходов на нереверсивном двухвалковом стане с диаметром валков 750 *мм* и скоростью 1,8 *м/сек*.

Пересчетом измеренных температур по уравнению (VII. 1) построили экспериментальные кривые q_ε, нанесенные на рис. 79.

Измерение температур производилось термопарой, вделанной в слиток, а показания гальванометра записывались на осциллограммы.

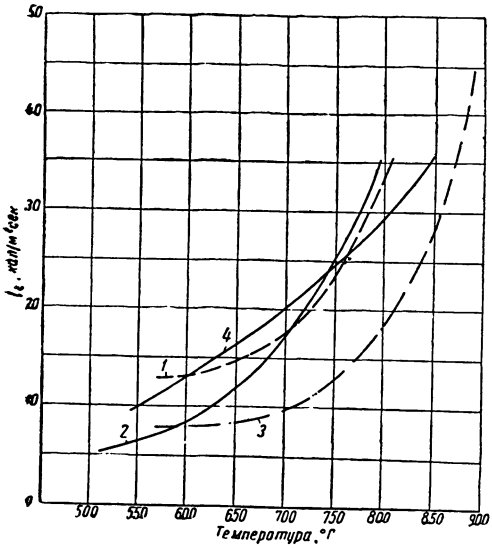


Рис. 79. Кривые удельного понижения температуры q_ε вследствие теплоизлучения (падение температуры в 1 сек. при толщине полосы в 1 *мм*) при горячей прокатке меди и латуней: *1*—Л68; *2*—Л62; *3*—Л90; *4*—теоретическая кривая для меди и латуни при $\varepsilon = 3{,}2$ и $c = 0{,}092$

Кривые q_ε для никеля и его сплавов. Определение q_ε производилось при прокатке никеля и мельхиора на реверсивном стане с диаметром валков 600 *мм* и длиной бочки 600×900 со скоростью 0,9 *м/сек*.

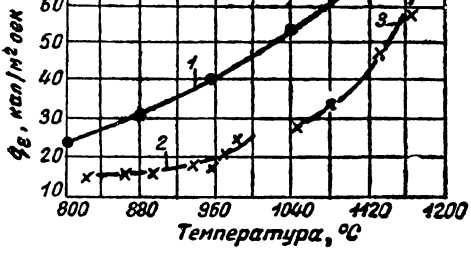


Рис. 80. Кривые удельного понижения температуры q_ε (падение температуры в 1 сек. при толщине полосы в 1 *мм*) при горячей прокатке никеля и мельхиора: *1* — теоретическая кривая для никеля при $\varepsilon = 3{,}4$ и $c = 0{,}12$; *2* — МН19; *3* — никель

Вес никелевого слитка 110 *кг*, мельхиорового 176 *кг*.

Никель катали с 85 на 17 *мм* в пять проходов по схеме 85—60—42—31—21—17, мельхиор с 85 на 12 *мм* в девять проходов по схеме 85—72—58—47—36—28—22—18—14—12.

Измерение температуры по проходам производилось точечным оптическим пирометром перед задачей металла в валки. Полученные значения q_ε для различных температур изображены на рис. 80.

§ 3. КРИВЫЕ $p_{ср}$ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ

Кривые $p_{ср}$ в функции от среднего общего обжатия для разных металлов и сплавов приведены на рис. 81—88. В отношении метода построения этих кривых необходимо отметить следующее:

1. Все кривые построены по результатам измерения давления при прокатке отожженных полос в несколько последовательных проходов, так что степень наклепа возрастала от прохода к проходу.

2. Кривые $p_{ср}$ построены в функции от среднего общего обжатия, которое определяется как среднее значение общего обжатия до и после прохода. Так, если общее обжатие после отжига составляет 40% до прохода и 60% после прохода, то среднее общее обжатие для данного прохода будет

$$\frac{40 + 60}{2} = 50\%.$$

Построенные этим методом кривые очень наглядно учитывают влияние наклепа и утонения полосы на величину $p_{ср}$.

Этот метод впервые предложен И. М. Павловым в 1937 г., только в несколько другом виде: $p_{ср}$ строили в функции от средней величины вытяжки $\mu_{ср}$. Однако для повседневных расчетов кривые $p_{ср}$ в функции от среднего общего обжатия более удобны.

3. На примере холодной прокатки меди ($h_1 = 1{,}5$ *мм*) И. М. Павлов показал, что при построении кривых $p_{ср}$ в функции от средней величины вытяжки (или среднего общего обжатия) частное обжатие за проход до среднего общего обжатия, равного 67%, почти не влияет на величину $p_{ср}$. Это же иллюстрирует рис. 103, построенный по результатам большого количества измерений расхода работы при холодной прокатке стальных и медных полос.

По другим исследованиям следует, что чем больше частное обжатие дается за проход, тем больше величина $p_{ср}$.

В общем следует считать, что величина $p_{ср}$ будет больше при прокатке с большими обжатиями за проход, в особенности при прокатке тонких и сильно наклепанных полос. Но при построении кривых $p_{ср}$ в функции от среднего общего обжатия влияние частного обжатия за проход становится минимальным.

4. Для каждой кривой указано отношение $h_1 : R$ перед первым проходом. Влияние сплющивания валков не учитывалось, и $p_{ср}$ определялось обычной формулой путем деления полного измеренного давления на горизонтальную проекцию дуги захвата. Вследствие этого величина $p_{ср}$ является преувеличенной против фактиче-

ской в тем большей степени, чем меньше h_1 и чем более наклепана полоса. Это объясняет, почему $p_{ср}$ достигает очень больших величин при малых отношениях $h_1 : R$.

5. Несмотря на то, что приводимые на рис. 81—88 кривые охватывают лишь небольшое количество основных изменяющихся факторов (размеров валков, толщины полос и условий смазки), на практике ими приходится пользоваться для расчета давлений в широком интервале переменных условий прокатки. Метод требует определенной практики и навыков при пользовании кривыми, и это является его основным недостатком.

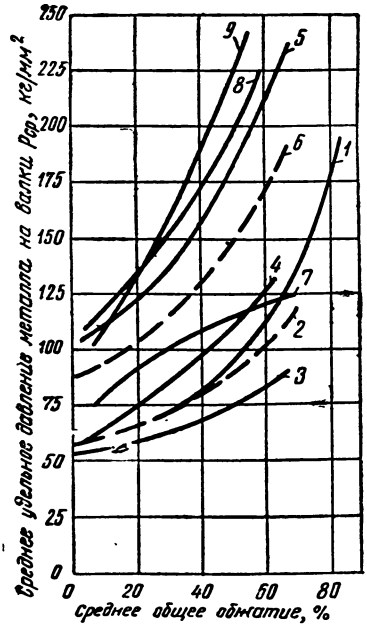


Рис. 81. Кривые $p_{ср}$ в функции среднего общего обжатия для мягкой углеродистой и легированной стали

Кривые $p_{ср}$ для сталей (рис. 81 и табл. 19). Несовпадение кривых *1*, *3* и *4* объясняется различием в отношении $h_1 : R$ и в содержании углерода. Кривая *1* дает хорошие результаты в большинстве практических расчетов. Кривые *2* и *3* иллюстрируют влияние смазки при одинаковых

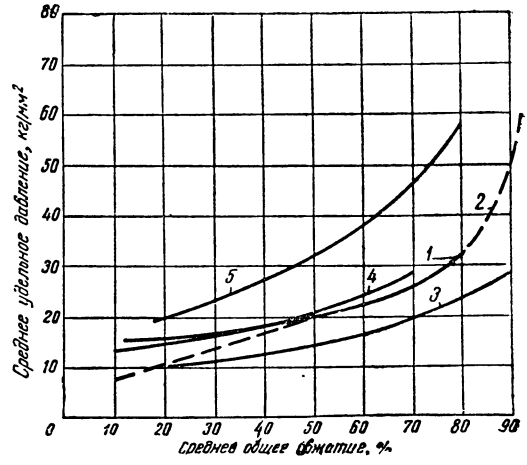


Рис. 82. Кривые $p_{ср}$ в функции среднего общего обжатия для алюминия:
1 — $\frac{h_1}{R}$ = 0,0613, сухая; *2* — $\frac{h_1}{R}$ = 0,0375, масло и парафин; *3* — $\frac{h_1}{R}$ = 0,017 — 0,0286; *4* — $\frac{h_1}{R}$ = 0,0375, щелочь; *5* — $\frac{h_1}{R}$ = 0,0102, сухая

Таблица 19

Условия опытов определения $p_{ср}$ при холодной прокатке стали (рис. 81)

Сталь	Химический состав	Кривая	Начальная толщина, мм	Ширина	Диаметр валка, мм	Скорость прокатки м/мин	Смазка
Малоуглеродистая	—	*1*	2,51	114,3	152	67	Машинным маслом до обжатия 6 %
	—	*1*	1,90	190,5	—	—	Масляным раствором при обжатии свыше 60%
	C 0.10, Mn 0,45	*2*	1,95	58,8	180	21,0	Без смазки
	C 0,10, Mn 0,45	*3*	1,95	60,3	180	21,0	Маслом
	C 0,15	*4*	3,48	66,0	210	26,4	»
Углеродистая	C 0,6	*5*	3,48	66,0	210	26,4	»
	C 0,63, Mn 0,62	*6*	2,00	55—60	180	21,0	Без смазки
	C 0,63, Mn 0,62	*7*	2,00	55—60	180	21,0	Маслом
	C 1,0	*8*	3,48	66,0	210	26,4	»
Нержавеющая 18-8	C 0,15, Mn 0.50, Cr 16,5 ÷ 19,5, Ni 7,0—10,0	*9*	1,52	31,75	343	53,0	»

Таблица 20

Условия опытов определения $p_{ср}$ при холодной прокатке цветных металлов

Рисунки и кривые	Название металла или сплава	Начальная толщина, *мм*	Ширина *мм*	Диаметр валков *мм*	Скорость прокатки *м/мин*	Смазка
Рис. 82						
1	Алюминий	6	75—80	196	18,4	Сухая
2	»	7,98	533	424	61	Масло и парафин
3	»	3,05/10,2	25,4/343	355/711	56/100	—
4	»	3,96	—	210	26,4	Щелочь
5	»	1	75—80	196	18,4	Сухая
Рис. 83						
1	Сплав ВВ (5,08% Cu, 0,98% Mn, 0,74% Mg), плакированный 3,8% Al на сторону	1	75—80	196	18,4	»
2	То же	6	75—80	196	18,4	»
3	Дуралюмин	2,16	457	508	76,2	Масло
4	Дуралюмин (3,92% Cu, 0,50% Mg, 0,56% Mn, 0,58% Fe, 0,33% Si)	7,0	25,4—343	533,4	41,8/151	—
Рис. 84						
1	Медь	6	75—80	196	18,4	Машинное масло
2	»	—	—	—	—	Без смазки
3	»	2,40	66	210	26,4	Щелочь
4	»	2,00	60	180	21,0	—
5	»	1,0	75—80	196	18,4	Машинное масло
Рис. 85						
1	Л62	1	75—80	196	18,4	То же
2	Л62	6	75—80	196	18,4	» »
3	Л62	4,95	66	210	26,4	Масло
4	Л62	9,52	140	406	—	Смазка незначительная
5	Л62	2,5	620	275	22—24	—
Рис. 86						
1	Цинк	3,17	214,3	406,4	—	Температура валков 93—121°
2	»	18—36	1600	580	—	—
3	»	6	24,6—29,4	167	15,2	Холодные валки
Рис. 87 и 88						
1	Бронза Бр. А5 и биметалл сталь (0,04% С) — — томпак	6	75—80	196	18,4	Машинное масло
2		1	75—80	196	18,4	То же

условиях опыта. При прокатке стали с содержанием ~ 0,6% С целесообразно пользоваться кривой, расположенной посредине между кривыми *5* и *6*. Кривая *9* характеризует результаты прокатки нержавеющей стали марки 18-8. При столь больших величинах $p_{ср}$ происходит значительное сплющивание валков.

Кривые $p_{ср}$ для алюминия (рис. 82 и табл. 20). Кривые *1* и *2* слились для общего обжатия от 50 до 80%, а кривая *4* хорошо с ними согласуется. Кривая *3* расположена ниже этих кривых, что объясняется, может быть, применением натяжения. Кривая *5* иллюстрирует влияние малой начальной толщины полосы.

Кривые *1* и *2* дают хорошие результаты для широкого ряда условий прокатки.

Кривые $p_{ср}$ для алюминиевых сплавов (рис. 83) Кривые 2 и 3 дают результаты, совпадающие с практическими данными. Кривая *4*, вероятно, строилась по опытам, в которых применялось натяжение.

Кривые $p_{ср}$ для меди (рис. 84). Для среднего обжатия в 15—25% кривые *1* и *2* слились. Кривая *2*, занимающая среднее положение в группе кривых *1—4*, является

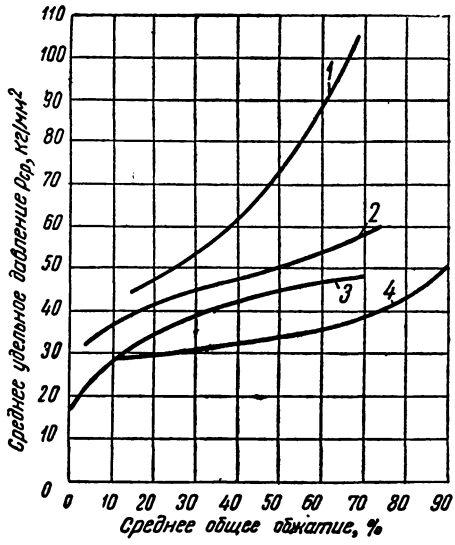


Рис 83. Кривые $p_{ср}$ в функции среднего общего обжатия для алюминиевых сплавов:
1 — $\frac{h_1}{R}$ = 0,0102, сухая; *2* — $\frac{h_1}{R}$ = 0,061 сухая; *3* — $\frac{h_1}{R}$ = 0,0085, масло; *4* — $\frac{h_1}{R}$ = = 0,0262

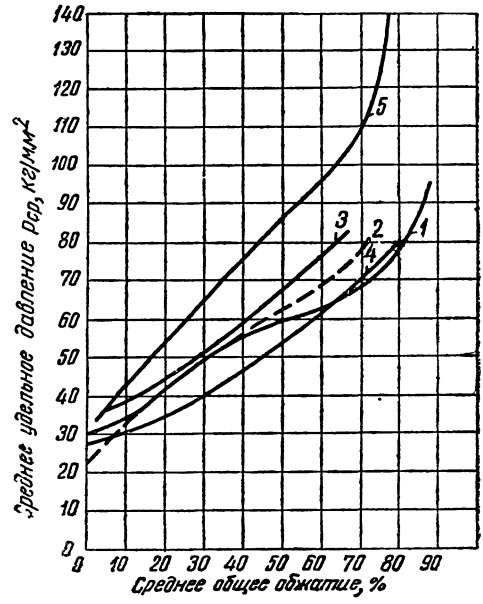


Рис. 84. Кривые $p_{ср}$ в функции среднего общего обжатия для меди:
1 — $\frac{h_1}{R}$ = 0,0613, машинное масло; *2*—без смазки; *3* — $\frac{h_1}{R}$ = 0,0227, щелочь; *4* — $\frac{h_1}{R}$ = = 0,0227; *5* — $\frac{h_1}{R}$ = 0,0102, машинное масло

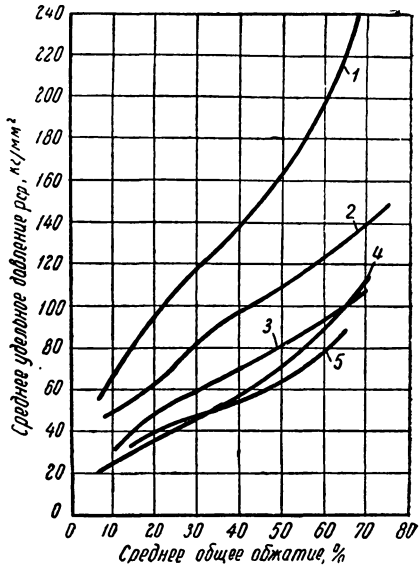


Рис. 85. Кривые $p_{ср}$ в функции среднего общего обжатия для латуни:
1 — $\frac{h_1}{R}$ = 0,0102, машинное масло; *2* — $\frac{h_1}{R}$ = 0,0613, машинное масло; *3* — $\frac{h_1}{R}$ = =0,047, масло; *4* — $\frac{h_1}{R}$ = 0,047, незначительная; *5* — $\frac{h_1}{R}$ = 0,0182

наиболее правильной для большинства случаев практических расчетов.

Кривые $p_{ср}$ для латуней (рис. 85). Кривые *4* и *5* дают результаты, совпадающие с практическими разработками, а кривая *2* — завышенные. Кривая *1* дает очень высокие значения $p_{ср}$, но при столь малой толщине сплющивание валков оказывает большое влияние.

Кривые $p_{ср}$ для цинка (рис. 86). Кривые *1* и *3* весьма близки по форме. В отношении кривой *3* необходимо указать, что она построена на основе измерений давления при прокатке неподогретых узких полосок шириной 24,6—29,4 *мм* на холодных валках без смазки и натяжения. Неравномерность в распределении удельных давлений по ширине, возможно, обусловила более низкие значения $p_{ср}$, чем кривая *1*.

Кривые $p_{ср}$ для алюминиевой бронзы марки БрА5 и биметалла сталь (0,04% С) — томпак (рис. 87 и 88). Кривые показывают порядок удельных давлений, которые возникают при прокатке этих металлов.

Кривые $p_{ср}$ в функции $l:h$ для алюминиевых сплавов. Е. С Рокотян на промышленных станах исследовал усилия, возникающие при прокатке (схемы прокатки, см. табл 21). Максимальная скорость прокатки на стане 2840 составляла 2 *м/сек*, на стане 1680—2,5 *м/сек*. Применявшуюся величину натяжения в зависимости от толщины

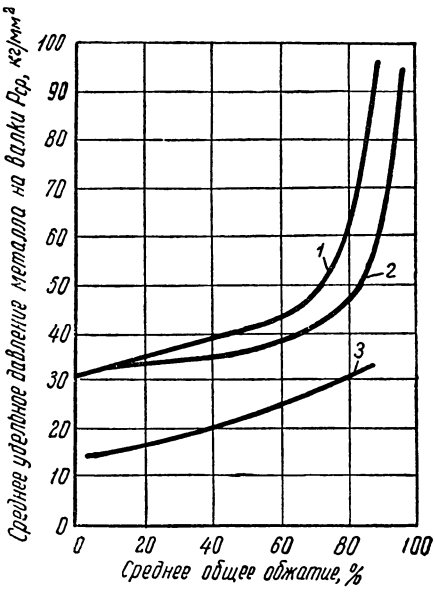


Рис. 86. Кривые $p_{ср}$ в функции от среднего общего обжатия для цинка:
1 — $\frac{h_1}{R}$ = 0,0157; 2 — $\frac{h_1}{R}$ = 0,072; 3 — $\frac{h_1}{R}$ = = 0,0165/0,123

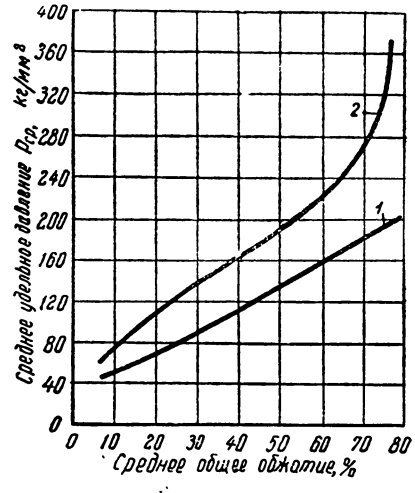


Рис. 87. Кривые $p_{ср}$ в функции от среднего общего обжатия для алюминиевой бронзы марки Бр А5 (95% Cu, 5% Al):
1 — $\frac{h_1}{R}$ = 0,0613, машинное масло; 2 — $\frac{h_1}{R}$ = 0,0102, машинное масло

полосы определяли по следующей эмпирической зависимости:

$$\sigma_2 = 5{,}67 - 0{,}6\,h_2 \ кг/мм^2,$$

$$\sigma_1 = 4{,}3 - 0{,}5\,h_1 \ кг/мм^2.$$

Кривые средних удельных давлений для дуралюмина даны на рис. 89, 90, 91 и для сплава марки АМЦ на рис. 92.

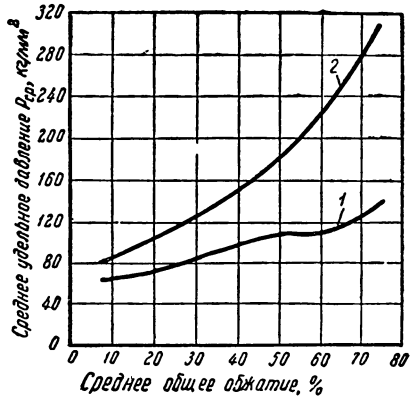


Рис. 88 Кривые $p_{ср}$ в функции среднего общего обжатия для биметалла сталь (0.04% С)-томпак:
1 — $\frac{h_1}{R}$ = 0,0613, машинное масло;
2 — $\frac{h_1}{R}$ = 0,0102, машинное масло

Таблица 21

Схема холодной прокатки алюминиевых сплавов на реверсивных станах 2840 и 1680

Наименование сплава	Ширина ленты мм	Начальная толщина мм	Конечная толщина мм	Число проходов	Общее обжатие, %	Среднее обжатие за проход %
			Стан 2840			
Д1, Д16	2050	5,9—6,1	2,4—2,8	6	52—60	14—16
Д1, Д16	2050	2,3—2,7	1,3—1,4	4	39—48	14—17
Алюминий	1560	7,75	0,7	8	90	25—30
			Стан 1680			
Д1, Д16	1250	6,0	1,7—2,1	6	65—72	16—20
Д1, Д16	1250	1,7—2,1	0,9—1,1	2	35—57	25—30
Д1, Д16	1250	1,0	0,5	2	50	25—27
Алюминий	1250	5,7—6,3	0,9—1,0	6	83—86	23—30
Алюминий	1250	5,75—6,0	1,4—1,5	4	74—77	30—50

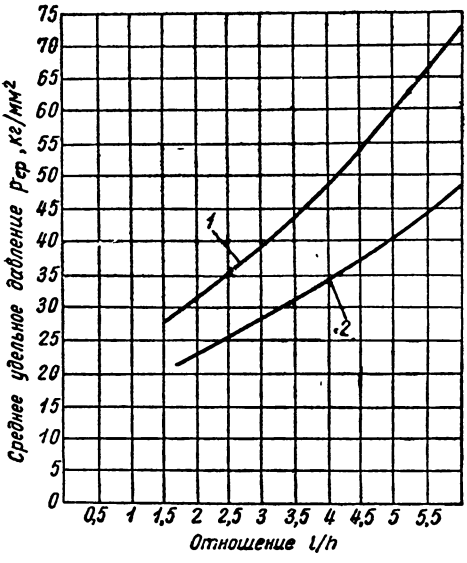


Рис 89. Среднее удельное давление в зависимости от $l:h$. Стан 2840 материал Д16, ширина ленты 2050 *мм*; h_1 = 6,0—6,2 *мм*; h_2 = 1,7—1,9 *мм*; прокатка в 6—8 проходов: *1* — при нажатии винтами; *2* — натяжение ленты $\sigma_1 = \sigma_2 = (0{,}10 \div 0{,}26)\ \sigma_s$

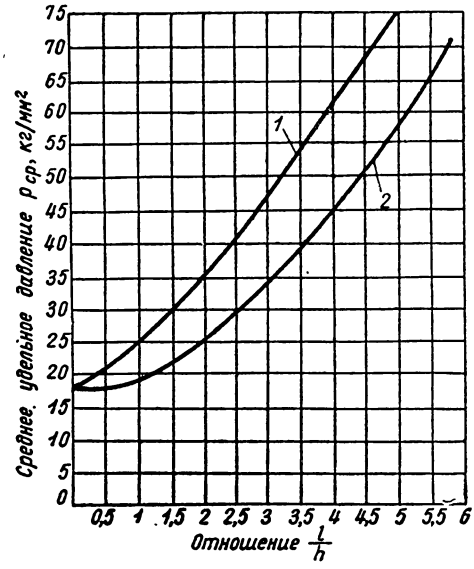


Рис. 90. Среднее удельное давление в зависимости от $l:h$ Стан 2840, материал Д16, ширина ленты 2080 *мм*, h_1 = 2,9 *мм*; h_2 = = 1,65 *мм*; прокатка в 4 прохода: *1* — при нажатии винтами; *2* — натяжение ленты $\sigma_1 = (0{,}10 - 0{,}45)\ \sigma_s$; $\sigma_2 = (0{,}12 \div 0{,}29)\ \sigma_s$

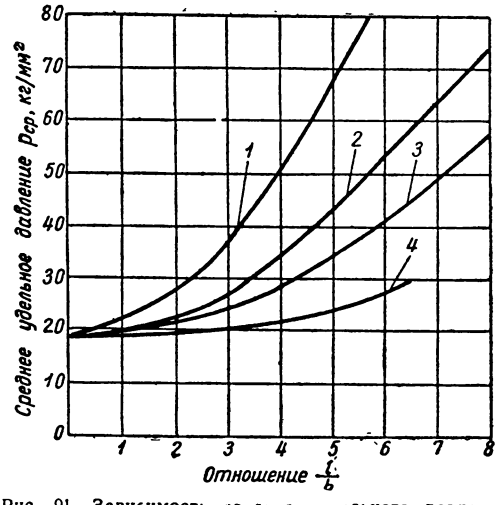


Рис. 91. Зависимость среднего удельного давления от $l:h$ Стан 1680, материал Д16: *1* — при нажатии винтами h_1 = 6 *мм*; *2* — натяжение ленты $\sigma_1 = \sigma_2 = (0{,}1 - 0{,}4)\ \sigma_s$; h_1 = 6 *мм*; *3* — при нажатии винтами h_1 = 2.1 *мм*; *4* — натяжение ленты $\sigma_1 = \sigma_2 = (0{,}1 \div 0{,}5)\ \sigma_s$; h_1 =2,1 *мм*

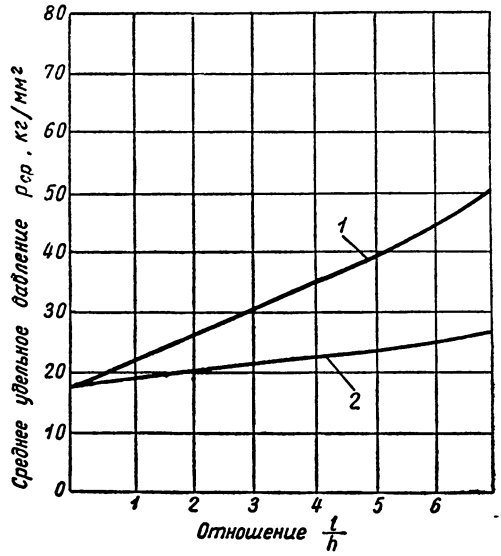


Рис. 92. Зависимость среднего удельного давления от $l:h$. Стан 1680, сплав АМц, ширина ленты 1250 *мм*, h_2 = 0.9 *мм*, прокатка в 8 проходов: *1* — при нажатии винтами; *2* — натяжение ленты $\sigma_1 = (0{,}1 \div 0{,}2)\ \sigma_s$; $\sigma_2 = (0{,}1 \div 0{,}15)\ \sigma_s$

Кривые построены по экспериментальным точкам в функции от отношения $l:h$ для различных размеров подката; например, для сплава марки Д16 при ширине 2050 и 1550 *мм* и переделах 6—1,8 и 2,9—1,65 *мм*.

Кривые нанесены для двух случаев: прокатка с нажатием винтами без натяжения и прокатка с передним и задним натяжением ленты.

Возрастание удельного давления с увеличением отношения $l:h$ происходит от наклепа полосы и влияния внешнего трения. Наибольшие значения среднего удельного давления получаются при прокатке полос шириной 2050 *мм*, т. е. кривые показывают, что увеличение ширины прокатываемой полосы вызывает рост давления. Средние удельные давления, полученные Рокотяном, хорошо совпадают с данными, приведенными на рис. 83.

§ 4. РАСЧЕТ МОМЕНТОВ, СОСТАВЛЯЮЩИХ НАГРУЗКУ ПРИВОДА

При расчете обжатий для действующего прокатного стана необходимо учитывать следующие основные положения.

1. Момент, отдаваемый двигателем в наиболее тяжелом проходе, не должен превышать максимально допустимого момента двигателя.

2. Квадратичный момент двигателя, определяемый по нагрузочной диаграмме, не должен превышать его номинального длительного момента.

Для определения величины момента двигателя в любом проходе необходимо рассчитать величину статического момента прокатки по проходам Существует два основных метода расчета статических моментов прокатки:

а) момент прокатки в течение прохода рассчитывается по давлению металла на валки [уравнение (VII. 2)],

б) момент прокатки рассчитывается по кривым удельного расхода энергии в зависимости от удлинения или толщины полосы [уравнение (VII. 12) или (VII. 13)]

У станов с нерегулируемым режимом прокатки статический момент прокатки, приведенный к валу двигателя [уравнение (VII. 2)], будет равен моменту, отдаваемому двигателем. Поэтому у этих станов максимальная величина статического момента, приведенная к валу двигателя, является величиной максимального момента двигателя.

У станов с регулируемым и реверсивным режимом прокатки момент двигателя изменяет свою величину в течение прохода. Его максимальная величина может быть рассчитана по уравнению (VII. 14а).

У станов с маховиком момент двигателя изменяется по экспоненциальной зависимости. Его максимальная величина рассчитывается по уравнению (VII 16). У двигателей с маховичным приводом момент не обязательно будет максимальным в том проходе, где максимален $M_{ст}$, так как его величина зависит от продолжительности прохода.

Расчет квадратичного момента прост только у станов с нерегулируемым режимом работы. У станов с регулируемым и реверсивным приводом определение квадратичного момента весьма трудоемко и содержит ряд особенностей, связанных с электрической схемой Он производится инженерами, проектирующими электропривод, и рассматриваться не будет.

Технологу при расчете обжатий для действующего стана достаточно ограничиться проверкой их лишь по величине максимально допустимого момента двигателя.

Последняя величина обычно определяется из следующих данных:

а) для реверсивных двигателей

$$M_{макс} = (2{,}5 - 3{,}0)\,M_н;$$

б) для нереверсивных двигателей

$$M_{макс} = (1{,}5 - 2{,}0)\,M_н,$$

где $M_н$ — номинальный момент

Величина $2M_н$ обычно допустима до 15 сек. У станов с маховиком $M_{макс} = M_1$. Однако величина $M_{ст}$ вследствие действия маховика может значительно превышать $M_н$, достигая при определенных условиях значений

$$M_{ст} = (4 \div 6)\,M_н \text{ или } M_{ст} = (2 \div 3)\,M_1.$$

1. Определение статических моментов прокатки, приведенных к валу двигателя, по давлению металла на валки и построение нагрузочной диаграммы

Статический крутящий момент, необходимый для привода прокатных валков, определяется для случаев прокатки без натяжения следующим уравнением:

$$M_{ст} = \frac{M_{пр} + M_{тр.ш}}{i\eta} + M_{х.х}, \qquad \text{(VII.2)}$$

где $M_{пр}$ и $M_{тр.ш}$ — крутящие моменты прокатки и трения в шейках валков, приведенные к оси валков, $M_{х.х}$ — момент холостого хода, приведенный к валу двигателя; i — передаточное число редуктора, $i = \frac{\text{число оборотов мотора}}{\text{число оборотов валков}}$, η — коэффициент полезного действия передачи от двигателя к валкам, который может быть принят:

Для шестеренной клети	0,95
Для одноступенчатой зубчатой передачи	0,95—0,98
Для ременной передачи	0 8—0,9
Для канатной передачи	0,80—0,85

Рассмотрим все составляющие уравнения (VII. 2).

2. Определение момента прокатки — крутящего момента давления металла на валки

Равнодействующая давления металла на валок $P = p_{ср}\,b_{ср}\,l$ проходит через центр тяжести эпюры удельного давления и направлена вертикально (т е параллельно линии, соединяющей центры валков) Момент прокатки, который должен быть приложен к обоим валкам, составит

$$M_{пр} = 2Pa = 2p_{ср}b_{ср}la, \qquad \text{(VII.3)}$$

где a — плечо приложения равнодействующей, выражаемое обычно в долях l, т. е. $a = \psi l$.

Следовательно, по выражению (VII 3), $M_{пр}$ при прокатке без натяжения составляет

$$M_{пр} = 2p_{ср}b_{ср}l^2\psi = 2p_{ср}b_{ср}\,\psi\,R\Delta h = 2P\psi\sqrt{R\Delta h}. \qquad \text{(VII.4)}$$

При определении момента прокатки по давлению металла на валки при сплющенных валках плечо приложения равнодействующей определяется следующим выражением:

$$a = \psi\left[\sqrt{R\Delta h + x_0^2} - \left(\frac{1}{\psi} - 1\right)x_0\right], \quad \text{(VII 5)}$$

где x_0 — имеет значение по выражению (IV.14) и рис. 39.

Для упрощения в практических расчетах принимается $\psi = 0.5$ (что при прокатке тонких полос, когда сплющивание велико, не соответствует действительности), и тогда

$$M_{\text{пр}} = P\left(\sqrt{R\Delta h + x_0^2} - x_0\right).$$

Так как $P = p_{\text{ср}}\, b_{\text{ср}}\, l'$, то, согласно уравнению (IV.14),

$$P = p_{\text{ср}}\, b\left(x_0 + \sqrt{R\Delta h + x_0^2}\right),$$

откуда получаем

$$M_{\text{пр}} = p_{\text{ср}}\, b_{\text{ср}}\sqrt{R\Delta h},$$

где $p_{\text{ср}}$ — среднее удельное давление, рассчитанное для сплющенных валков.

Так как $p_{\text{ср}}$ для сплющенных валков всегда больше, чем для жестких, вследствие большей длины дуги захвата при сплющенных валках и повышенного влияния внешнего трения, то момент прокатки в случае расчета сплющивания будет большим, чем при жестких валках.

3. Определение плеча приложения равнодействующей

Как видно из рис. 93, *а*, все факторы, оказывающие влияние на вид эпюры удельных давлений (например, диаметр валков, обжатие, начальная толщина и т. д.), будут оказывать влияние и на величины P и a.

Теоретически момент прокатки может быть определен как момент сил трения, действующих на контактной поверхности, относительно центра валков.

Плечом сил трения является радиус недеформированных валков. Исходя из этого, Е. Орован показал, что при прилипании вдоль всей дуги захвата момент может быть рассчитан по формуле

$$M = 2RR'\left(\frac{\alpha}{2} - \gamma\right)g, \quad \text{(VII.6)}$$

где g — особая величина сопротивления деформации (см. стр. 262).

Приравнивая этот момент моменту прокатки по давлению металла на валки, имеем выражение для величины ψ:

$$\psi = \frac{RR'b\left(\frac{\alpha}{2} - \gamma\right)g}{P\sqrt{R\Delta h}} = \frac{RR'b\left(\frac{\alpha}{2} - \gamma\right)g}{\left(\frac{p_{\text{ср}}}{k}\right)klR'\Delta h} =$$

$$= \frac{R\left(\frac{\alpha}{2} - \gamma\right)}{\Delta h\,\frac{p_{\text{ср}}}{k}} \cdot \frac{g}{k}. \quad \text{(VII.7)}$$

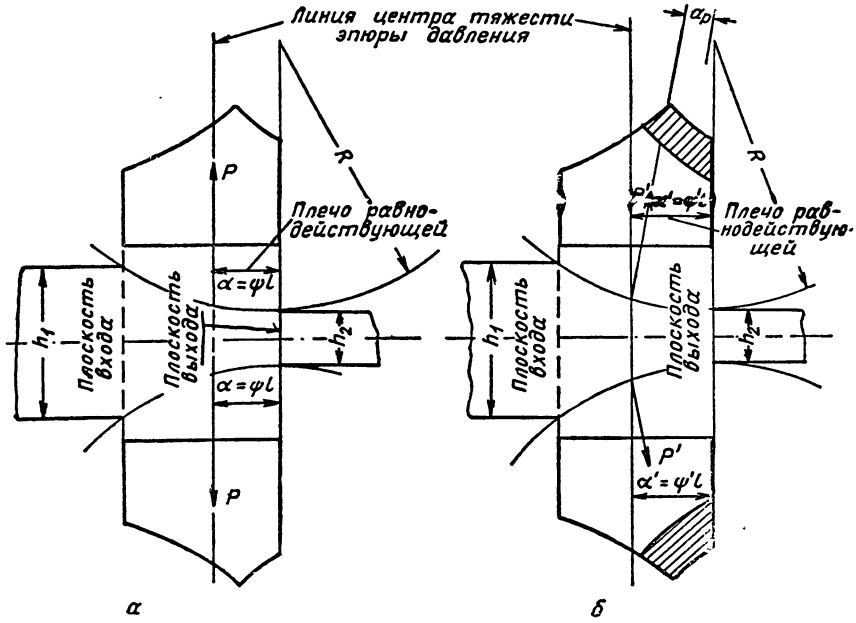


Рис. 93. Давление на валки при прокатке без натяжения (*а*) и с передним натяжением (*б*)

Следовательно, по любой теории прокатки, принимающей сплошное прилипание, зная функции ($p_{ср}$: k) и γ, можно теоретически определить плечо приложения равнодействующей.

Е. Ларке, принимая $g = k$, произвел такое вычисление по теории Симса, и получил, что коэффициент ψ колеблется в пределах от 0,45 до 0,49 (см. табл. 4). Кривые ψ по этой теории нанесены на рис. 94 в зависимости от $l:h$ и $\varepsilon = 0{,}1$; 0,3 и 0,5.

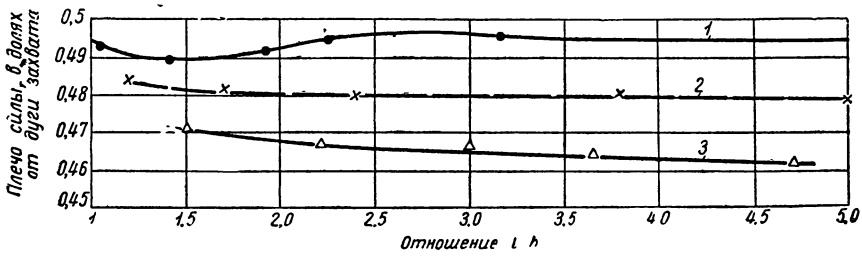


Рис. 94. Зависимость плеча приложения равнодействующей ψ в долях дуги захвата по теории Р. Б. Симса (при сплошном прилипании) от обжатия за проход ε и отношения $l:h$:
1 — $\varepsilon = 0{,}1$; *2* — $\varepsilon = 0{,}3$; *3* — $\varepsilon = 0{,}5$

На рис. 95 показаны экспериментальные кривые величины ψ в зависимости от отношения $l:h$ и обжатия за проход при горячей прокатке легких сплавов. Эти кривые получены в лабораторных условиях при одновременном замере давления и крутящего момента на шейках валков. Из рис. 95 видно, что плечо ψ сильно изменяется в зависимости от величины ε и $l:h$ от 0,35 до 0,56.

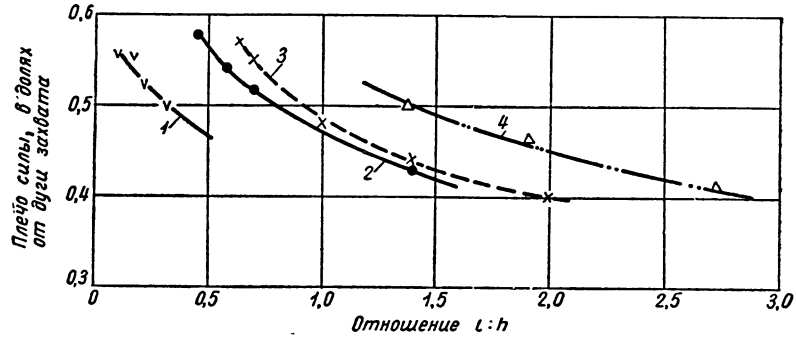


Рис. 95. Зависимость плеча приложения равнодействующей в долях дуги захвата при горячей прокатке алюминиевых сплавов от обжатия за проход ε и отношения $l:h$:
1 — $\varepsilon = 0{,}05$; *2* — $\varepsilon = 0{,}1$; *3* — $\varepsilon = 0{,}2$; *4* — $\varepsilon = 0{,}4$

На рис. 96 даны кривые $\psi = f(l:h)$ при прокатке дуралюмина различной ширины. Как видно из этих кривых, с ростом $l:h$ происходит значительное падение величины ψ причем ψ максимально в первых проходах. Эти же кривые показывают, что ширина прокатываемого листа оказывает весьма значительное влияние на величину ψ и что наиболее резко ψ изменяется при прокатке узких листов.

По данным лабораторного исследования Форда холодной прокатки стальных и медных образцов начальной толщиной от 1,27 до 2,54 *мм* с различным обжатием за проход на валках со шлифованной или зеркальной поверхностью, средняя величина ψ колеблется от 0,31 до 0,4.

Для практических расчетов могут быть приняты следующие экспериментально определенные средние значения ψ:

При горячей прокатке слитков, заготовок, слабов с большой начальной толщиной	0,55—0,60
При горячей прокатке тонкой заготовки	0,42—0,5
При холодной прокатке лент и листов	0,33—0,42

Необходимо учитывать, что натяжение влияет на величину ψ: переднее натяжение его увеличивает, а заднее уменьшает.

Влияние натяжения на величину момента, необходимого для привода валков, является весьма сложным Из рис. 93, *б* видно, например, что переднее натяжение уменьшает давление металла на валки и отодвигает точку приложения равнодействующей от линии центров валков. Одновременно переднее натяжение отклоняет направление равнодействующей от вертикали, и момент прокатки должен опреде-

ляться по величине плеча a_p, т. е. момент прокатки составит

$$M_{\text{пр}} = 2Pa_p.$$

Метод определения момента с учетом натяжения дан А. И. Целиковым.

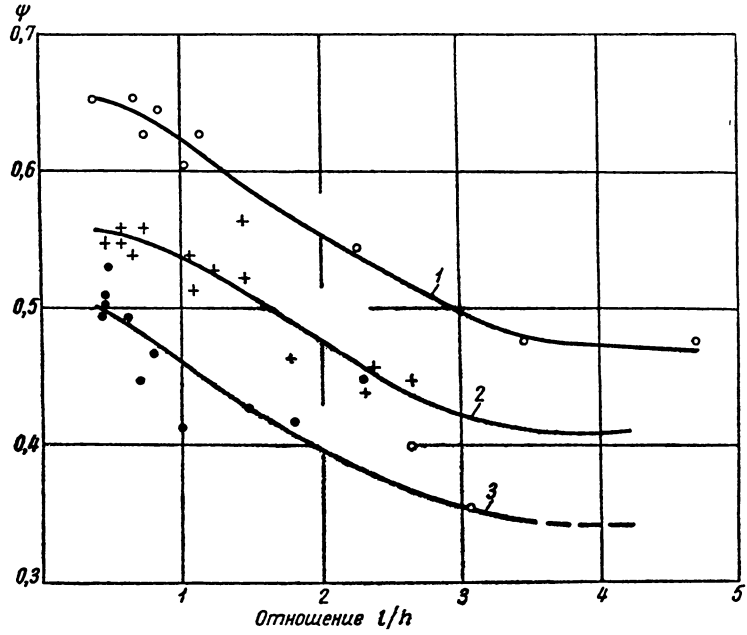


Рис. 96. Зависимость ψ от отношения $l:h$ при горячей прокатке дуралюмина марки Д16 на реверсивном четырехвалковом стане 700/1370× × 2840 *мм* Толщина сляба 190 *мм*, конечная толщина полосы 6 *мм*: *1* — ширина горячекатаной полосы B = 1330; *2* — 1660; *3* — 2160

$M_{\text{тр.ш}}$ — *момент сил трения в подшипниках валков, определяемый по следующему выражению:*

$$M_{\text{тр.ш}} = Pd\mu_1, \qquad \text{(VII.8)}$$

P — общее давление металла на валки;
d — диаметр шейки;
μ_1 — коэффициент трения в шейках, который может быть определен на основании табл. 22.

Момент трения в шейках является невозместимой потерей и всегда необходимо стремиться иметь его минимальным. Потери на трение в шейках валков в процентах от общего момента, отдаваемого двигателем, растут с утонением полосы. По-

Таблица 22

Величина коэффициента трения для различных типов подшипников прокатных валков

Тип подшипника	Коэффициент трения μ_1	Характеристика смазки	Примечание
Роликовый	0,002—0,003	Густая или жидкая	Величина практически постоянна
Жидкостного трения	0,002—0,003	Жидкая	То же
Подшипники с вкладышами из пластмассы	0,01—0,03	Вода или эмульсия	Зависит от скорости и удельного давления
Бронзовые вкладыши:			
у станов горячей прокатки	0,07—0,10	Густая смазка под давлением	Зависит от состояния шеек
у станов холодной прокатки	0,05—0,08	То же	Шлифованные шейки
Баббитовые вкладыши	0,01—0,04	Густая смазка под давлением	То же
	0,05—0,08	Плохая смазка	Шейки в плохом состоянии

этому у станов, которые прокатывают тонкие полосы и ленты, особенно важно иметь подшипники с минимальным значением μ_1.

На основании выражений (VII. 4) и (VII. 5) можно определить статический момент, необходимый для вращения обоих валков без учета потерь холостого хода:

$$M'_{ст} = M_{пр} + M_{тр.ш} = 2\psi P \sqrt{R\Delta h} + Pd_ш\mu_1.$$

Принимая соответствующую величину ψ, получаем при горячей прокатке

$$M'_{ст} = P\left[(1{,}1 - 1{,}2)\sqrt{R\Delta h} + \mu_1 d_ш\right],$$

при холодной прокатке

$$M'_{ст} = P\left[(0{,}66 - 0{,}84)\sqrt{R\Delta h} + \mu_1 d_ш\right].$$

В случае, если у стана имеются опорные холостые валки, то второй член в скобках приобретает величину:

у четырехвалковых станов

$$\mu_1 d_ш \frac{D_р}{D_{оп}};$$

у шестивалковых станов, принимая, что $D_{оп} = 2D_р$,

$$\mu_1 d_ш \frac{D_р}{D_{оп}}\sqrt{2},$$

где $D_р$ и $D_{оп}$ — диаметры рабочего и опорного валков.

Весь член в скобках иногда называют «приведенным плечом» равнодействующей давления металла на валок.

Момент холостого хода — момент, необходимый для вращения валков, когда металла в валках нет. Он может быть определен по формуле

$$M_{х.х} = \sum \frac{G_n \mu_n d_n}{2i_n}, \qquad (VII.9)$$

где G_n — вес данной вращаемой детали в главной линии стана;

μ_n — коэффициент трения в подшипниках;

d_n — диаметр шеек;

i_n — передаточное число,

$$i_n = \frac{\text{число оборотов двигателя}}{\text{число оборотов данной детали}}.$$

В обычных трехвалковых клетях для горячей прокатки цветных металлов с бронзовыми подшипниками $M_{х.х}$ составляет 0,20 ÷ 0,35 *тм*.

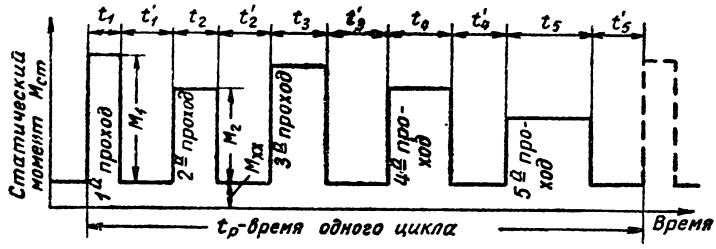


Рис. 97 Диаграмма статической нагрузки при последовательной прокатке в пять проходов

Построение статической нагрузочной диаграммы производится после расчета моментов по отдельным проходам. Для построения нагрузочной диаграммы необходимо рассчитать длительность самих проходов и паузы между проходами, величина которых зависит от условий прокатки, степени механизации стана и т. п. На рис. 97 представлена типичная расчетная статическая нагрузочная диаграмма.

4. Определение моментов двигателя по кривым удельного расхода энергии

Кривые этого типа построены следующим образом. При опытной прокатке для какого-либо прохода измеряется сила тока, потребляемого главным двигателем, скорость выхода полосы v_2 и площади сечения полосы F_1 и F_2. По этим данным рассчитываются общее удлинение полосы $\gamma = \frac{F_1}{F_2}$, мощность N главного двигателя и производительность A:

$$A = v_2 F_2 \gamma \cdot 3600 \ т/час. \qquad (VII.10)$$

Энергия, расходуемая на прокатку 1 $т$, в этом проходе составит

$$\omega = \frac{N}{A} \ л.с.\text{-}ч/т.$$

Когда получены значения ω_1, ω_2, ω_3... и λ_1, λ_2, λ_3... для первого, второго, третьего прохода, то, нанося на график ω_1 в функции λ_1, $\omega_1 + \omega_2$ в функции λ_2, $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3$ в функции λ_3 и т. д., получаем кривые указанного типа.

Соответственно этому удельный расход энергии за проход, при котором общее удлинение полосы возрастает от значения λ_1 до λ_2, будет равен разности ординат $\Delta N = \omega_2 - \omega_1$. Тогда мощность двигателя, необходимая для прохода, определяется следующим образом:

$$N = \frac{\Delta N \cdot 3600 G}{\tau} \ л.с.,$$

где ΔN — расход электроэнергии за проход *л. с.-ч/т*, определяемый по кривым;

G — вес прокатываемой полосы, $т$;

τ — время прокатки в данном проходе, сек.

Крутящий момент, необходимый для привода валков, составит

$$M = 0{,}716\frac{N}{n} = \frac{0{,}716\Delta NG\cdot 3600}{n\tau} тм. \quad (VII.11)$$

Выразим вес слитка через его размеры ($G = LF\gamma$), а обороты валков — через скорость $n = \frac{60\ v}{\pi\ D}$, откуда

$$M = \frac{0{,}716\pi\cdot 3600}{60}\cdot\frac{\Delta NF\gamma D}{v}\cdot\frac{L}{\tau} тм.$$

Так как $\frac{L}{\tau} = v$, то после сокращения получим

$$M = 135\Delta NE\gamma D\ тм, \quad (VII.12)$$

или

$$M = 135\,\Delta N\frac{G}{L}D\ тм. \quad (VII.13)$$

Определяемый этим выражением крутящий момент включает чистый момент прокатки и момент трения, но не учитывает момента холостого хода.

На расход мощности влияют все основные параметры прокатки При горячей прокатке кривые зависят от начальной температуры, начальной толщины, скорости прокатки, диаметра валков и коэффициента внешнего трения и практически не зависят лишь от ширины полосы. При холодной прокатке они зависят от начальной толщины, натяжения, диаметра валков и внешнего трения, не зависят от скорости прокатки и ширины полосы и мало зависят от частных обжатий за проход. Так как кривые включают потери на трение в подшипниках, то и при горячей и при холодной прокатке на их характер влияет тип подшипников стана.

Ввиду этого приводимыми кривыми целесообразно пользоваться лишь в тех случаях, когда условия прокатки приближаются к условиям опытов, по которым строились кривые.

5. Определение максимальных моментов двигателя у станов с реверсивным режимом работы

В реверсивных станах — обжимных, заготовительных и ленточных — валкам, когда в них находится металл, дается ускорение или замедление. Поэтому в период разгона или торможения к статическому моменту, определяемому по выражению (VII. 2), должен быть прибавлен (или вычтен) динамический момент

$$M_{дин} = \frac{GD^2_{пр}\rho}{375},$$

где $GD^2_{пр}$ — маховой момент вращающихся деталей стана и якоря, приведенный к валу якоря;

ρ — угловое ускорение, об/мин (сек).

Тогда момент, отдаваемый двигателем, будет в период разгона равен

$$M_{дв} = M_{ст} + \frac{GD^2_{пр}}{375}\rho_p; \quad (VII.14а)$$

в период торможения

$$M_{дв} = M_{ст} - \frac{GD^2_{пр}}{375}\rho_т. \quad (VII.14б)$$

Динамический момент оказывает значительное влияние на величину среднего момента за проход только у станов с коротким проходом, т. е. у обжимных. У ленточных и заготовительных станов, когда проход длителен, при определении максимального или квадратичного момента динамической составляющей пренебрегают.

6. Определение моментов двигателя у станов с маховиком

В нереверсивных обжимных станах (двухвалковых или трехвалковых), работающих с нерегулируемой скоростью, когда обжатие за проход велико, а время прохода относительно мало, установка маховика между электродвигателем и рабочей клетью значительно уменьшает момент двигателя, необходимый для привода стана. В течение прохода электродвигатель и маховик снижают число оборотов, благодаря чему кинетическая энергия, запасенная маховиком (значительно большая, чем энергия мотора), отдается рабочим валкам. При выходе металла из валков во время паузы электродвигатель увеличивает число оборотов и возвращает маховику энергию.

Обычно для работы с маховиком устанавливается асинхронный двигатель с контактными кольцами, с жидкостным или контакторным регулятором скольжения. При этой схеме мотор с ростом нагрузки снижает число оборотов пропорционально увеличению нагрузки, причем номинальное скольжение двигателя $s_н$ (т. е. понижение числа оборотов электродвигателя от синхронных оборотов n_0 до числа оборотов при номинальном моменте $n_н$)

$$s_н = \frac{n_0 - n_н}{n_н} \quad (VII.15)$$

обычно составляет от 3 до 10% и зависит от конструкции двигателя Крутящий момент, отдаваемый двигателем, изменяется по экспоненциальному закону и может быть определен из следующих уравнений:

в течение прохода

$$M_{дв} = M_{ст} - (M_{ст} - M_0)e^{-\frac{\tau}{T}}, \quad (VII 16)$$

в течение паузы

$$M_{дв} = M_{х.х} + (M_1 - M_{х.х})e^{-\frac{\tau}{T}}, \quad (VII.17)$$

где $M_{дв}$ — момент, отдаваемый двигателем через τ сек. после начала прохода или паузы;

$M_{ст}$ — статический момент, необходимый для привода стана в данном проходе;

M_0 — момент, отдаваемый электродвигателем в начале прохода;

M_1 — момент, отдаваемый электродвигателем в начале паузы;

$M_{х.х}$ — момент холостого хода;

τ — текущее время прохода (паузы);

T — постоянная инерции электродвигателя-маховика, сек., определяемая следующей формулой:

$$T = \frac{GD^2_{пр}\, n_0 s_н}{375 M_н} \text{ сек.}, \qquad \text{(VII.18)}$$

где $G\,D^2_{пр}$ — маховой момент маховика, ротора и других вращающихся частей, приведенный к валу двигателя;

$M_н$ — номинальный момент двигателя.

Величиной M_0 перед началом первого прохода обычно задаются: ее берут весьма близкой к величине момента холостого хода $M_{х.х}$, затем сверяют ее по величине паузы между слитками (циклами) с величиной M_0, получаемой расчетом.

При большом числе проходов построение нагрузочной диаграммы с маховичным приводом может быть намного ускорено применением шаблона. Методика построения диаграммы в этом случае подробно описана Марквардтом.

§ 5. КРИВЫЕ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ГОРЯЧЕЙ И ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ

Кривые удельного расхода энергии при прокатке дуралюмина и сплава марки АМЦ на реверсивном четырехвалковом стане 2840×700/1370 даны на рис. 98 и 99.

Построение кривых произведено в полулогарифмической системе координат (по оси абсцисс откладывается логарифм координаты вытяжки, а по оси ординат — величина удельного расхода). Для каждого случая построено по две диаграммы — одна с учетом расхода электроэнергии на разгон, другая — без учета. Как видно из кривых, разница в расходах энергии за счет разгона составляет для всех случаев 2—3 *л. с.-ч/т*, т. е. около 3—4% от общей величины. Все остальные данные приведены в подписях к рисункам.

На рис. 100 дана кривая удельного расхода энергии при прокатке меди Все данные приведены в подписи к рисунку.

Рис. 101 иллюстрирует удельный расход энергии при прокатке электролитного цинка марки Ц2, имеющего состав: 0 04% Pb, 0,01% Fe и 0,02% Cd. В табл. 23 дается сортамент прокатывающихся слябов и режим прокатки к рис 101.

На рис. 102 дана кривая удельного расхода энергии при горячей прокатке монельметалла состава 28% Cu, 68% Ni, 2,5% Fe, 1,5% Mn. Полосы толщиной 85.7 *мм*, шириной 140 *мм* и длиной 1370 *мм* за семь проходов прокатывали до толщины 5,08 *мм* и ширины 152 *мм*. Начальная температура

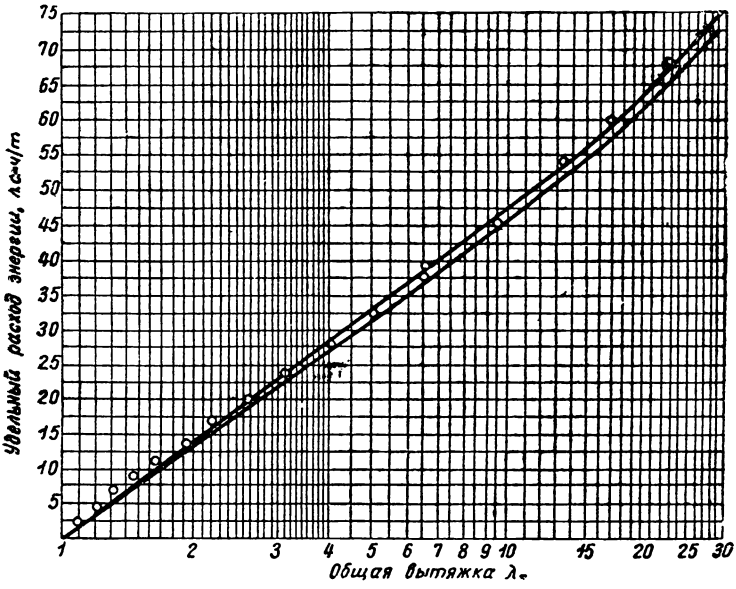


Рис. 98. Кривые удельного расхода энергии при прокатке сляба плакированного дуралюмина марки Д16 весом 1450 *кг*, толщиной 185 *мм* и шириной 2160 *мм* в полосу толщиной 6 *мм* на стане 700/1370×2840 *мм*; верхняя кривая учитывает разгон стана, нижняя не учитывает

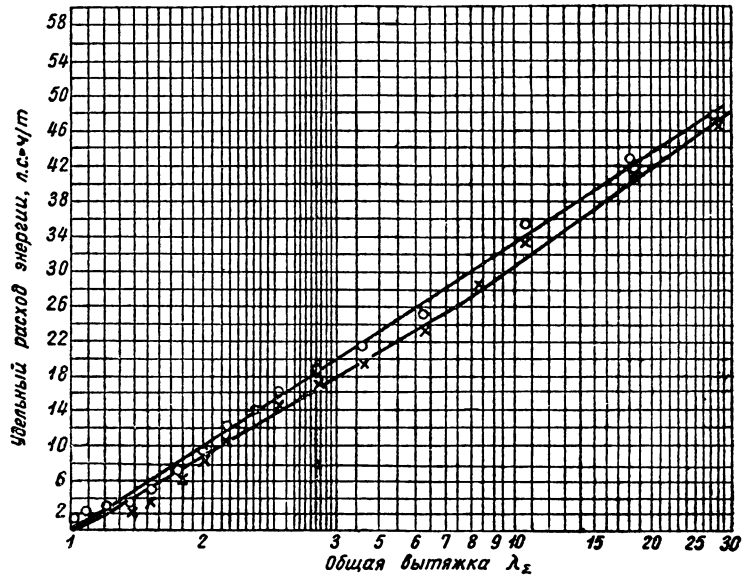


Рис. 99. Кривые удельного расхода энергии при прокатке сляба АМц сечением 174×1330 *мм*, весом 825 *кг* в полосу 6×1330 *мм* на четырехвалковом стане 700/1370×2840 *мм*; верхняя кривая учитывает разгон стана, нижняя не учитывает

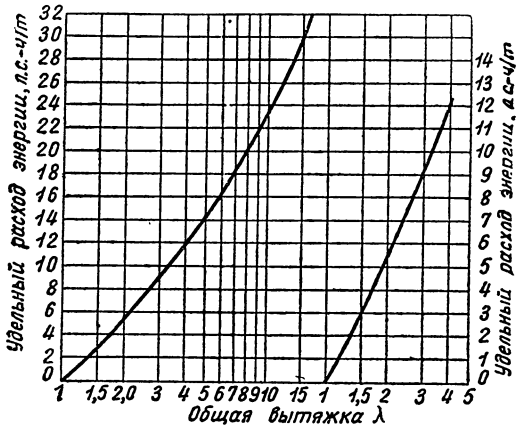


Рис 100 Кривая расхода энергии при горячей прокатке литой меди на двухвалковом стане со скользящими подшипниками Диаметр валков 610 *мм* скорость прокатки 32 об/мин. слитки весом 227 *кг* и размерами 114×305×762 *мм* в 10 проходов прокатывались в полосу 6,35×445×9420 *мм*; начальная температура 760°

прокатки 1150° и конечная 871°. Прокатку вели на однолинейном пятиклетевом стане с маховиком Шесть проходов — в трехвалковой клети, седьмой — в двухвалковой. Скорость прокатки 1,52 *м/сек*.

Таблица 23

Сортамент слябов и режим прокатки цинка

Кривая по рис 101	Исходный слиб			Конечная полоса		Температура прокатки, °С		Число проходов
	толщина *мм*	ширина *мм*	вес, *кг*	толщина *мм*	ширина *мм*	начальная	конечная	
1	49,5	157	15,3	4,7	170	170	215	8
2	63,0	125	15,6	5,7	125	180	225	9
3	64,0	130	17,0	5,75	145	180	225	8

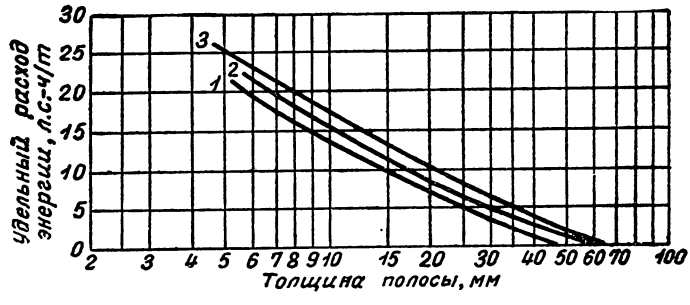


Рис 101. Кривые расхода энергии при прокатке цинка на двухклетевом однолинейном стане с валками диаметром 460 *мм* и длиной бочки 980 *мм*, скорость прокатки 1.1 *м/сек*, подшипники бронзовые; другие данные см в табл. 23

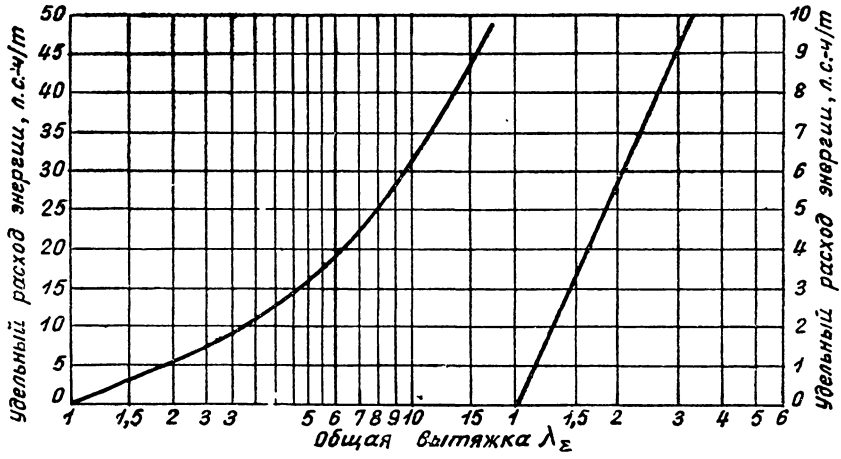


Рис. 102. Кривая расхода энергии при прокатке монель-металла на пятиклетевом однолинейном стане

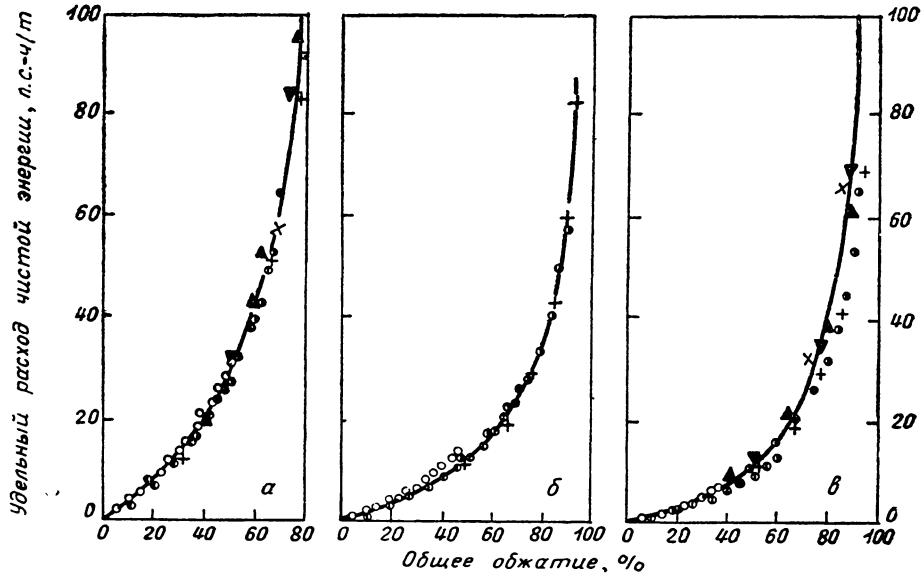


Рис. 103. Кривые удельного расхода чистой энергии прокатки:
а — отожженная сталь 0,2—0,25% С, 2,54 × 76,2 *мм*, валки шлифованные до зеркального блеска; *б* — отожженная медь высокой проводимости 2,54×76,2 *мм*, валки шлифованные до зеркального блеска, *в* — отожженная медь высокой проводимости, валки гладкие, матовые; о — обжатие 5% за проход; ◑ — 10%; ◑ — 20%; + — 30%; ▲▼ — примерно 40%; ● — 50%, × —60%

На рис. 103 приведены кривые удельного расхода чистой работы прокатки, т. е. работы, потребной только для деформации металла в валках, за вычетом всех видов потерь на трение при холодной прокатке отожженных образцов из стали с 0,20—0,25% С (*а*) и меди высокой проводимости (*б* и *в*) в функции от общего обжатия. Прокатку производили на экспериментальном двухвалковом стане с диаметром валков 254 *мм*. Эти кривые интересны тем, что иллюстрируют влияние различного обжатия за проход на расход энергии прокатки.

Образцы с начальной толщиной 2,54 *мм* и шириной 76,2 *мм* прокатывали партиями до конечной толщины с различным обжатием за проход. 5, 10, 20, 30, 40, 50 и 60%. В каждой партии частные обжатия во всех последующих проходах для образцов были такими же, как в первом проходе. Прокатку вели с обильной поливкой маслом поверхности ленты. Кривые *а* и *б* (см. рис. 103) построены по результатам прокатки на валках, шлифованных до зеркального блеска, а кривая *в* — на гладких валках с матовой поверхностью.

Из рис 103, *а* и *б* видно, что все точки очень хорошо расположились на плавной кривой, а при валках с матовой поверхностью (рис. 103, *в*) наблюдается разброс точек относительно проведенной плавной кривой.

Таблица 24

Условия опытов при установлении кривых удельного расхода энергии при прокатке цветных металлов (рис. 104—108)

Металл, № рисунка и кривых	Размеры прокатываемых полос, *мм*			Тип прокатного стана и подшипников	Диаметр рабочих валков, *мм*	Скорость прокатки, *м/сек*	Величина натяжения, *кг/мм²*	Число проходов	Мощность холостого хода прокатного стана, *л. с.*	Смазка
	начальная толщина	конечная толщина	ширина							
Дуралюмин Д16 Рис. 104										
1	5,9—6,1	2,4—2,8	2050	Реверсивный четырехвалковый стан 2840×610/1370. Подшипники роликовые	610	1,3—2,6	—	6	—	2—5%-ный раствор эмульсола 59С
2, 3	2,3—2,7	1,3—1,4	2050	То же	610	1,3—2,6	—	4	—	То же
4	1,8	1,1	2050	» »	610	1,3—2,6	—	2	—	» »
5	1,8	0,8	1500	» »	610	1,3—2,6	—	2	—	» »
Алюминий АД1 Рис. 105 кривая *1*	7,75	0,7	1560	Четырехвалковый реверсивный стан 2840×610/1370. Подшипники роликовые	610	1,3—2,6	—	8	—	2—5%-ный раствор эмульсола 59С
Алюминиевая фольга Рис. 106										
1	0,06	0,0297	640	Двухвалковый	—	1,83	7,2	—	11,6	—
2	0,0551	0,0225	525	Трехвалковый	—	1,98	7,2	—	12,3	—
3	0,011	0,00577	510	»	—	1,51	7,2	—	8,5	—
Медь Рис. 107										
1	2,0	0,26	30 и 60	Шестивалковый. Опорные валки в роликовых подшипниках	130	0,66	—	—	—	Без смазки
2	2,29	0,152	381	То же	—	—	—	10	—	» »
Цинк Рис. 108										
1	1,78	0,356	381	Шестивалковый. Опорные валки в роликовых подшипниках	—	—	—	6	—	—
2	0,50	0,212	60	То же	130	0,66	—	—	—	Без смазки
3	0,50	0,12	60	» »	130	0,66	—	—	—	Смазка керосином

Экспериментальные данные рис. 103 показывают, что при рассматриваемых условиях расход чистой работы прокатки остается почти постоянным независимо от того, производится ли заданное общее обмости от толщины полосы. Кривые получены путем автоматической записи энергетического режима двигателя при прокатке ленты сплава марки Д16 шириной 2050 *мм* и ленты алюминия шириной 1560 *мм*.

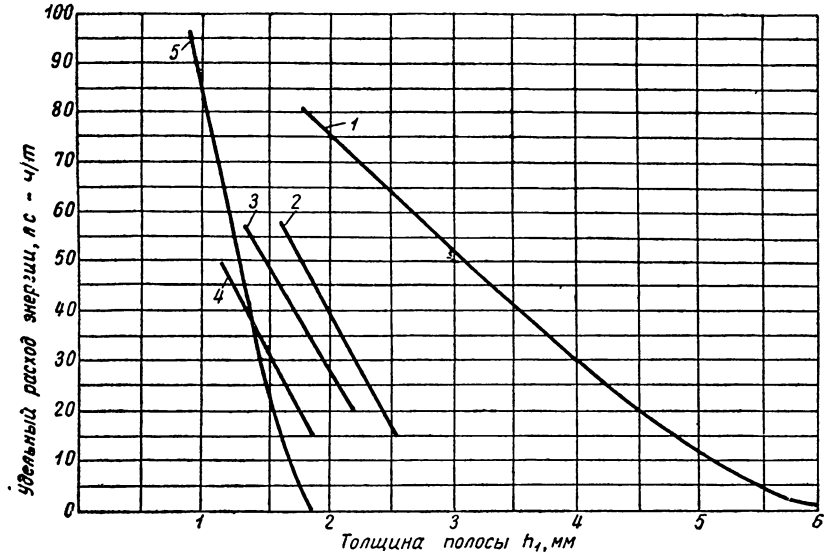


Рис. 104. Кривые расхода энергии при холодной прокатке дуралюмина Д16 Стан 2840 *мм*:
1, 2, 3 и *4* — ширина листа 2050 *мм*; *5* — ширина листа 1500 *мм*

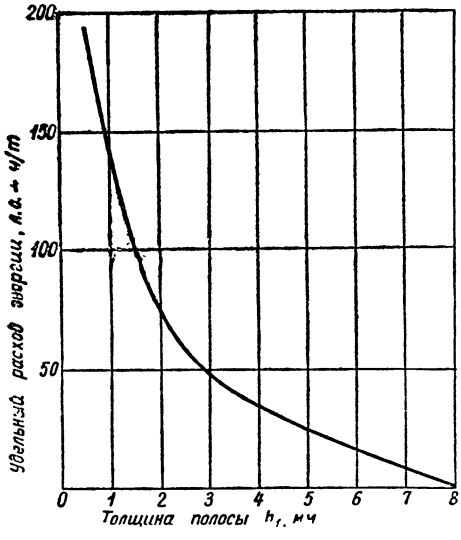


Рис. 105. Кривая расхода энергии при холодной прокатке алюминия. Стан 2840 *мм*; ширина листа 1560 *мм*

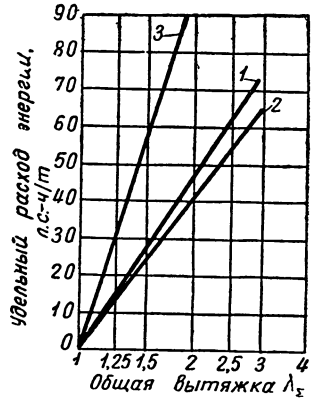


Рис. 106. Кривые расхода энергии при прокатке алюминиевой фольги

жатие путем прокатки за один тяжелый проход или за несколько легких.

Кривые удельного расхода энергии при прокатке дуралюмина и алюминия даны на рис. 104 и 105 и в табл. 24 в зависи-

Кривые удельного расхода электроэнергии при прокатке алюминиевой фольги (рис. 106, табл. 24) получены при прокатке сдвоенной фольги с передним и задним натяжением, приблизительно равным 7,2 *кг/мм*^{2}. Приводимые в табл. 24 толщины указаны для одного слоя.

Кривые удельного расхода энергии при холодной прокатке меди (рис. 107) хорошо согласуются для общей вытяжки от 2 до 4.

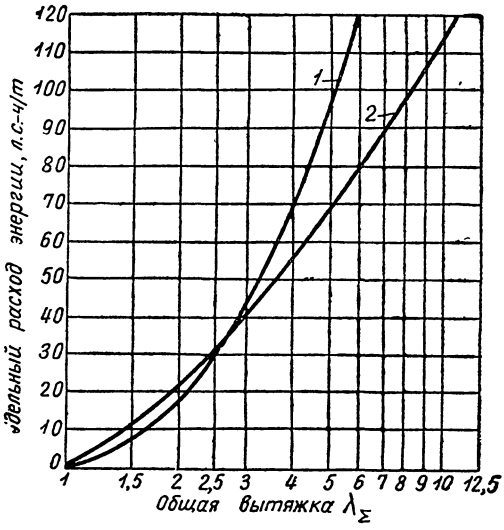


Рис. 107. Кривые расхода энергии при прокатке меди

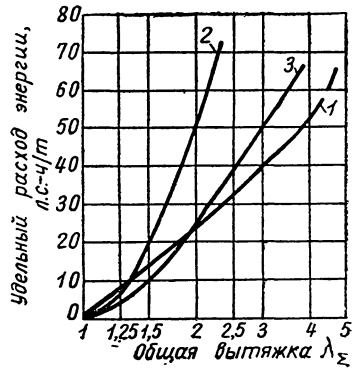


Рис. 108 Кривые расхода энергии при прокатке цинка

Кривые *2* и *3* удельного расхода электроэнергии при прокатке цинка (рис. 108) иллюстрируют влияние смазки на расход энергии при прокатке лент малой начальной толщины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Крейндлин. Расчет обжатий при прокатке листов и лент из цветных металлов и сплавов. Металлургиздат, 1950.

2 К Н Богоявленский и Н Н Павлов. Давление на валки при прокатке меди и сплавов. Труды ЛПИ. Машгиз. 1956. № 185

3 Н Н. Крейндлин и Г Н Кручер. Производство листов и лент из легких сплавов. Металлургиздат, 1957.

4. И Л. Перлин и И Н. Рязанцев. Сборник научных трудов МИЦМЗ. № 25. Металлургиздат. 1955. стр 397.

5 И Л Перлин и К. К. Годерзиан. Цветные металлы, 1954. № 5

6 E. Larke. Sheet Metal Industries, 1956 № 348.

ГЛАВА VIII

РАСЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛА ПО ПРОХОДАМ ПРИ ПРОКАТКЕ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ

В процессе прокатки металл теряет тепло тремя основными путями:

а) теплопроводностью — теплопередачей валкам;

б) теплоизлучением в окружающую среду;

в) конвекцией окружающего воздуха.

Одновременно с охлаждением вследствие теплопроводности при деформации в валках в результате развивающегося теплового эффекта происходит повышение температуры полосы, чем до крайней степени усложняются теоретические и экспериментальные исследования охлаждения в зеве валков.

Горячая прокатка некоторых сплавов ведется с поливкой валков водой или эмульсией, которые попадая на полосу, также охлаждают ее, но это охлаждение незначительно, так как капельки жидкости на полосе приобретают сферическую форму.

§ 1. ПАДЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСЛЕДСТВИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

В зеве валков наступает резкое охлаждение. Оно определяется двухсторонним контактом поверхностей прокатываемых полос с постоянно новыми блестящими холодными поверхностями валков. Теория этой теплопередачи весьма сложна. Рассмотрим два метода расчета теплообмена применительно к прокатке

Первый метод. Рассмотрим прокатываемую полосу как бесконечную пластину постоянной ограниченной толщины $2s = h_{ср}$, отдающую свое тепло через наружную поверхность. Принимается, что на поверхность пластины из ее середины приходит столько же тепла, сколько его уходит с поверхности в охлаждающую среду по законам теплопроводности. Другими словами, принимается, что в поверхностном слое приток тепла из середины пластин и отдача тепла валкам все время равны.

Тогда для расчета потери тепла металла в зеве валков решение дифференциального уравнения теплопроводности может быть взято в следующем виде:

$$\Delta Qq = c\gamma 2sBLt_1 \sum_{k=1}^{k=\infty} 2\times \frac{\sin^2 \delta_к}{\delta_к^2 + \delta_к \sin \delta_к \cos \delta_к} \left(1 - e^{\delta_к^2 \frac{a\tau}{s^2}}\right), \qquad \text{(VIII.1)}$$

где ΔQ_q — потеря тепла теплопроводностью, *ккал*;

c — удельная теплоемкость, *ккал/кг* · °С;

λ — коэффициент теплопроводности, *ккал/м* · *час* · °С;

γ — удельный вес, *кг/м*^{3};

$2s$ — толщина полосы $h_{ср}$, *м*;

L — длина полосы, *м*;

B — ширина полосы, *м*;

t_1 — начальная температура полосы, °С;

τ — время соприкосновения; τ определяется как время, необходимое какой-либо точке на дуге захвата для прохождения пути, равного горизонтальной проекции дуги захвата,

$$\tau = \frac{\sqrt{R\Delta h}}{v \cdot 3600} \text{ час.};$$

a — коэффициент температуропроводности, $a = \frac{\lambda}{c\,\gamma}$ *м*^{2}/*час*;

$$\frac{a\tau}{s^2} = F_0 \text{ (критерий Фурье)};$$

$$\delta_k = \frac{\alpha}{\lambda} s = ns \text{ (критерий Био)};$$

α — коэффициент теплопередачи от полосы к валкам.

Первая часть выражения (VIII.1) $c\gamma 2sBLt_1$ есть первоначальное теплосодержание тела, отнесенное к температуре охлаждающей среды. Вторая часть выражения — сумма бесконечного ряда — коэффициент, всегда меньший единицы. Он показывает, какая часть первоначального теплосодержания теряется и является функцией от критериев Био $\left(\frac{\alpha}{\lambda} s\right)$ и Фурье $\left(\frac{a\tau}{s^2}\right)$.

Следовательно, охлаждение полосы в зеве валков может быть представлено функцией

$$\Delta t_q = t_1 \psi \left(\frac{\alpha}{\lambda} s;\ \frac{a\tau}{s^2}\right). \qquad \text{(VIII.2)}$$

На рис. 109 дано значение функции ψ в зависимости от величины $\frac{a\tau}{s^2}\cdot\left(\frac{a}{\lambda}s\right)^2 = \frac{a^2}{\lambda^2}a\tau = an^2\tau$ для разных значений ns;

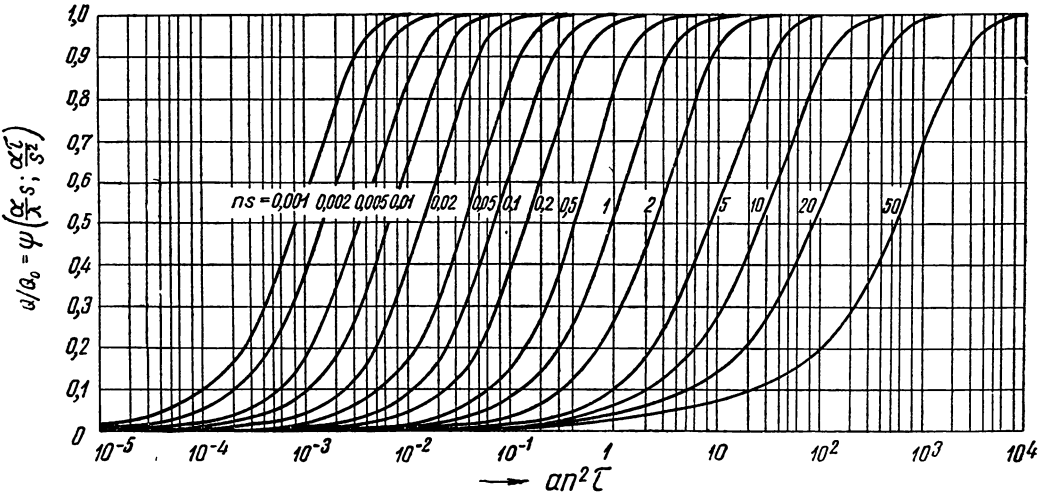


Рис. 109. Потеря тепла Q плитой за время τ, отнесенная к первоначальному теплосодержанию

здесь $n = \frac{a}{\lambda}$ — коэффициент «относительной» теплопередачи

Если принять, что на поверхности касания пластины с валками температура всегда будет равна нулю, т. е. коэффициент теплопередачи $\alpha = \infty$, тогда в уравнении (VIII. 1) функция $\cos\delta_k$ должна превратиться в нуль, что достигается, когда $\delta_k = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}$, и уравнение (VIII. 1) примет вид

$$\Delta t_q = t_1\frac{8}{\pi^2}\sum\frac{1}{n^2}\left(1-e^{\left(-\frac{\pi}{2}n\right)^2\frac{a\tau}{s^2}}\right)=t_1\psi^1, \qquad \text{(VIII.3)}$$

где $n = 1, 3, 5, \ldots (2n-1)$.

Значения ψ^1 для случая идеальной теплопередачи при $\frac{a}{\lambda}s = \infty$ следующие:

$F_0 = \frac{a\tau}{s^2}$	0,02	0,05	0,1	0,5	1,0
ψ' . . .	0,13	0,25	0,36	0,76	0,93

$F_2 = \frac{a\tau}{s^2}$	2,0	5,0	10,0	20,0	50,0
ψ . . .	0,99	1,0	1,0	1,0	1,0

Второй метод расчета разработан Г. П. Иванцовым для двух случаев теплообмена,

В первом случае рассмотрен теплообмен между прокатным валком и полосой исходя из следующего: тело, ограниченное плоскостью $X = 0$ и неограниченно простирающееся в сторону положительных значений X, обладающее теплопроводностью λ_1, теплоемкостью c_1 и удельным весом γ_1 идеально (без теплового сопротивления, $\alpha = \infty$, температурный скачок в плоскости перехода отсутствует) соприкасается с другим таким же телом, неограниченно простирающимся в сторону отрицательных значений X и имеющим λ_2, c_2, γ_2 (полоса). Первое тело прогрето по всей толще до температуры t_1, второе — до температуры t_2.

Тогда температура в плоскости соприкосновения может быть рассчитана по формуле

$$\frac{t_2 - t_m}{t_m - t_1} = \frac{\sqrt{\lambda_1 c_1\gamma_1}}{\sqrt{\lambda_2 c_2\gamma_2}}. \qquad \text{(VIII.4)}$$

Количество тепла, перешедшее через плоскость соприкосновения,

$$Q_{\text{ид}} = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\sqrt{\lambda_1 c_1\gamma_1}\,(t_m - t_1)\sqrt{\tau} =$$

$$= \frac{2}{\sqrt{\pi}}\sqrt{\lambda_2 c_2\gamma_2}\,(t_2 - t_m)\sqrt{\tau}\ \text{ккал/м}^2,$$

а падение температуры полосы

$$\Delta t_{q_{\text{ид}}} = \frac{Q_{\text{ид}}\sqrt{R\Delta h}B}{c_2\sqrt{R\Delta h}Bh_{\text{ср}}\gamma_2} = \frac{Q_{\text{ид}}}{c_2\gamma_2 h_{\text{ср}}}. \qquad \text{(VIII.5)}$$

Во втором случае рассмотрен теплообмен при наличии между валком и полосой

сплошной прослойки окалины или воздуха с теплоемкостью, принимаемой равной нулю. Теплопроводность окалины меньше теплопроводности металла в 20—40 раз, а воздуха — в 1000 раз. В плоскости соприкосновения между температурой полосы и валка возникает температурный перепад (рис. 110).

Для расчета перехода тепла Иванцов применяет уравнения температурного поля в стенке бесконечной толщины, омываемой газовой средой постоянной температуры, при условии постоянного сопротивления теплопереходу.

Если α — коэффициент теплопередачи от полосы к валкам, то значения t_m и коэффициентов теплопередачи от полосы к прослойке α_2 и от прослойки к валку α_1 определятся из выражений

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{t_2 - t_m}{t_m - t_1} = \frac{\sqrt{\lambda_1 c_1 \gamma_1}}{\sqrt{\lambda_2 c_2 \gamma_2}} \quad \text{(VIII 6)}$$

и

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad \text{(VIII.7)}$$

получаемых, если приравнять количество тепла, потерянного полосой, к количеству тепла, перешедшему к валку:

$$Q = \alpha_1 (t_m - t_1)\tau_1 f(a_1 n_1^2 \tau) =$$
$$= \alpha_2 (t_2 - t_m)\tau f(a_2 n_2^2 \tau) \ \text{ккал/м}^2, \quad \text{(VIII.8)}$$

где $n_1 = \frac{\alpha_1}{\lambda_1}$; $n_2 = \frac{\alpha_2}{\lambda_2}$ — коэффициенты «относительной» теплопередачи, а

$$f(an^2\tau) = \left\{ \frac{2}{\sqrt{\pi}\sqrt{an^2\tau}} - \frac{1}{an^2\tau}\left[1 - e^{an^2\tau}\left(1 - G\sqrt{an^2\tau}\right)\right]\right\}, \quad \text{(VIII.9)}$$

где $G(u)$ — функция Крампа;

$$G(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u e^{-z^2} dz.$$

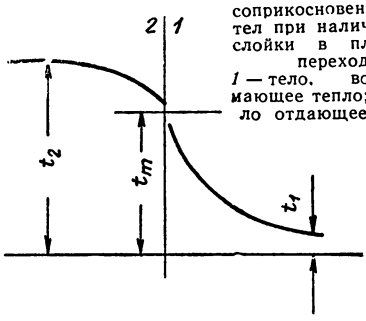


Рис. 110. Распределение температур при соприкосновении двух тел при наличии прослойки в плоскости перехода:
1 — тело, воспринимающее тепло; *2* — тело отдающее тепло

Падение температуры полосы за проход

$$\Delta t_q = \frac{Q}{c_2 \gamma_2 h_{ср}}. \quad \text{(VIII.10)}$$

Г. П. Иванцов определил также отношение

$$\frac{Q}{Q_{ид}} = 1 - \frac{\sqrt{\pi}}{2\sqrt{an^2\tau}}\left[1 - e^{an^2\tau}\left(1 - G\sqrt{an^2\tau}\right)\right]. \quad \text{(VIII.11)}$$

Таблица 25

Значения $f(an^2\tau)$ и $Q : Q_{ид}$ по вычислениям Г. П. Иванцова

$an^2\tau$	$f(an^2\tau)$	$Q : Q_{ид}$	$an^2\tau$	$f(an^2\tau)$	$Q : Q_{ид}$	$an^2\tau$	$f(an^2\tau)$	$Q : Q_{ид}$
0,0001	0,9925	0,0088	0,15	0,769	0,264	1,2	0,532	0,517
0,0002	0,9895	0,0124	0,20	0,744	0,295	1,4	0,514	0,539
0,0005	0,9834	0,0195	0,30	0,700	0,340	1,6	0,495	0,556
0,001	0,9767	0,0274	0,40	0,668	0,375	1,8	0,480	0,571
0,002	0,9673	0,0383	0,50	0,643	0,403	2,0	0,466	0,584
0,005	0,9492	0,0595	0,60	0,620	0,426	2,5	0,437	0,613
0,01	0,9295	0,0824	0,70	0,602	0,446	3,0	0,414	0,635
0,02	0,9027	0,1132	0,80	0,584	0,463	4,0	0,378	0,670
0,05	0,8538	0,1690	0,90	0,569	0,479	5,0	0,285	0,758
0,10	0,8035	0,2253	1,0	0,556	0,493	16,0	0,228	0,809

В табл. 25 даны значения $f(an^2\tau)$ и $Q : Q_{ид}$.

Для пользования приведенными формулами необходимо знать коэффициенты теплопередачи α и n, которые могут быть получены косвенным методом путем пересчета экспериментальных данных. Учитывая, что на охлаждение вследствие теплопроводно-

Таблица 26

Величины физических констант некоторых металлов и сплавов при повышенных температурах, входящие в формулы для расчета охлаждения металла при прокатке

Наименование материала	Температура, °С	γ кг/м³	ε ккал/м²·час·°С⁴	c ккал/кг·°С	λ ккал/м·час·°С	α ккал/м²·час·°С	$\frac{\varepsilon}{c\gamma}$ м/час·°С³	$a=\frac{\lambda}{c\gamma}$ м²/час	$n=\frac{\alpha}{\lambda}$ м⁻¹	$\sqrt{\lambda c\gamma}$ ккал/м²·°С·час$^{1/2}$
Сталь 45—55	100	7800	—	0,115—0,14	55—60	—	—	—	—	—
Молибденовый чугун	100	7300	—	0,15	42,5	—	—	0,039	—	193
Углеродистая сталь	1100—1200	7800	4,6	0,14—0,15	27—30	30000	0,0040	0,024	1070	181
Нержавеющая сталь	1100—1200	7760	4,6	0,17	22	60000	0,0035	0,0167	2700	170
Медь 99,9, окисленная при 600°	600	8900	2,8—4,3	0,118	304	—	0,0027	0,29	—	565
Томпак ЛТ90	600	8800	2,8—3,6	0,105	175	—	0,004	0,19	—	403
Латунь Л62	600	8500	2,8—3,6	0,092—0,106	172	85000	0,004	0,202	500	382
Алюминий	500	2750	0,75—0,8	0,28	322	—	0,001	0,418	—	496
Никель	1100	8900	3,2—3,7	0,11—0,13	40—45	—	0,0032	0,04	—	212

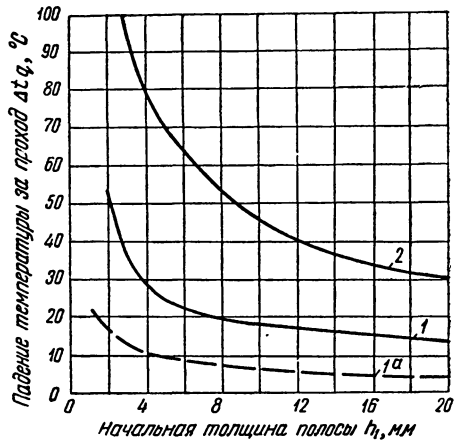


Рис. 111. Влияние начальной толщины полосы h_1 на падение температуры за проход вследствие теплопроводности валкам при прокатке углеродистой стали (*1* и *1а*) и латуни (*2*): *1* и *2* — первый метод расчета; *1а* — по Иванцову Г. П.

сти накладывается разогрев от деформации, в экспериментальных исследованиях необходимо одновременно с измерением падения температуры измерять средние удельные давления.

Исследований со специальной методикой измерения температуры в литературе опубликовано всего два: одно по лабораторной прокатке стали и другое по промышленной прокатке латуни Л62. Оба они использованы для определения n и α и приведены в табл. 26.

На рис. 111 показано влияние начальной толщины полосы на падение температуры вследствие теплопроводности за проход для углеродистой стали ($n = 1070$) и латуни Л62 ($n = 500$) по первому методу расчета (кривые *1* и *2*). Показан частный случай прокатки с обжатием за проход 40% в валках диаметром 500 *мм* со скоростью 3 *м/сек*. Начальная температура стальной полосы 1000°, латунной 800°.

На этом же рисунке показана кривая охлаждения стали (*1а*), рассчитанная по методу Г. П. Иванцова и дающая результаты, очень заниженные по сравнению с первым методом.

§ 2. РАЗОГРЕВ ПОЛОСЫ ВСЛЕДСТВИЕ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛА В ВАЛКАХ

Нагрев металла от деформации может быть определен, если принять, что работа деформации превращается в металле в тепло

$$W = p_{ср} v \ln \frac{h_1}{h_2} = 427 G c_2 \Delta t_W,$$

откуда

$$\Delta t_W = \frac{p_{ср} v \ln \frac{h_1}{h_2}}{427 cG} =$$

$$= \frac{10^6 \cdot 2{,}3 \cdot p_{ср} \lg \frac{h_1}{h_2}}{427 c_2 \gamma_2} \cong$$

$$\cong 5400\, p_{ср} \frac{\lg \frac{h_1}{h_2}}{c_2 \gamma_2} =$$

$$= 5400\, p_{ср} \frac{\lg \frac{1}{1-\varepsilon}}{c_2 \gamma_2}, \qquad \text{(VIII.12)}$$

где $p_{ср}$ — среднее удельное давление, *кг/мм²*;
c_2 — удельная теплоемкость полосы, *ккал/кг · °С*;
γ — удельный вес полосы, *кг/м³*;
ε — относительное обжатие $\frac{h_1 - h_2}{h_1}$.

При определении Δt_W предполагается, что зона прилипания охватывает всю дугу захвата, внешнее трение на контактной по-

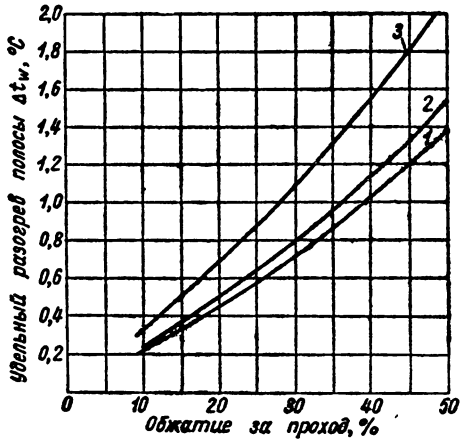


Рис. 112. Влияние обжатия за проход на разогрев полосы при $p_{ср}$ = 1 *кг/мм²* для стали (*1*), меди (*2*) и алюминия (*3*)

верхности отсутствует и вся деформация протекает в результате внутреннего скольжения в металле.

На рис. 112 показано влияние обжатия за проход на удельный разогрев полосы. Разогрев полосы пропорционален $p_{ср}$, поэтому он зависит от всех факторов, влияющих на $p_{ср}$: от отношения $\frac{\sqrt{k\Delta h}}{h_{ср}}$, коэффициента внешнего трения μ, температуры полосы в проходе.

§ 3. ПАДЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСЛЕДСТВИЕ ТЕПЛОИЗЛУЧЕНИЯ И КОНВЕКЦИИ

Потеря теплоты вследствие лучеиспускания телом, нагретым до температуры T, определяется по закону Стефана — Больцмана:

$$\Delta Q_\varepsilon = \varepsilon \left(\frac{T}{100}\right)^4 F \tau, \qquad \text{(VIII.13)}$$

где ΔQ_ε — количество излучаемой теплоты, *ккал*;
T — абсолютная температура излучающего тела;
τ — продолжительность излучения, час.;
F — поверхность тела, *м²*;
ε — коэффициент лучеиспускания, *ккал/м² · час · °С⁴*.

Коэффициент лучеиспускания ε различен для разных металлов и зависит от температуры излучающего тела и состояния поверхности. Он увеличивается с повышением температуры и больше для шероховатых (особенно для окисленных поверхностей), чем для полированных.

В то же время потеря теплоты определяется разностью теплосодержания тела:

$$\Delta Q = cG(t_1 - t_2) = cG\Delta t_\varepsilon, \qquad \text{(VIII.14)}$$

где t_1 и t_2 — температуры начала и конца лучеиспускания;
c — удельная теплоемкость в интервале температур от начальной до конечной температуры прокатки, *ккал/кг·°С*;
Δt_ε — падение температуры за период лучеиспускания, °С;
G — вес излучающего тела, *кг*.

Приравнивая приведенные выражения, получаем

$$\Delta t_\varepsilon = \frac{\varepsilon}{c\gamma}\left(\frac{T}{100}\right)^4 F\tau.$$

При прокатке слябов поверхность, очевидно, равна

$$F = 2(bl + lh + bh),$$

а отношение

$$\frac{F}{G} = \frac{F}{v\gamma} = \frac{2(bl + lh + bh)}{\gamma blh} =$$

$$= \frac{2}{\gamma}\left(\frac{1}{h} + \frac{1}{b} + \frac{1}{l}\right),$$

где γ — удельный вес, *кг/м³*;
h, b, l — толщина, ширина и длина полосы, *м*.

При малой толщине прокатываемых листов и полос влияние последних двух членов в скобках становится незначительным и ими можно, в сравнении с первым, пренебречь.

$$\Delta t_\varepsilon = \frac{\varepsilon}{c\gamma}\left(\frac{T}{100}\right)^4 \tau \cdot 2\left(\frac{1}{h} + \frac{1}{b} + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{l}\right) \approx 2\frac{\varepsilon}{c\gamma}\left(\frac{T}{100}\right)^4 \frac{\tau}{h}, \qquad \text{(VIII.15)}$$

где τ — продолжительность излучения, час.;
h — толщина, *м*.

На рис. 113 показано влияние температуры на удельное падение температуры Δt_ε вследствие теплоизлучения полос толщиной 1 *мм* за 1 сек. для стали, меди и алюминия.

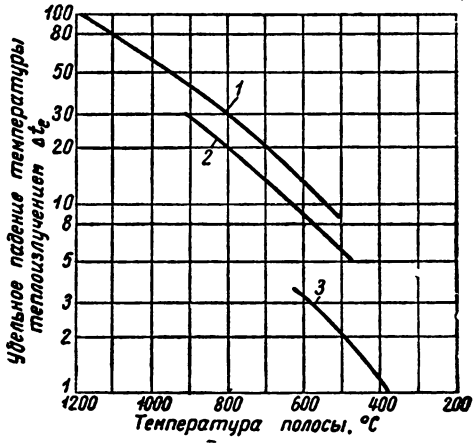


Рис. 113. Влияние температуры полос толщиной 1 *мм* на удельное падение температуры вследствие теплоизлучения Δt_ε за 1 сек. для углеродистой стали, меди и алюминия:

1 — углеродистая сталь, латунь, $\frac{\varepsilon}{c\gamma}=0{,}004$;

2 — медь, $\frac{\varepsilon}{c\gamma}=0{,}0027$; *3* — алюминий, $\frac{\varepsilon}{c\gamma}=0{,}001$

В табл. 26 приведены значения $\frac{\varepsilon}{c\gamma}$ и других констант для некоторых металлов и сплавов.

Падение температуры полосы конвекцией окружающего воздуха может быть рассчитано по формуле

$$\Delta t_v=\frac{\alpha_v}{c\gamma}(t_п-t_в)\tau\times$$

$$\times 2\left(\frac{1}{h}+\frac{1}{b}+\frac{1}{l}\right)\approx$$

$$\approx 2\frac{\alpha_v}{c\gamma}(t_п-t_в)\frac{\tau}{h}, \quad \text{(VIII.16)}$$

где $t_п$ — температура полосы;

$t_в$ — температура окружающего воздуха;

α_v — коэффициент теплопередачи конвекцией, *ккал/м²·час·°С*;

τ — время охлаждения полосы, час.

Коэффициент теплопередачи конвекцией α_v в теории теплопередачи определен для двух случаев:

1. Для свободного движения охлаждающей жидкости (газа) вследствие разности плотности нагретых и холодных частиц. Этот случай соответствует охлаждению полосы на рольгангах без движения.

2. Для вынужденного движения жидкости. Это случай, когда вдоль неподвижной полосы создается принудительное движение воздуха вентиляторами.

Возникающее при прокатке явление, при котором полоса движется вдоль неподвижного воздуха, в теории теплопередачи не рассмотрено. Ввиду этого ограничимся рассмотрением охлаждения вследствие свободного движения жидкости, хотя этим потери тепла приуменьшаются.

Таблица 27

Значение постоянных *c* и *n* в зависимости от *Gr Pr*

Режим свободного движения жидкости	*Gr Pr*	*c*	*n*
Ламинарный	$1\cdot10^{-3}$—$5\cdot10^{2}$	1,18	1/8
Ламинарный и локонообразный	$5\cdot10^{2}$—$2\cdot10^{7}$	0,54	1/4
Вихревой . . .	$2\cdot10^{7}$—$1\cdot10^{13}$	0,135	1/3

При свободном движении охлаждающей жидкости критерий Нуссельта определяется из выражения:

$$Nu_m=c\,(GrPr)_m^n,$$

причем постоянные *c* и *n*, являющиеся функцией от аргумента *GrPr*, указаны в табл. 27.

Здесь *Gr* — критерий Грасгофа:

$$Gr=\frac{g\,\beta\Delta t l^3}{\eta^2};$$

g — земное ускорение, *м/сек²*;

β — коэффициент термического расширения, для воздуха $\beta=\frac{1}{T}$;

Δt — температурный напор, равный разности между температурами полосы и воздуха;

η — коэффициент кинематической вязкости, *м²/сек*;

l — определяющий линейный размер, *м*; для горизонтальных плит l — наименьшая ширина;

Pr — критерий Прандтля; для воздуха является величиной приблизительной постоянной, $Pr\sim0{,}72$.

Вычисление произведения (*GrPr*) показывает, что при прокатке полос следует пользоваться соотношением для вихревого режима и, следовательно,

$$Nu=0{,}135\,(Gr\,Pr)^{\frac{1}{3}}. \quad \text{(VIII.17)}$$

Михеев показал, что при подстановке в уравнение (VIII. 17) всех постоянных может быть получено выражение для α_v

$$\alpha_v=A_з\sqrt[3]{t_п-t_в}, \quad \text{(VIII.18)}$$

где

$$A_з=f(t_m)=f\left(\frac{t_п+t_в}{2}\right).$$

$A_з$ в зависимости от t_m имеет следующие значения:

t_m . .	0	50	100	200	300	500	1000
$A_з$ . .	1,45	1,27	1,14	0,97	0,85	0,70	0,48

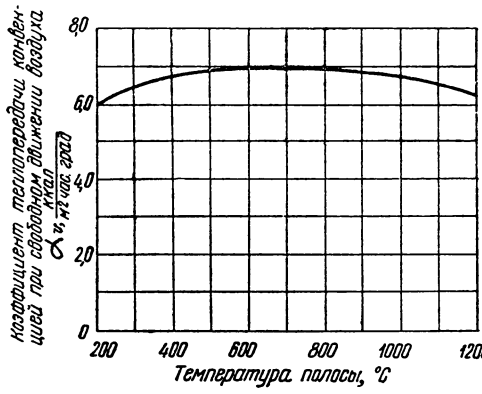


Рис. 114. Зависимость коэффициента теплопередачи конвекцией α_v от температуры полосы

Таблица 28

Сравнение охлаждения полос вследствие теплоизлучения и конвекции

Наименование материала	Начальная температура, °С	Падение температуры за $\tau = 4$ сек., °С		Охлаждение конвекцией, % от теплоизлучения
		теплоизлучением	конвекцией	
Углеродистая сталь	1100	79	5,4	6,8
Медь	800	20	4,2	21
Алюминий	500	2	3,4	170

На рис. 114 приведена кривая α_v в функции от температуры полосы, показывающая, что α_v при свободном охлаждении составляет $\approx 7{,}0$.

На рис. 115 дано сравнение влияния толщины полосы и исходной температуры на охлаждение стальных, медных и алюминиевых полос за время $\tau \approx 4$ сек., а в табл. 28 дано сравнение этого охлаждения для полос толщиной 4 *мм*.

Из таблицы видно, что если для стали охлаждение конвекцией составляет 6,8% от охлаждения теплоизлучением, то для алюминия оно возрастает до 170%.

1. Температура прокатки полосы

Температура деформации полосы в n-ном проходе может определяться из следующего выражения:

$$t_n = t_{n-1} - (\Delta t_\varepsilon + \Delta t_v) - \frac{1}{2}(\Delta t_{qn} - \Delta t_{W_n}), \quad \text{(VIII.19)}$$

где t_n — температура металла в n-ном проходе;

t_{n-1} — температура металла в n-1 проходе.

§ 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ПОЛОС ПРИ ПРОКАТКЕ

1. Лабораторные опыты по исследованию охлаждения стальных образцов

При исследовании горячей прокатки образцов из углеродистых и высоколегированных сталей замерялось охлаждение части образцов при прокатке. Для этого на конце образцов приваривалась железная проволока и запрессовывалась изолированная константановая проволока в отверстие на боковой поверхности. Отдельные образцы были превращены в термоэлементы, которые нагревали в передвижной (на колесах) электрической печи до 1100° и прокатывали на двухвалковом стане с диаметром валков 180 *мм* и длиной бочки также 180 *мм* (валками из легированного отбеленного чугуна) со скоростью 0,17 *м/сек* и обжатием в 10 и 40% за проход. Эти образцы имели исходную длину 600 *мм*, ширину 20 *мм*, толщину 5,56 и 8,34 *мм* и прокатывались до конечной толщины 5 *мм* (рис. 116). Результаты исследования одного образца нанесены на рис. 117, из которого можно увидеть следующее.

После выхода образца из печи при 1120° падение температуры происходит вначале медленно и до входа константановой проволоки в зев валков оно составило 36°. При входе ее в зев валков начинается резкое падение температуры, которое заканчивается лишь приблизительно через 0,4 сек. по-

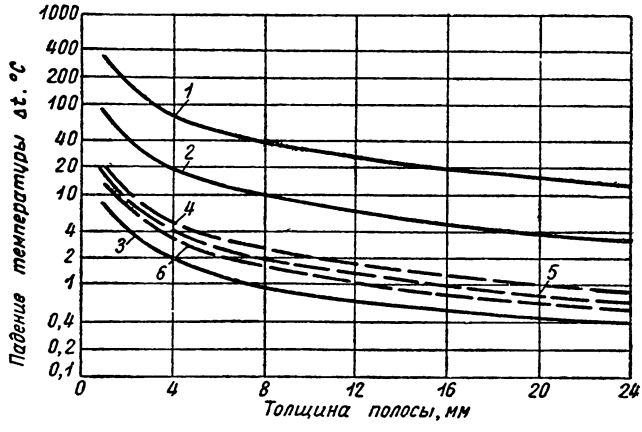


Рис. 115. Сравнение влияния толщины полосы и исходной температуры на охлаждение полос теплоизлучением и конвекцией для стали, меди и алюминия за время $\tau = 4$ сек. Для расчета охлаждения конвекцией принят коэффициент теплопередачи $\alpha_v = 10{,}6$:

1 — теплоизлучение, сталь, $t_1 = 1100°$; *2* — теплоизлучение, медь, $t_1 = 800°$; *3* — теплоизлучение, алюминий, $t_1 = 500°$; *4* — конвекция, сталь, $t_1 = 1100°$; *5* — конвекция, медь, $t_1 = 800°$; *6* — конвекция, алюминий, $t_1 = 500°$

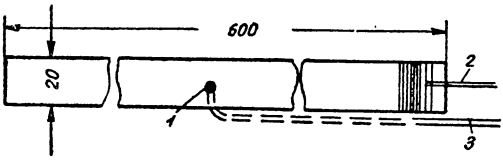


Рис 116. Прокатываемый образец с встроенным термоэлементом:
1 — место спая; *2* — стальная проволока; *3* — полированная константановая проволока

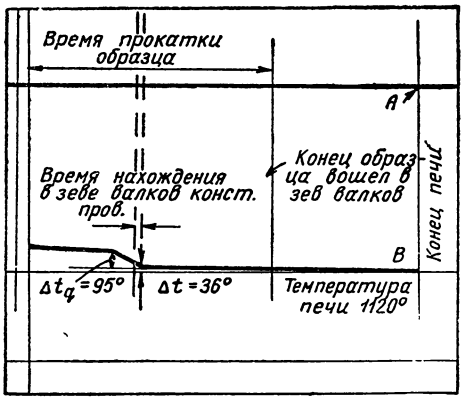


Рис. 117 Падение температуры образцов термоэлементов в зеве валков, записанное оптическим прибором. Обжатие 10%, хромоникелевая сталь:
A — нулевая линия; *B* — линия изменения температуры

сле выхода из валков и составляет 95°. Падение температуры, после того как константановая проволока вышла из зева валков (время контакта с валком 0,042 сек), объясняется тем, что температура измеряется в середине образца, а выравнивание температуры между охлажденными поверхностями и более горячей серединой требует времени.

После этого опять происходит охлаждение образцов вследствие лучеиспускания и вновь протекает медленно. В табл. 29 приведены некоторые результаты экспериментальных исследований.

2. Промышленные исследования охлаждения латунных полос

Прокатка слитков производилась на нереверсивном двухвалковом стане с диаметром валков 750 *мм* при скорости прокатки 1,8 *м/сек*. В отверстие, высверленное в середине боковой грани слитка (размерами 6—8 × 20—25 *мм*), закладывали термопары с короткими термоэлектродами и слиток прокатывали вместе с термопарой. В процессе прокатки выступающие из полосы термоэлектроды термопары на мгновение присоединялись к проводам гальванометра осциллографа и его показания записывались на осциллограмму.

В двух первых проходах температура измерялась оптическим пирометром. Некоторые данные этих исследований, по которым пересчетом определялся коэффициент теплопередачи валкам (табл. 26), приведены в табл. 30.

Таблица 29

Падение температуры образцов между печью и зевом валков при температуре печи 1100° и различных обжатиях, измеренное в середине образцов

Марка и состав стали	Обжатие, %	Падение температуры, °С: между печью и зевом валка	Падение температуры, °С: в зеве валков	Среднее удельное давление $p_{ср}$ кг/мм²
Углеродистая сталь (0,11% C, 0,5% Mn, 0,22% Si) . . .	10	45	66	11,8
	40	41	78	17,1
Жаростойкая хромоникелевая сталь (25% Cr, 20,5% Ni, 0,14% C. 1,95% Si, 0,69% Mn)	10	36	95	22
	40	33	124	43

Таблица 30

Падение температуры в зеве валков при прокатке слитков Л62 размерами 140 × 450 × 830 *мм*

Марка сплава	№ прохода	Толщина, *мм*: начальная	Толщина, *мм*: конечная	Обжатие %	Падение температуры в зеве валков °С	Температура перед проходом °С	Среднее удельное давление $p_{ср}$, кг/мм²
Л62	5	26	15	42,4	26	718	10
Л62	4	19	10,5	44,6	28	700	13,9

§ 5. СРАВНЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ДАННЫХ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ

Сравнение данных расчета по предлагаемой методике с экспериментальными дано в табл. 31 по прокатке слитков Л62, к которой ниже даются пояснения.

Графы 1—10 содержат исходные данные для расчетов, взятые из экспериментов.

Таблица 31

Расчет температуры деформации металла по проходам при прокатке слитков из латуни марки Л62 на нереверсивном двухвалковом стане с диаметром валков 750 и длиной бочки 1500 *мм* со скоростью 1,8 *м/сек.* Слиток размером 140×595×800 *мм* прокатывался за 7 проходов до толщины 5,5 *мм*

№ прохода	Исходные данные из расчетов									Охлаждение в зеве валков								Охлаждение теплоизлучением и конвекцией				Температура полосы перед проходом, °С	Температура деформации полос, °С (расчетная)	Измеренная температура деформации, °С
										охлаждение теплопроводностью					разогрев от деформации		итого							
	h_1, *мм*	h_2, *мм*	Δh, *мм*	$\sqrt{R\Delta h}$, *мм*	длина полосы l, *м*	время прохода $\tau_{прох}$ сек.	время паузы $\tau_{пауз}$, сек.	$\tau_{прох} + \tau_{пауз}$, сек.	среднее удельное давление $p_{ср}$, *кг/мм²*	время соприкосновения τ, час	$an^2\tau$	ns	ψ	падение температуры вследствие теплопроводности, $\Delta t'_q$	$\frac{h_1}{\lg \frac{h_1}{h_2}}$	нагрев $\Delta t'_W$	$\Delta t'_q - \Delta t'_W$	$\frac{\tau_{прох} + \tau_{пауз}}{h_2}$ *сек/мм*	$q_\varepsilon + q_v$	$\Delta t_\varepsilon + \Delta t_v$	сумма потерь $\sum\Delta t$			
0	140	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	770	—	—
1	—	105	35	114	1,05	0,58	7,25	7,83	4,47	$17{,}58\cdot10^{-6}$	0,88	30,6	0,031	24	0,122	3,5	20,5	0,07	36,7	2,8	23	746	757	757
2	105	70	35	114	1,53	0,85	7,5	8,35	5,42	$17{,}58\cdot10^{-6}$	0,88	21,9	0,035	26	0,175	6,0	20	0,12	34,2	4,1	24	722	743	741
3	70	40	30	105,2	2,63	1,46	8,13	9,59	7,3	$16{,}3\cdot10^{-6}$	0,81	13,7	0,045	32,6	0,24	11,2	21,4	0,24	31,5	7,6	29	693	724	720
4	40	22	18	81,6	4,73	2,62	9,3	11,9	10,6	$15{,}4\cdot10^{-6}$	0,77	7,75	0,061	42,2	0,26	17,5	24,7	0,54	28,3	15,3	40	653	697	695
5	22	13	9	57,6	8,05	4,48	11,1	15,6	17	$8{,}9\cdot10^{-6}$	0,44	4,36	0,067	43,8	0,23	25	18,8	1,2	25,8	31	49	603	656	660
6	13	7,5	5,5	45,2	13,8	7,66	14,3	22	24,7	$6{,}97\cdot10^{-6}$	0,32	2,54	0,069	41,6	0,24	37,6	4	2,95	22,8	67,4	71	532	587	613
7	7,5	5,5	2,0	27,2	18,7	10,4	—	—	46,7	$4{,}19\cdot10^{-6}$	0,21	1,62	0,1	53,2	0,13	40	13,2	1,89	17,4	33,0	46	—	535	525

В графе 11 показано время соприкосновения металла с валками:

$$\tau = \frac{\sqrt{R\Delta h}}{3600\,v} = \frac{\text{Графа 5}}{3600 \cdot 1{,}8 \cdot 1000} = \frac{\text{Графа 5}}{6{,}49} \cdot 10^{-6}.$$

В графе 12 — параметр $an^2\tau$ вычислен по данным табл. 26. Для Л62 $n = 500$, $a \approx 0{,}2$, $an^2\tau = 0{,}2$. $500\ \tau = 50\,000 \times$ графа 11.

В графе 13 дано

$$ns = \frac{500\,h_{ср}}{2} = 0{,}5\,\frac{h_1 + h_2}{2}.$$

В графе 14 значение функции ψ берется по рис. 43 для вычисленных значений $an^2\tau$ и ns.

В графе 15 охлаждение валков теплопроводностью Δt_q определяется по температуре полосы перед проходом Δt_q = графа 23 × графа 14.

В графе 17 разогрев полосы

$$\Delta t_W = 5400\,p_{ср}\,\frac{\lg\frac{h_1}{h_2}}{c_2\gamma_2} = 6{,}35 \text{ графа } 16 \times \text{графа } 10.$$

В графе 19 дано отношение

$$\frac{\tau_{прох} + \tau_{пауз}}{h_2} = \frac{\text{графа 9}}{\text{графа 3}}.$$

В графе 20 приведено удельное падение температуры излучением

$$q_\varepsilon = \frac{\varepsilon}{c\gamma \cdot 1{,}8}\left(\frac{t+273}{100}\right)^4 = \frac{0{,}04}{1{,}8}\left(\frac{t+273}{100}\right)^4.$$

Удельное падение температуры конвекцией

$$q_v = \frac{2\alpha_v}{c\gamma}(t_п - t_в) \cong \frac{2{,}7}{0{,}1 \cdot 8500}\,t.$$

Для удобства вычислений на рис. 118 дано графическое изображение этих функций. Значение $(q_\varepsilon + q_v)$, которое дано в графе, определялось по температуре металла после выхода из валков, т. е. по величине (графа 23 — графа 18).

В графе 21 дано охлаждение полосы излучением и конвекцией

$$\Delta t_\varepsilon + \Delta t_v = (q_\varepsilon + q_v) \times \frac{\tau_{прох} + \tau_{пауз}}{h_2} = \text{графа } 19 \times \text{графа } 20.$$

В графе 22 дана сумма всех потерь температуры = графа 18 + графа 21.

В графе 23 температура полосы перед проходом равна графе 23 — графа 22.

В графе 24 температура деформации полосы определялась по уравнению (V. 19): $t_n = t_{n-1} -$ (графа 21 + $^1/_2$ графа 18).

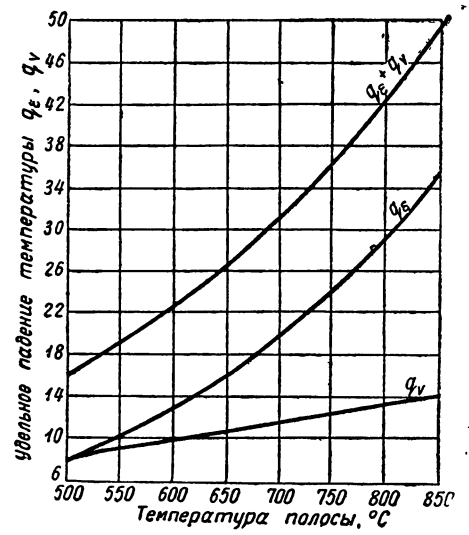


Рис. 118. Влияние температуры полос Л62 толщиной 1 *мм* на удельное падение температуры вследствие теплоизлучения q_ε и конвекции q_v в 1 сек.

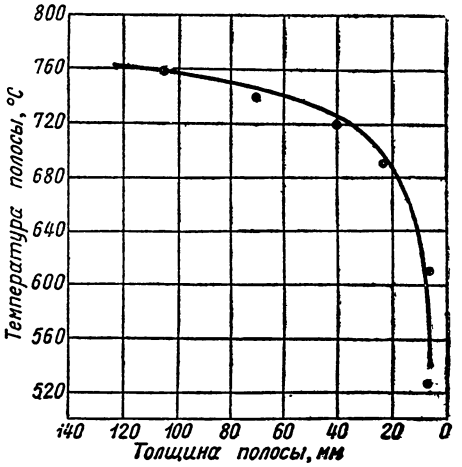


Рис. 119. Расчетная кривая охлаждения слитка латуни Л62 размерами 140×595×800 *мм* при прокатке на полосу 5.5×646×18700 *мм* в зависимости от толщины полосы. Точками показаны данные экспериментальных исследований

Табл. 31 и рис. 119 показывают хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gröber (Erk) Grigull. Wärmeübertragung. (Springer-verlag, Berlin, 1955.
2. Г. П Иванцов. К теории теплообмена прокатных валков и раскаленного металла. ЖТФ, т. VII, 1937, вып. 10.
3. М. А. Михеев. Основы теплопередачи, Госэнергоиздат, 1949.
4. A. Pomp, G. Weddige. Institut für Eisenforschund, 1937
5. И Л Перлин и И Я Рязанцев. Сборник научных трудов МИЦМЗ, № 25, Металлургиздат, 1955, стр. 397.

Раздел четвертый

ПРОИЗВОДСТВО СЛИТКОВ ИЗ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

ГЛАВА I

УСЛОВИЯ ВЕДЕНИЯ ПЛАВКИ И ПОДГОТОВКИ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

§ 1. ЗАГРУЗКА В ПЕЧИ ТВЕРДЫХ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Загрузка твердых шихтовых материалов как при тигельной плавке, так и при плавке в печах любых конструкций должна производиться с определенной высоты и с необходимой осторожностью, чтобы не повредить футеровку печей.

При загрузке индукционных печей с железным сердечником и нижними каналами порядок заполнения печей шихтовыми материалами должен иметь определенную последовательность.

При тигельной плавке, а также при плавке в электрических печах без железного сердечника следует избегать слишком плотной загрузки шихты во избежание распирания тигля металлом при нагреве и появления трещин в его стенках.

При загрузке твердого металла в печь, в которой находится ранее расплавленный металл или расплавленные флюс и шлаки, необходимо следить за тем, чтобы шихта была сухой и желательно подогретой. Несоблюдение этих условий может повлечь выплескивание металла и даже взрывы, что может причинить ожоги обслуживающему персоналу.

Загрузка шихты в печи является весьма трудоемкой операцией, поэтому необходимо механизировать этот процесс, что значительно повысит производительность и улучшит условия труда обслуживающего персонала.

На рис. 1 показан один из видов механической подачи шихты по эстакаде.

Съемный короб самоходной тележки с электрическим приводом мостовым краном подается в шихтовой отдел, загружается и вновь устанавливается на тележку. Ход тележки ограничивается двумя конечными выключателями.

Когда тележка подойдет к печи, осуществляется подъем короба и шихта через передний откидной борт сползает в лоток, из которого благодаря наличию вибратора постепенно поступает в печь.

§ 2. ВЛИЯНИЕ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА ПЕЧИ НА ЗАГРУЖАЕМЫЕ ТВЕРДЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

Атмосфера плавильной печи оказывает влияние на загружаемые для расплавления металлы и сплавы. Медь, загруженная в плавильную печь, при нагревании в окислительной атмосфере покрывается слоем окалины. Аналогичным образом ведет себя никель, который также под действием кислорода воздуха покрывается окалиной.

При малой концентрации кислорода происходит диффузия закиси никеля в никель, а у меди — соответственно диффузия закиси меди по границам зерен с последующим переходом внутрь самих зерен.

Алюминий, магний, как и сплавы на алюминиевой и магниевой основах, окисляются с поверхности при нагревании в атмосфере воздуха.

Атмосфера водяного пара и углекислого газа для твердой меди является практически нейтральной. В отличие от меди никель окисляется в атмосфере водяного пара и углекислого газа, при этом может происходить диффузия закиси никеля в никель.

Сплавы на медной основе, содержащие алюминий, магний, бериллий, цинк и кремний, легко окисляются кислородом, причем для этих сплавов водяной пар и углекислый газ являются также довольно сильными окислителями.

В условиях восстановительной атмосферы печи окиси алюминия, магния, кремния, бериллия, цинка и др. не восстанавливаются, так как упругость диссоциации их ниже упругости диссоциации водяного пара и углекислого газа, присутствующих в той или иной мере в атмосфере печи.

Атмосфера водорода и окиси углерода при нагреве меди, не содержащей закиси практически не имеет большого значения, так как растворимость этих газов в меди ограничена. При нагреве меди, содержащей закись меди, в атмосфере водорода вначале образуются пузыри, а затем трещины. Явле-

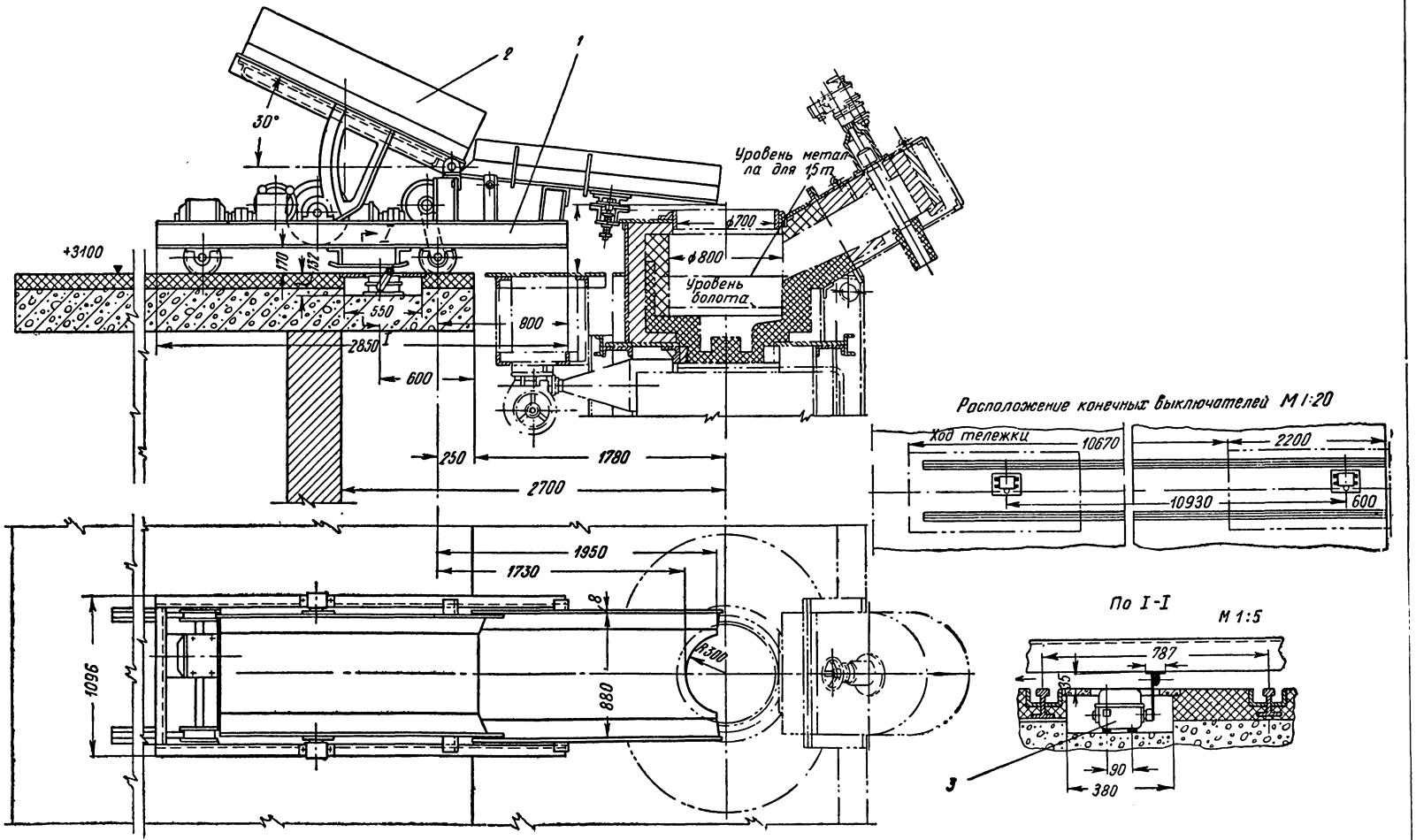


Рис. 1. Схема механизации подачи шихты в печь:
1 — тележка; *2* — короб; *3* — конечный выключатель

ние это носит название «водородной болезни».

§ 3. ВЛИЯНИЕ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА ПЕЧИ НА РАСПЛАВЛЕННЫЙ МЕТАЛЛ

В атмосфере рабочего пространства печи могут находиться следующие газы: окись углерода, углекислый газ, кислород, азот, водород, углеводороды, сернистый газ.

Газовая среда на расплавленный металл может влиять по-разному в зависимости от продолжительности воздействия газов на металл, температуры, давления, концентрации газа и характера самого сплава.

В результате химических реакций газов со сплавом могут образовываться твердые, жидкие или газообразные вещества, не растворимые в сплаве. В отдельных случаях газообразные вещества, как и продукты реакции газа с металлом, могут растворяться в сплаве. Газ может оставаться инертным как по отношению к сплаву, так и к его отдельным составным частям.

1. Медь

Азот. Атмосфера азота не оказывает вредного воздействия на расплавленную медь. Для практических целей можно считать, что азот по отношению к меди является нейтральным газом.

Кислород. Как показали исследования вопроса окисления меди в атмосфере воздуха, вначале происходит быстрое поглощение медью кислорода из воздуха, но по мере растворения закиси меди в металле дальнейшее поглощение замедляется.

Водяной пар, присутствующий в рабочем пространстве печи, не оказывает влияния как на расплавленную, так и на твердую медь.

Углекислый газ на расплавленную медь вредного влияния не оказывает, так как реакция

$$2Cu + CO_2 \rightleftarrows Cu_2O + CO$$

хотя и возможна, но в практических условиях почти не протекает.

Окись углерода для расплавленной меди, содержащей закись меди, является восстановителем:

$$Cu_2O + CO = 2Cu + CO_2,$$

или

$$2Cu_2O + C = 4Cu + CO_2.$$

В тех случаях, когда эти реакции имеют место, в слитках могут образовываться пузыри. На расплавленную медь, свободную от закиси, окись углерода вредного влияния не оказывает и слитки получаются без газовых пузырей.

Водород хорошо растворяется в меди; в расплавленной меди его растворимость значительно выше, чем в твердой. При кристаллизации расплавленной меди, насыщенной водородом, последний выделяется, вследствие чего слитки получаются пузыристыми. Как показали опыты, влияние водорода на образование пористости слитков меди имеет место при температурах от 1100 до 2180°.

При создании сравнительно небольшого вакуума над насыщенной водородом медью удается получать беспузыристые слитки даже при кристаллизации сверху. Это подтверждено опытами инж. И. Е. Горшкова.

Что касается влияния водорода на окисленную медь, то водород восстанавливает ее более энергично, чем окись углерода. Растворимость водорода в меди понижается в присутствии кислорода.

2. Никель и медноникелевые сплавы

Азот, растворенный в расплавленном никеле и медноникелевых сплавах, не оказывает вредного влияния при литье, и слитки получаются без пузырей.

Кислород. При взаимодействии никеля с кислородом образуется закись никеля, которая легко растворяется; при малых содержаниях закиси никеля образуется твердый раствор, распадающийся при понижении температуры с выделением закиси никеля.

Водяной пар весьма энергично взаимодействует с никелем, при этом образуется закись никеля и освобождается водород по реакции

$$Ni + H_2O \rightleftarrows H_2 + NiO.$$

Углекислый газ реагирует с расплавленным никелем, образуя закись никеля и окись углерода по реакции

$$Ni + CO_2 \rightleftarrows CO + NiO.$$

Окись углерода и никель при высоких температурах вступают в реакцию

$$4Ni + CO \rightleftarrows NiO + Ni_3C.$$

Присутствие в расплаве растворенной закиси никеля в ряде случаев является причиной пузыристости слитков никеля и его сплавов.

Сернистый газ взаимодействует с никелем по реакции

$$7Ni + 2SO_2 \rightleftarrows Ni_3S_2 + 4NiO.$$

При изменении условий реакция может протекать в обратном направлении (справа налево) с образованием сернистого газа. Слитки при этом будут получаться пузыристыми.

3. Сплавы на медной основе

Кислород. В большей части сплавов на медной основе (латуни, бронзы, сплавы меди с хромом, бериллием, магнием и др.) при взаимодействии с кислородом образуются окислы, которые заметно не растворяются в расплавленном металле. Эти окислы при обычной температуре плавки продолжают оставаться в твердом состоянии. Сплавы, содержащие фосфор и свинец, и некоторые сплавы меди с марганцем при окислении дают кислородные соединения в расплавленном состоянии.

Водяной пар и углекислый газ для перечисленных сплавов на медной основе являются окислителями.

Окись углерода и *азот* для этих же сплавов не являются вредными газами.

Водород в расплавленных сплавах обладает значительно большей растворимостью, чем в твердых. При кристаллизации сплава водород выделяется, образуя в слитках пузыри.

4. Алюминий и его сплавы

Кислород, взаимодействуя с расплавленным алюминием, образует окись алюминия.

Водяной пар и *углекислый газ* окисляют алюминий и его сплавы, при этом выделяются соответственно водород и окись углерода. Водород легко растворяется в сплавах. Слитки, отлитые из металла, в котором растворен водород, получаются пузыристыми. Прибавление к алюминию меди понижает растворимость водорода. Сплавы, содержащие никель и силумины, обнаруживают большую растворимость водорода.

Азот для алюминия при температурах, не превышающих 700—750°, является нейтральным газом и даже рекомендуется в качестве дегазатора.

Окись углерода при обычных температурах плавки почти не взаимодействует с расплавленным алюминием.

Сернистый газ для алюминия не является особенно вредным. Плавка алюминия при наличии в атмосфере печи сернистого газа не препятствует получению доброкачественного беспузыристого слитка.

5. Магний

Все газы печной атмосферы, содержащие кислород, реагируют с расплавленным магнием, образуя окись магния

$$2Mg + O_2 = 2MgO,$$

$$Mg + H_2O = MgO + H_2,$$

$$Mg + CO_2 = MgO + CO,$$

$$Mg + CO = MgO + C,$$

$$2Mg + SO_2 = 2MgO + S.$$

Водород растворяется в магнии, причем в расплавленном магнии растворимость его выше, чем в твердом. При отливке магния, насыщенного водородом, получаются пузыристые слитки. Для предохранения расплавленного магния от окисления часто применяется опыливание порошкообразной серой. Прибавка 0,05—0,07% бериллия резко уменьшает взаимодействие расплавленного металла с атмосферой печи. Однако в этом случае при кристаллизации структура сплава получается крупнозернистой, кроме того, высокая стоимость бериллия препятствует широкому распространению этого способа в промышленности.

§ 4. МЕТОДЫ УДАЛЕНИЯ ГАЗОВ ИЗ РАСТВОРОВ В МЕТАЛЛАХ И СПЛАВАХ

Газы из расплавленного металла можно удалять различными методами: введением в сплав твердых или жидких активных веществ (как растворимых в сплаве, так и нерастворяющихся в нем); продувкой расплавленного металла различными газами; созданием вакуума; перемешиванием металла; введением в сплав солей, так называемых очистителей, образующих инертные газы; кипячением сплава; уменьшением парциального давления газа над металлом; охлаждением металла; созданием в металле вибрационных колебаний.

В качестве примера активированного вещества, не растворимого в металле, может служить древесный уголь. Прокаленный при высокой температуре в вакууме древесный уголь, приведенный в соприкосновение с расплавленным металлом, при определенных условиях поглотит часть газа. Заменяя порции угля, насыщенного газами, новыми порциями, можно значительную часть газов удалить из печи.

Продувка инертным газом способствует освобождению расплавленного металла от растворенного в нем газа. Такой метод впервые был применен для дегазации алюминия. В качестве инертного газа использовали азот. Дегазация инертным газом применяется и для других цветных металлов и сплавов. Примером может служить дразнение печи, причем образующиеся во время дразнения углеводороды являются по отношению к сернистому газу, растворенному в металле, инертными газами.

Создание вакуума способствует удалению газа из расплавленного металла. Как показал опыт, небольшой вакуум, созданный над насыщенной водородом медью, дает возможность получить даже при кристаллизации сверху беспузыристые слитки.

Перемешивание металла может способствовать удалению газа из раствора, особенно если перемешивание соединить с созданием над металлом атмосферы, в которой парциальное давление растворимых в металле газов невелико.

Нагрев сплава до кипения способствует дегазации. При кипении латуни газы, которые находятся в растворе, удаляются.

Кроме латуни, дегазации путем кипячения могут подвергаться и другие сплавы, содержащие значительные количества кадмия, фосфора, мышьяка, а также сплавы на магниевой основе.

При плавке латуни в индукционных печах с железным сердечником дегазация достигается в результате продолжительной пульсации металла в нагревательном канале и прохождении паров цинка через расплавленный сплав.

1. Метод введения очистителей

Очистители применяются для освобождения алюминиевых сплавов от растворенных в них газов и от взвешенных неметалличе-

ских включений, главным образом твердых частичек глинозема.

В качестве очистителей применяются преимущественно различные хлористые соли. Образующийся в результате реакции с солью хлористый алюминий, обладая значительной упругостью пара, удаляется из металла.

Для получения плотных слитков рекомендуется также непродолжительное выдерживание жидкого металла, перемешивание его, а также дополнительная продувка инертным газом.

Применение для дегазации серы, селена и теллура хороших результатов не дает.

§ 5. ПОДГОТОВКА ШИХТЫ

Для приготовления сплавов могут быть использованы следующие шихтовые материалы: первичные металлы, отходы собственного производства, лигатуры, отходы и лом, поступающие со стороны, вторичные металлы и сплавы.

Первичные и вторичные металлы и сплавы обычно поставляются в виде чушек; медь и никель большей частью поступают в виде катодных листов. Химический состав и основные условия поставки устанавливаются соответствующими ГОСТами и техническими условиями.

Отходы собственного производства, образующиеся в литейных и обрабатывающих цехах, следует собирать строго по маркам металлов и сплавов. Стружку из цветных металлов и сплавов, загрязненную влагой, эмульсией, железом и другими примесями, предварительно очищают на центрифугах, сушат и подвергают магнитной сепарации и брикетированию. При переплавке брикетированной стружки угар металла уменьшается и значительно сокращается время загрузки и продолжительность плавки.

Стружку обычно брикетируют на гидравлических или механических прессах с рабочим давлением 200—250 *кг/см*^{2}. Плотность брикетов составляет 60—75% от плотности литого металла. Размеры брикета: диаметр 80—150 *мм*, высота 50—150 *мм*.

Отходы тонких листов, лент и мелких труб пакетируют на гидравлических пакет-прессах. Размер загрузочной камеры пресса 1000×800×600 *мм*. Вес пакета 25—35 *кг* для алюминиевых и 40—50 *кг* для медных отходов.

Особое внимание должно быть обращено на защиту шихтовых материалов от снега и влаги. Обледенелую и увлажненную шихту загружать в печь категорически запрещается, иначе может произойти взрыв и расплавленный металл будет выброшен из печи.

§ 6. РАСЧЕТ ШИХТЫ

Для получения сплава заданного химического состава при расчете шихты необходимо иметь данные о химическом составе исходных шихтовых материалов и величине потерь металлов в процессе приготовления сплавов (угар).

Расчет шихты ведут по среднему химическому составу сплава или по оптимальному составу, при котором сплав имеет наилучшие технологические и эксплуатационные свойства.

Величину угара для каждого металла и сплава устанавливают практически, в зависимости от конструкции печи. В табл. 1 приведены данные о угаре металлов при плавке алюминиевых, медных и магниевых сплавов.

Таблица 1

Угар металлов при плавке алюминиевых, медных и магниевых сплавов, %

Сплавы	Al	Cu	Zn	Si	Mg	Mn	Sn	Ni	Pb	Be	Ti	Zr
Алюминиевые	1,0—5,0	0,5—1,5	1—3	1—10	2—4	0,5—2	—	0,5—1	—	—	10—20	—
Медные	2—3	1—1,5	2—5	4—8	—	2—3	1,5	1,2	1—2	10—15	30	3—10
Магниевые	2—3	—	2	1—10	3—5	10	—	—	—	10—20	—	3—5

Для отливки слитков различные виды материалов шихтуют в том или ином сочетании:

1) шихта, состоящая только из первичных металлов;

2) шихта, состоящая из первичных металлов, первичных или вторичных сплавов и лигатур;

3) шихта, состоящая из отходов производства с применением первичных металлов и лигатур;

4) шихта, состоящая только из возврата заданного сплава.

Наиболее часто в практике составления шихты при производстве слитков в качестве шихтовых материалов используют первичные металлы, собственные отходы и привозные лома.

Химический состав шихтовых материалов и допустимые примеси в них устанавливаются в соответствии с требованиями ГОСТа или технических условий.

Ниже приведены примерные расчеты шихты на заданные сплавы, а также расчет шихты при переходе с одного сплава на другой.

1. Расчет шихты на сплав марки ЛС59-1

Состав сплава: 57—60% Cu, 0,8—1,9% Pb, сумма примесей 0,75% (из них 0,5% Fe), остальное Zn.

Исходные материалы: отходы сплава ЛС59-1 (30%), вторичный лом латунный, цинк и свинец.

Садка 650 *кг* должна содержать 375,7 *кг* меди из расчета содержания ее 57,8%, 7,55 *кг* свинца из расчета 1,16% и цинка остальное. Все данные, полученные в результате расчета, сведены в табл. 2.

2. Расчет шихты на сплав бронзы марки Бр.АЖМц 10-3-1,5

Состав сплава: 2—4% Fe, 1—2% Mn, 9—11% Al, остальное Cu.

Исходные материалы: отходы сплава Бр.АЖМц10-3-1,5 принимаем 30%, т. е. 225 *кг*. Присадка недостающего количества элементов производится в виде лигатур. Железо вводится в сплав в виде тройной лигатуры состава 15—20% Fe (в среднем 18%), 9—11% Al, (в среднем 10%), 76—69% Cu (в среднем 72%). Марганец вво-

Расчет шихты Таблица 2

Наименование составных частей шихты	Общее количество, *кг*	Содержание по элементам, *кг*		Примечание
		Cu	Pb	
Отходы сплава ЛС59-1	195	114,1	2,34	Количество меди определено из расчета содержания ее в отходах ЛС59-1 около 58,5%; количество свинца—из расчета содержания его в отходах ЛС59-1 в среднем 1,2%
Вторичный лом, группа II, сорт 2	412	261,6	0,82	Количество меди определено по разности между общим ее содержанием и содержанием в отходах, количество свинца из расчета 0,2%. Общее количество вторичного лома определено из расчета содержания в нем меди 63,5%
Свинец	4,0	—	4,0	Количество добавляемого свинца определено по разности между общим его количеством и количеством свинца, содержащимся в отходах, ломе и цинке
Цинк	39	—	0,39	Количество цинка определено по разности между общим весом садки и весом остальных составляющих шихты
Всего . .	650	375,7	7,55	

Расчет шихты Таблица 3

Наименование составных частей шихты	Общее количество *кг*	Содержание по элементам, *кг*			
		Cu	Fe	Mn	Al
Отходы сплава Бр.АЖМц 10-3-1,5	225	192,38	6,75	3,37	22,5
Лигатура	87,5	63	15,75	—	8,75
	34,0	26,18	—	7,82	—
	95	47,5	—	—	47,5
Катодная медь	308,5	308,5	—	—	—
Всего	750	637,56	22,50	11,19	78,75

Примечание. Количество основных элементов в отходах определяется в соответствии со средним составом сплава. Аналогичным образом определяется состав всей садки по элементам. Железо, необходимое для подшихтовки, определяется по разности (22,5—6,75). При содержании его 18% определяем количество лигатуры. Содержание алюминия в лигатуре 10%, медь определяется по разности. Таким же образом определяется необходимое количество марганца и лигатуры Cu-Mn, количество алюминия и лигатуры Cu-Al, а также необходимое для подшихтовки количество катодной меди.

дится в виде лигатуры: 22—25% Mn, остальное Cu. Алюминий вводится в виде лигатуры: 50% Al, 50% Cu. Остальная шихта состоит из свежих металлов.

Садка 750 *кг*. Данные, полученные в результате расчета, сведены в табл. 3.

3. Расчет шихты на сплав латуни марки ЛЖМц59-1-1

Состав латуни: 57—60% Cu, 0,5—0,8% Mn, 0,3—0,7% Sn, 0,6—1,2% Fe, 0,1—0,4% Al.

Садка 650 *кг*.

Расчетный состав принимаем: 57,8% Cu, 0,65% Mn, 0,5% Sn, 0.8% Fe, 0,2% Al.

Присадка недостающего количества элементов производится в виде лигатур. Так, например, марганец добавляется в виде 23%-ной лигатуры с медью; железо в виде 10%-ной лигатуры с медью, алюминий в виде 50%-ной лигатуры медь-алюминий. Подсчитав количество вводимой меди, находящейся в отходах и лигатурах, определяем необходимое дополнительное количество, которое вводится в виде катодной меди. Из общего веса садки (650 *кг*) вычитаем сумму отходов, лигатур и катодной меди. Полученная разность определит, какое количество цинка должно быть присажено в шихту. В нашем случае эта разность составит

$$650 - (200 + 200 + 13{,}0 + 4{,}5 + 36{,}0 + 1{,}8 + 78{,}14) = 116{,}56.$$

Данные, полученные в результате расчета, сведены в табл. 4.

4. Расчет шихты при переходе с одного сплава на другой

Прежде всего необходимо определить количество металла, оставшегося в индукционной печи, так называемого болота. С этой целью отбирают две пробы: первая проба остаточного металла после химического анализа показывает допустимое содержание меди 62,5%. Затем в печь добавляют 100,0 *кг* меди, отбирают вторую пробу, которую также подвергают химическому анализу.

Предположим, что содержание меди во второй пробе 70%. Количество остаточного металла x определяется из соотношения

$$\frac{(0{,}625x + 100)}{(x + 100)} = 0{,}7;$$

$$0{,}625x + 100 = 0{,}7x + 70;$$

$$0{,}7x - 0{,}625x = 100 - 70 = 30;$$

$$x = 30 : 0{,}075 = 400 \text{ кг}.$$

Таким образом, по двум пробам можно точно определить остаток жидкого металла в печи.

Определив количество остаточного жидкого металла в печи, можно точно рассчитать переходную плавку. Допустим, что остаточный металл в печи представляет собой сплав марки Л62 и количество его определено в 400 *кг*. Печь требуется перевести на изготовление сплава марки Л68. Тогда содержание меди в болоте печи должно быть доведено до 68%. Составляем уравнение:

$$0{,}625x + y = 68,$$

$$x + y = 100.$$

Решая его, получим

$$0{,}375x = 32; \quad x = 85{,}3; \quad y = 14{,}7.$$

Следовательно, на каждые 85,3 *кг* остаточного сплава марки Л62 надо добавить 14,7 *кг* меди, чтобы получить сплав с содер-

Расчет шихты Таблица 4

Наименование составных частей шихты	Общее количество *кг*	Содержание по элементам *кг*				
		Cu	Sn	Fe	Mn	Al
Отходы сплава ЛЖМц59-1-1	200	117,0	1,0	1,6	1,3	0,4
Лом сплава Л62 пакетированный	200	135,0	—	—	—	—
Лигатура:						
23% (Cu + Mn)	13,0	10,01	—	—	2,99	—
50% (Cu + Sn)	4,5	2,25	2,25	—	—	—
10% (Cu + Fe)	36,0	32,4	—	3,6	—	—
50% (Cu + Al)	1,8	0,9	—	—	—	0,9
Катодная медь	78,14	78,14	—	—	—	—
Цинк	116,56	—	—	—	—	—
Всего	650,0	375,7	3,25	5,2	4,29	1,3

В соответствии с принятым расчетным составом определяем состав шихты по элементам: 375,7 *кг* Cu, 3,25 *кг* Sn, 5.2 *кг* Fe, 4,29 *кг* Mn, 1,3 *кг* Al. Принимаем, что в состав шихты входит 200 *кг* отходов сплава ЛЖМц59-1-1 и 200 *кг* лома Л62. Определяем количество отдельных элементов в упомянутых отходах.

Таблица 5

Химический состав лигатур и температура их плавления

Лигатура	Условная марка	Химический состав, %									Температура плавления °С
		Al	Cu	Ni	Si	Mn	Fe, Cr, P	Mg, Be	Ti, Sn, Cd	Sb, Pb	
Алюминиевомедная	АМ50	50	50	—	—	—	—	—	—	—	580
	АМ33	67	33	—	—	—	—	—	—	—	548
	АМ60	40	60	—	—	—	—	—	—	—	648
Алюминиевоникелевая	АН20	80	—	20	—	—	—	—	—	—	780
Алюминиевомедноникелевая	АМН	50	10	40	—	—	—	—	—	—	670
Алюминиевокремниевая	АК15	85	—	—	15	—	—	—	—	—	640
	АК25	75	—	—	25	—	—	—	—	—	750
	АК60	50	—	—	50	—	—	—	—	—	1090
Алюминиевокремниевомарганцевая	АКМц	83	—	—	10	7	—	—	—	—	—
Алюминиевомарганцевая	АМц10	90	—	—	—	10	—	—	—	—	780
	АМц20	80	—	—	—	20	—	—	—	—	920
Алюминиевомедномарганцевая	АММц	50	40	—	—	10	—	—	—	—	650
Алюминиевожелезная	АЖ10	90	—	—	—	—	Fe 10	—	—	—	830
	АЖ20	80	—	—	—	—	Fe 20	—	—	—	1020
Алюминиевомедножелезная	АМЖ	70	20	—	—	—	Fe 10	—	—	—	830
Алюминиевомагниевая	АМг10	90	—	—	—	—	—	Mg 10	—	—	600
Алюминиевомагниевомарганцевая	АМгМц	70	—	—	—	10	—	Mg 20	—	—	580
Алюминиевобериллиевая	АБ	97	—	—	—	—	—	Be 3	—	—	800
Алюминиевотитановая	АТ	96	—	—	—	—	—	—	Ti 4	—	1100

Продолжение табл. 5

Лигатура	Условная марка	Химический состав, %									Температура плавления °С
		Al	Cu	Ni	Si	Mn	Fe, Cr, P	Mg, Be	Ti, Sn, Cd	Sb, Pb	
Алюминиевомеднотитановая	АМТ	83	14	—	—	—	—	—	Ti 3	—	650
Алюминиевомагниевотитановая	АМгТ	79	—	—	—	—	—	Mg 18	Ti 3	—	—
Магниевомарганцевая	МгМу	—	—	—	—	10	—	Mg 90	—	—	780
Медномарганцевая	ММц	—	73	—	—	27	—	—	—	—	860*
Медноберилиевая	МБ	—	93—85	—	—	—	—	Be 7—15	—	—	900
Медножелезная	МЖ	—	90—95	—	—	—	Fe 5—10	—	—	—	1450
Меднокадмиевая	МКд	—	72	—	—	—	—	—	Cd 28	—	900
Медноловянная	МО	—	50	—	—	—	—	—	Sn 50	—	780
Медноникелевая	МН	—	67—85	15—33	—	—	—	—	—	Pb 0,1—7	1050—1250
Медносурьмяная	МСу	—	50	—	—	—	—	—	—	Sb 50	680
Оловяннониклевосурьмяная	ОНСу	—	—	10	—	—	—	—	Sn 60	Sb 30	—
Медифосфористая	МФ1 и МФ2	—	91,5—90	—	—	—	P 8,5—10	—	—	—	} 900—1020
	МФ3	—	93—91,5	—	—	—	P 7—8,5	—	—	—	
Меднохромовая	МС	—	96,5—98	—	—	—	Cr 2—3,5	—	—	—	1450—1600 температура перед розливом

* Температура металла перед розливом 1100—1130°.

жанием меди 68%. Так как количество остатка металла в печи было определено в 400 *кг*, вся добавка меди составит

$$(400 : 85{,}3) \times 14{,}7 = 68{,}8 \text{ кг}.$$

После введения в печь 68,8 *кг* меди содержание ее в болоте составит

$$\frac{(400 \times 0{,}625) + 68{,}8}{400 + 68{,}8} \times 100 = 68\%.$$

§ 7. ЛИГАТУРЫ

При изготовлении сплавов цветных металлов в ряде случаев применяются промежуточные сплавы — лигатуры. В тех случаях, когда непосредственным сплавлением трудно получить сплав определенного химического состава, применение лигатур может с достаточной точностью обеспечить требуемое содержание заданного компонента.

Для удобства дробления лигатур при навешивании желательно, чтобы они обладали свойством хрупкости.

При приготовлении сплавов применяются двойные, тройные и четверные лигатуры. Химический состав и температуры плавления лигатур, применяемых наиболее часто при изготовлении слитков из сплавов цветных металлов, приведены в табл 5.

Требования однородности слитка, неизменности состава и коррозионной стойкости, предъявляемые к лигатурам, могут быть выполнены при определенном режиме плавки. Как пример приведен метод изготовления лигатуры медь-хром. Лигатуру медь-хром плавят в индукционной печи с каналом определенного сечения и заданным числом витков первичной катушки. Подовый камень изготовляют из смеси основного огнеупора с добавками минерализаторов (хромомагнезита 97%; буры 2%; оконного стекла 1%). Печь сушат в течение 10 час. Размораживание печи производят по определенному режиму.

Перед введением хрома необходимо с поверхности металла тщательно снять уголь и навести шлак следующего состава: битое стекло 50%, сода 25%, криолит 25%. Криолит может быть заменен бокситом в том же количестве.

Хром, измельченный до величины кусков 25—40 *мм* и завернутый в медную фольгу пакетами весом 3,0—3,5 *кг*, вводят в канал печи отдельными порциями (по одному пакету) и нагревают в течение 5—7 мин.

Во время расплавления хрома вся поверхность металла должна быть покрыта шлаком. Нагрев и плавление хрома в каналах следует производить до появления белых паров хрома.

После расплавления первой порции хрома вводят два-три хорошо подогретых медных листа, затем вводят вторую порцию хрома, которую прогревают 5—6 мин. и снова добавляют два-три листа меди. В таком порядке необходимо вести расплавление всей навески хрома, состоящей из 5—7 пакетов.

После расплавления хрома загружают в печь оставшуюся прогретую медь так, чтобы она не зависала на стенках шахты печи и не запутывалась в шлаке. Совершенно не допускается размешивание металла и оголение его поверхности.

Осаживание шихты следует производить весьма аккуратно, чтобы металл попадал только в каналы и был закрыт шлаком.

После загрузки всей меди дополнительно нагревают металл в течение 3—4 мин. Разливку лигатуры производят в чугунные горизонтальные изложницы в слитки толщиной 25—30 *мм*. Температура сплава должна быть в пределах 1450—1600°. Перед литьем шлак не снимают, а у самой летки разделывают небольшое отверстие.

При изготовлении тройной лигатуры медь-железо-алюминий используются отходы железные, биметаллические и алюминиевые, а также отходы сплавов БрАЖМц 10-3-1,5, Бр.А5, Бр. А7, лома меди I группы 1-го сорта. Плавку производят в индукционных печах с кварцевой футеровкой. Температура металла перед разливом 1200—1300°.

Для лигатур медь-марганец температура металла перед разливом должна быть 1100—1130°.

Отливку слитков лигатуры производят в чугунные горизонтальные изложницы, предварительно нагретые до 70—150°. Рабочую поверхность изложниц посыпают магнезитовым или кварцевым порошком.

ГЛАВА II

ПЛАВИЛЬНЫЕ ПЕЧИ

Цветные металлы и сплавы при изготовлении слитков плавят в печах различных конструкций: тигельных, отражательных, электрических печах сопротивления и в индукционных. Тигельные и отражательные печи могут работать на твердом, жидком или газообразном топливе; иногда применяются также электрические тигельные печи, большей частью в небольших литейных, где, наряду с фасонным литьем, отливаются слитки.

Большое распространение получили тигельные горны, отапливаемые мазутом. Печи эти строят одно тигельными, а также двух- и трехтигельными. Тигельные печи, отапливаемые газовым топливом, по своему устройству аналогичны нефтяным.

При производстве слитков из оловянных, свинцовых, цинковых и магниевых сплавов применяют также котлы или тигли, выполненные из металла. Для изготовления их выбирают чугун, наименее склонный при нагреве к росту.

При изготовлении магниевых сплавов в качестве материала для котлов и тиглей берут мягкую сталь, так как железо мало растворимо в расплавленном магнии.

При плавке в котлах к виду топлива не предъявляют каких-либо особых требований, так как в котловых печах металл не соприкасается с продуктами горения топлива.

§ 1. ОТРАЖАТЕЛЬНЫЕ ПЕЧИ

При плавке цветных металлов и сплавов следует обращать внимание на атмосферу в рабочем пространстве печи. Принято различать окислительную, нейтральную и восстановительную атмосферу. Восстановительной атмосферой считают, такую, в которой имеются несгоревшие части топлива, пламя непрозрачное. Окислительная атмосфера, имеющая в продуктах горения избыток кислорода, отличается вполне прозрачным пламенем. Нейтральное пламя имеет промежуточный характер: оно тоже достаточно прозрачно, но отличается от окислительного пламени присутствием отдельных струек или искр светящегося пламени.

Отражательные печи применяют при производстве слитков из меди, алюминия и легкоплавких сплавов.

Профиль ванны отражательной печи выбирают в зависимости от режима плавки. При интенсивном быстром нагреве металла отношение среднего поперечника зеркала ванны к глубине доходит иногда до 15. В тех случаях, когда не требуется большой скорости нагрева, отношение поперечника зеркала ванны к глубине снижается до 3.

В отражательных печах, предназначенных для плавки цветных металлов при производстве слитков, в качестве топлива используют жидкое или газообразное горючее. Иногда применяют твердое топливо при изготовлении слитков из цинка, свинца и других легкоплавких металлов и сплавов.

На рис. 2 дан общий вид отражательной 10-*т* печи для плавки меди и вторичных металлов, техническая характеристика которой приведена ниже:

Производительность печи, *т/сутки*	40
Емкость ванны, *т*	10
Площадь зеркала ванны, *м*²	5,76
Температура выпускаемого металла, °С	1250
Расход мазута (средний на плавку), *кг/час*	171
Расход воздуха, *м*³/*сек*	0,62
Коэффициент избытка воздуха α в периоды:	
загрузки и плавления	1,05
перегрева металла	1,05
восстановления	0,9
разливки	0,9
Температура подогрева воздуха, °С	300

Для переплавки алюминиевых отходов и приготовления из них сплавов часто применяются отражательные печи, работающие на газообразном топливе, большей частью на генераторном газе. В этих печах плавку ведут под слоем защитных флюсов; рафинирование жидкого металла осуществляют хлорированием или обработкой его хлористыми солями.

§ 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЕЧИ

При производстве заготовительного литья из цветных металлов и сплавов применяются различные категории электрических плавильных печей.

1. Дуговые печи

Для производства слитков применяются печи только с непрямым нагревом, причем количество таких установок невелико. Эти печи обычно имеют вид барабана; электрическая дуга образуется между графитовыми или угольными электродами на некотором расстоянии от поверхности металла. Характеристики дуговых печей емкостью от 100 *кг* до 1 *т*, выпускаемых отечественной промышленностью, даны в табл. 6.

2. Индукционные печи с железным сердечником

Наибольшее применение в производстве слитков из цветных металлов получили индукционные печи с железным сердечником.

Классификация печей, применяемых при производстве слитков

А. По числу фаз

1. Однофазные печи (рис. 3) для сплавов на медной основе обычно емкостью 600 *кг* под маркой ИЛО мощностью до 200 *квт*, производительностью до 20 *т/сутки*.

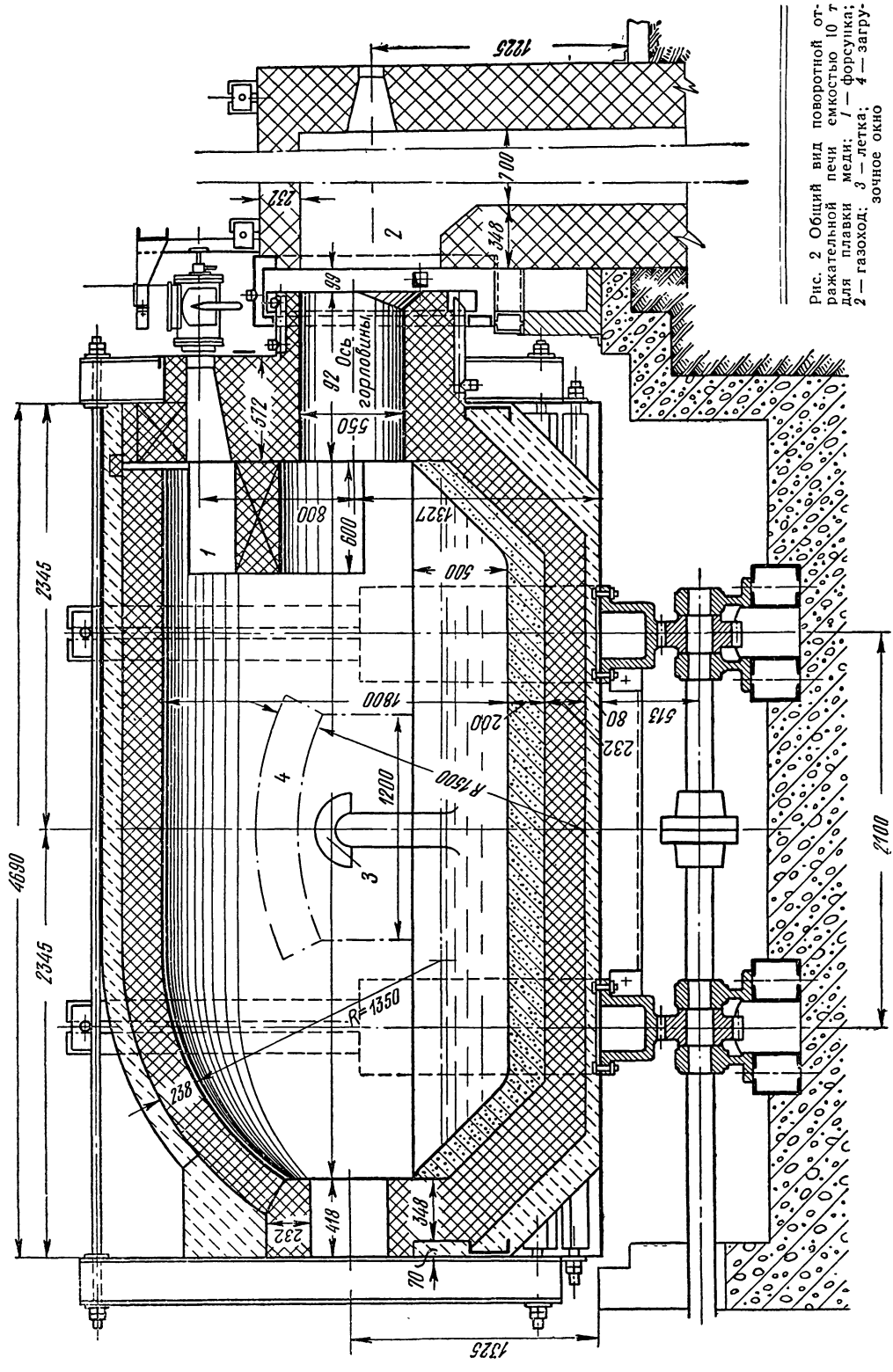


Рис. 2 Общий вид поворотной отражательной печи емкостью 10 т для плавки меди: *1* — форсунка; *2* — газоход; *3* — летка; *4* — загрузочное окно

Таблица 6

Характеристики дуговых печей ДМК

Наименование	ДМК-0,1	ДМК-0,25	ДМК-0,5	ДМК-1
Емкость печи, *кг*	100	250	500	1000
Допускаемая перегрузка, %	50	20	20	20
Мощность трансформатора, *ква*	125	175	250	400
Напряжение низкой стороны, *в*	100	100	110	110
Максимальная сила тока низкой стороны, *а*	1250	1750	2300	3640
Диаметр графитового электрода, *мм*	75	75	100	150
Размеры плавильного пространства, *мм*	480×600	500×840	700×1100	830×1140
Глубина ванны, *мм*	120	150	190	235
Продолжительность расплавления, мин.	30—40	35—45	40—50	60
Расход энергии на расплавление (на 1 *т* твердой завалки) при круглосуточной работе, *квт-ч*	425	325	300	290
Часовая производительность при круглосуточной работе, *кг*	125	250	450	700
Средняя продолжительность службы футеровки (количество плавок)	300	400	500	500
Расход электродов на 1 *т* металла, *кг*	До 3,5	3,5	3,5	3,0
Расход воды, *м³/час*	2,0	2,5	3,0	5,0
Ход электродов, *мм*	375	375	590	650
Размер загрузочного окна, *мм*	270×220	270×220	400×250	360×270
Вес металлической конструкции, *кг*	1200	1250	1800	2420
Площадь печи в плане, *мм²*	2940×1400	3180×1400	3970×1650	4520×1800
Наибольшая высота над полом, *мм*	1400	1400	1505	1620
Вес печи с футеровкой, *кг*	—	2260	2600	—

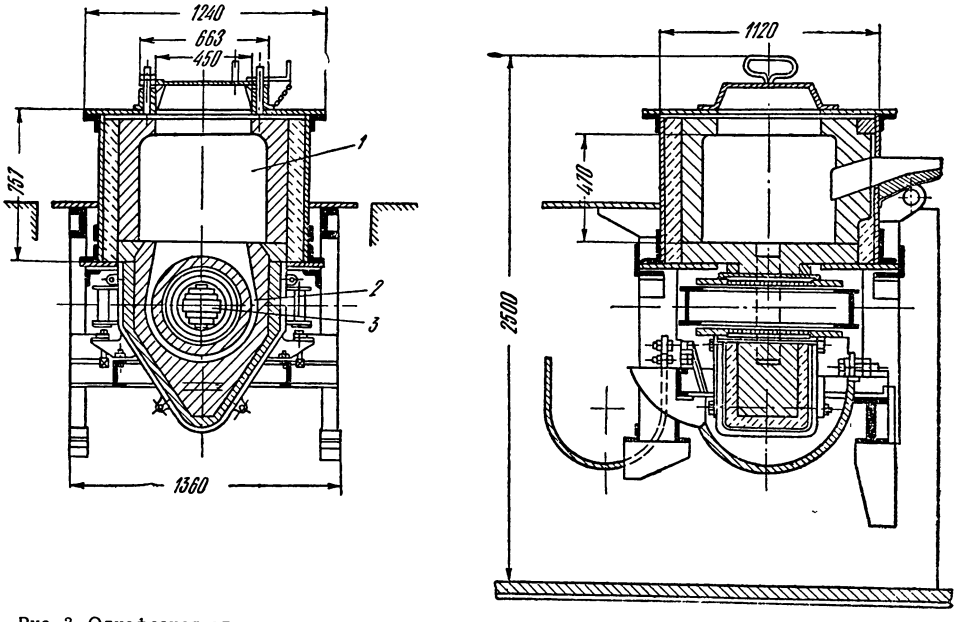


Рис. 3. Однофазная одноканальная печь для плавки сплавов на медной основе емкостью 600 *кг*: *1* — рабочая камера; *2* — канал; *3* — сердечник

2. Двухфазные печи мощностью до 370 *квт*, производительностью до 30 *т/сутки*.

3. Трехфазные печи мощностью до 900 *квт*, производительностью свыше 60 *т/сутки*

4. Сдвоенные трехфазные печи (шестифазные).

Число фаз определяется мощностью или объемом печи. Для печей малой мощности (до 240 *квт*) обычно применяют однофазную систему, причем общие нагрузки по фазам выравнивают за счет установки группы печей. При мощности от 240 до 350 *квт* — двухфазные, выше 350 *квт* — трехфазные печи.

Б. По количеству плавильных каналов

1. Одноканальные печи — с одним каналом на каждую фазу.

2. Двухканальные печи — с двумя каналами на каждую фазу.

Преимуществами двухканальных печей являются:

1) меньшая реактивность печи, что способствует повышению коэффициента мощности печи и уменьшению потерь в первичной обмотке;

2) более спокойная циркуляция и меньший перегрев металла в канале.

Недостатком двухканальных печей является меньшая стойкость подового камня.

Для плавки никелевых сплавов применять двухканальные печи нецелесообразно.

В. По виду плавильного канала

1. Печи с закрытым каналом: а) вертикальным, б) горизонтальным.

2. Печи с открытым каналом.

Печи с закрытым каналом имеют следующие преимущества:

1) зеркало ванны расплавленного металла не перегревается, что уменьшает тепловые потери и окисление металла;

2) металл в канале находится под давлением вышележащего расплава, что предотвращает разрыв металла в канале при значительной силе тока.

Наибольшее распространение получили вертикальные каналы с более интенсивной циркуляцией металла. Открытые каналы применяются только при плавке алюминия, так как в этом случае очистка каналов более удобна. Однако при плавке алюминия в печах с закрытым каналом окисление металла и загрязнение канала глиноземом меньше, чем в печах с открытым каналом.

Г. По форме канала

1. Печи с кольцевыми каналами (см. рис. 3).

2. Печи с V-образными (треугольными) каналами (рис. 4).

3. Печи с прямоугольными каналами, применяемые преимущественно для плавки алюминия (рис. 5).

Кольцевая форма канала является наиболее выгодной, обладает рядом преимуществ, вследствие чего и получила наибольшее распространение.

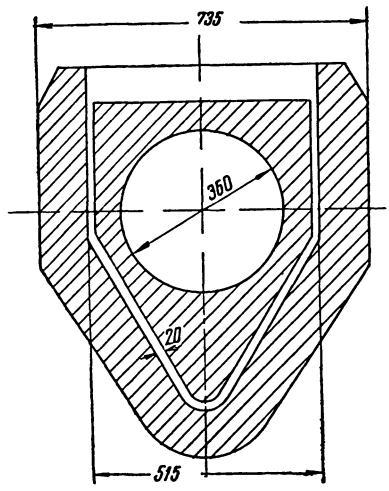


Рис. 4. Подовый камень индукционной печи с V-образным треугольным каналом

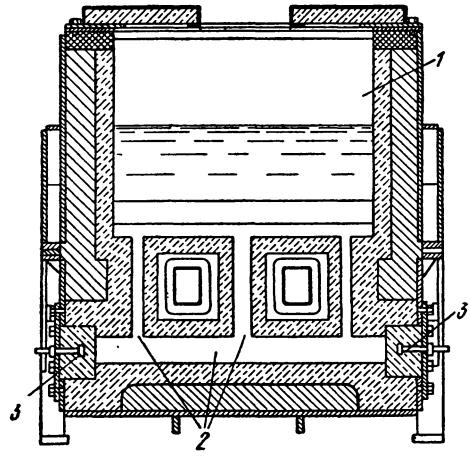


Рис. 5 Печь с прямоугольными каналами: *1* — рабочая камера; *2* — каналы; *3* — пробки

Определение основных характеристик индукционной печи

Емкость печи

Минимальная емкость печи B должна соответствовать общему весу одновременно отливаемых слитков или емкости миксера:

$$B = \frac{gnk_б}{k},$$

где g — вес слитка, *т*;

n — количество слитков, отливаемых одновременно;

$k_б$ — коэффициент, учитывающий болото;

k — коэффициент выхода слитков из шихты (около 0,96).

Значения коэффициента болота для печей емкостью, *кг*:

До 1000	1,6—1,7
2000	1,4—1,6
Более 2000	1,3—1,4

При сливе металла в миксер

$$B = \frac{B_1 n k_6}{k},$$

где B_1 — емкость миксера;
n — количество миксеров, заливаемых при каждой плавке.

Мощность печи

Мощность печи может быть рассчитана по тепловому балансу с помощью формулы

$$P = \frac{Mc \cdot 10^3}{86{,}0t\,\eta}\ \textit{квт},$$

где M — суточная производительность, *т*;
c — теплосодержание расплавленного металла, *ккал/кг*;
t — время работы печи под током в сутки, час.;
η — общий к. п. д. печи.

Мощность печи можно рассчитать и другим способом, используя данные об удельном расходе энергии при плавке различных металлов в индукционных печах:

$$P = \frac{MA}{24 - \left(\frac{M}{v} + 0{,}02\frac{M}{g}\right)}\ \textit{квт},$$

где M — суточная производительность, *т*;
A — удельный расход энергии, *квт-ч/т*;
v — скорость разливки, *т/час*;
g — вес слитка, *т*.

Скорость разливки может быть принята по табл. 7.

На рис. 6 и 7 показана трехфазная индукционная печь, применяемая для плавки сплавов из тяжелых цветных металлов. Печь емкостью 1,25 *т* и мощностью 1000 *ква*

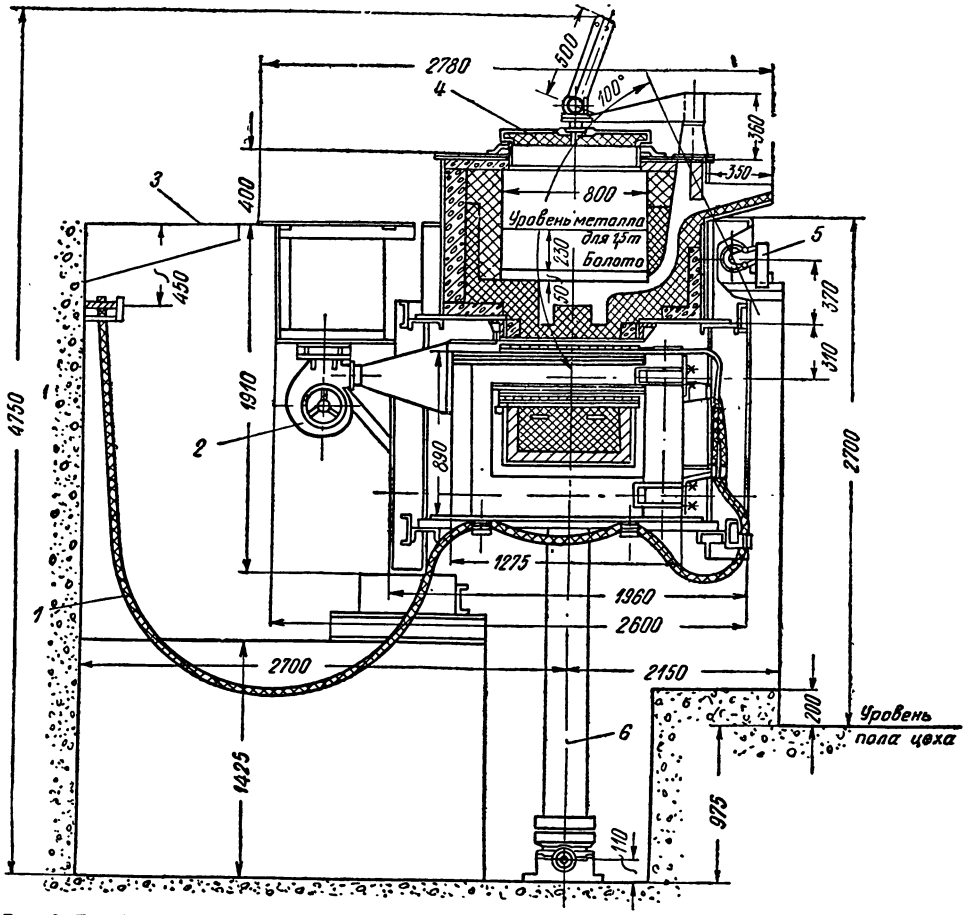


Рис. 6. Трехфазная индукционная печь емкостью 1,25 *т* и мощностью 1000 *ква* для плавки цветных металлов:

1 — токоподвод; *2* — установка вентиляторов; *3* — рабочая площадка; *4* — крышка; *5* — концевые выключатели; *6* — плунжер

Таблица 7

Значение скоростей разливки

Наименование сплава и характер отливки	Скорость разливки *т/час*
Для сплавов на медной основе:	
при отливке в слитки .	6,0—9,0
при отливке в ковш или в миксер	8,0—12,0
Для сплавов на алюминиевой основе.	
при отливке в слитки .	4,0—7,0
при отливке в ковш или миксер	10,0—16,0

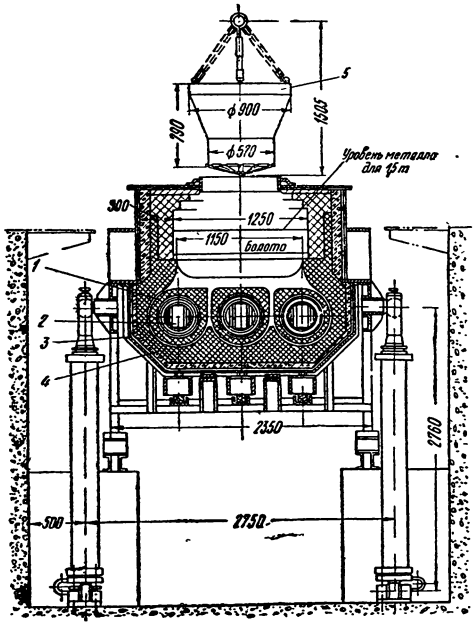


Рис. 7. Трехфазная индукционная печь для плавки цветных металлов:

выключателями, установленными на оси печи. Первый конечный выключатель производит ограничение при наклоне печи на 30° (для слива плавки), а второй — при наклоне печи на 100° (для слива всего жидкого металла при переходе на другой сплав или для остановки печи на ремонт).

Индукционные канальные печи применяют и для плавки алюминия и сплавов на его основе. Однако особенность плавки алюминия, а именно осаждение глинозема в плавильном канале и последующее зарастание его, потребовало увеличить сечение канала и обеспечить возможность механической его очистки.

Для механической очистки вертикальных каналов применяют шарнирные цепи; весьма удобны для этой цели специальные пробки, которые располагаются в нижних точках канала (см. рис. 5).

Коэффициент мощности (cos φ) печей для плавки алюминия невысок и обычно колеблется в пределах 0,35—0,40. Необходи-

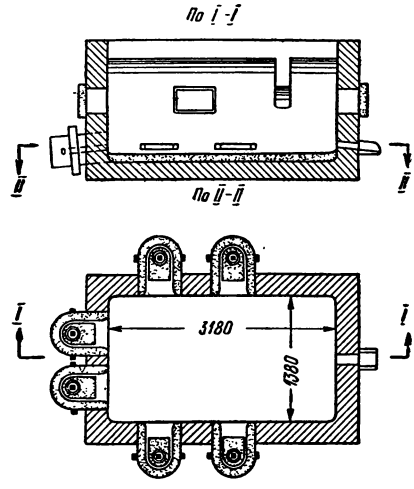


Рис 8 Электрическая индукционная печь для плавки цинка емкостью 20 *т* и мощностью 540 *квт*

1 — индуктор; *2* — магнитопровод; *3*—кожух; *4* — футеровка; *5* — загрузочная корзина

имеет три отдельных независимых магнитопровода с отъемными ярмами и на каждую фазу два параллельных канала сечением 22 × 90 *мм*.

На стержень магнитопровода, охватываемый каналами печи, насажен индуктор, выполненный из медной профилированной трубки и охлаждаемый проточной водой. Плавильная ванна выложена из диатомитового и шамотного кирпича.

Для охлаждения футеровки в той части, где находятся каналы печь снабжена вентиляционными установками. Наклон печи осуществляется двумя гидравлическими плунжерами и ограничивается конечными

мо, следовательно, искусственно повысить cos φ путем установки конденсаторных батарей.

По сравнению с отражательными печами сопротивления индукционные печи имеют ряд преимуществ при плавке алюминия: угар металла вдвое меньше, ниже затраты на ремонт и отсутствует расход ценных сплавов на нагреватели.

Электрические индукционные печи для переплавки цинковых катодов и отливки слитков строятся емкостью до 20 *т*. Плавильные каналы печи расположены горизонтально (рис. 8). Летка находится на торцовой стороне печи, свободной от плавильных

каналов. Характеристика одной из таких печей приведена ниже:

Емкость печи, *т*	До 20
Мощность печи, *квт*	540
Чис. о первичных катушек, шт	6
Мощность одной катушки, *квт*	90
Суточная производительность, *т*	100
Уде. ьный расход энергии, *квт-ч т*	120—130
Коэффициент мощности	0,7
Форма ванны — прямоугольная	(3180×1380 *мм*)

3. Индукционные печи без сердечника

При производстве слитков из никеля, сплавов на никелевой основе, а также сплавов, содержащих ванадий, вольфрам и другие добавки, довольно широко применяются индукционные печи без сердечника. К преимуществам этих печей следует отнести:

1. Чистоту получаемого сплава вследствие отсутствия источников загрязнения. Более совершенные условия нагрева уменьшают окисление ванны. Металл, выплавленный в такой печи, содержит мало неметаллических включений.

2. Перемешивание металла в процессе плавки благодаря электродинамическим усилиям способствует получению однородных сплавов с равномерным химическим составом

3. Небольшой угар, что особенно важно при плавке цветных металлов (угар никеля, хрома, вольфрама и ванадия в два раза ниже, чем в дуговой печи).

4. Возможность плавки в вакууме или в специальной газовой среде.

5. Более легкие и гигиеничные условия труда.

6. По сравнению с дуговой печью более высокие технико-экономические показатели.

К недостаткам индукционных печей относится следующее.

1. Относительно холодные шлаки, затрудняющие процессы рафинирования.

2. Более низкий к. п. д. всей установки.

3. Сложное дорогостоящее оборудование установок печей без сердечника

4. Необходимость высококвалифицированного персонала для обслуживания установки со специальным и сложным оборудованием.

Одним из основных показателей электроплавильной печи является удельный расход электроэнергии В табл 8 и 9 приведен расход энергии на 1 *т* металла, причем из табл 8 видно, что состояние тигля перед плавкой существенно влияет на удельный расход электроэнергии.

Печь для плавки никеля

Для плавки цветных металлов отечественная промышленность выпускает индукционные печи без серде ника. Так, например, для плавки никеля выпущена печь емкостью 3 *т* марки ИН-3, техническая характеристика которой приведена ниже:

Емкость печи, *т*	3
Мощность печи установленная (по трансформатору), *ква*	1300+400=1700
Мощность печи потребляемая, *квт*	972
Схема питания при одновременной работе двух гнезд:	
при плавке	Через однофазный трансформатор 1300 *ква* высокое напряжение 6 или 10 *кв*; низкое напряжение 1150—300 *в*
при разливке и сушке	Через однофазный трансформатор 400 *ква*, высокое напряжение 6 или 10 *кв*; низкое напряжение 415—300 *в*
Частота, пер/сек	50
Напряжение номинальное, *в*	1075
Коэффициент мощности cosφ:	
без компенсации	0,18
с компенсацией	1
Рабочая температура печи, °С	1550
Мощность холостого хода, *квт*	114 (164)*
Удельный расход электроэнергии, *квт-ч*	528 (562)
Время расплавления, мин.	98 (104)
Производительность по расплавлении, *т час*	1,84 (1,73)
Расход охлаждающей воды, *л/час*	11000
Перепад давления воды, *ат*.	1,5
Максимальный вес печи с металлом, *т*	18

* Данные, указанные в скобках, относятся к печам с основной футеровкой.

Таблица 8

Суммарный расход электроэнергии на 1 *т* металла, выплавленного в индукционных печах без сердечника

Металлы и сплавы	Емкость тигля, *кг*	Мощность печи, *квт*	Время плавки мин.	Расход энергии *квт-ч/т*	Состояние тигля перед плавкой	Частота *пер/сек*
Медь	288	100	69	396	Горячий	—
	300	100	60	500	Холодный	—
	250—300	100	50	425	Горячий	—
Латунь	288	99	64	366	Холодный	—
	288	100	43	247	Горячий	—
	400—500	100	60	220—230	—	500
Томпак	250—300	—	50	480	Холодный	50
Нейзильбер . . .	280	100	78	550	»	—
Мельхиоровые сплавы	250—300	100	50	570	»	50
Нихром	100	150	22	597	»	—
Никель	400	100	140	650—700	»	500

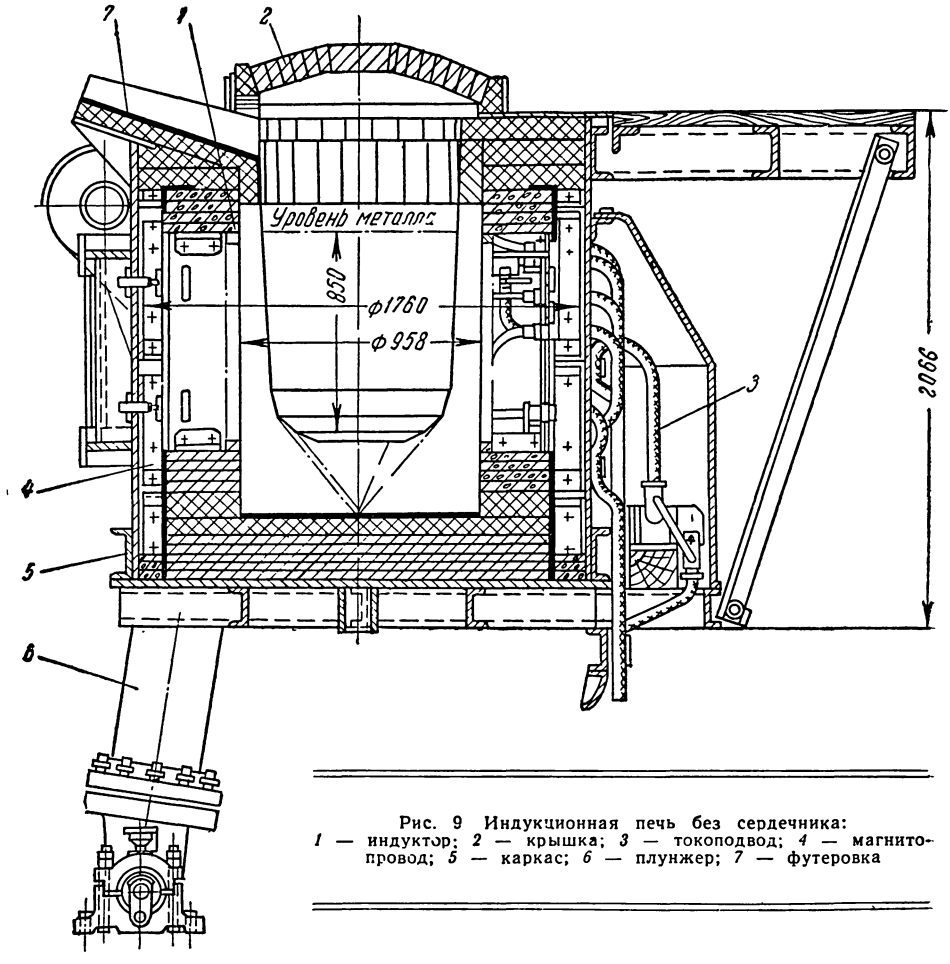


Рис. 9 Индукционная печь без сердечника:
1 — индуктор; *2* — крышка; *3* — токоподвод; *4* — магнитопровод; *5* — каркас; *6* — плунжер; *7* — футеровка

Таблица 9

Расход электроэнергии на 1 *т* металла

Металлы и сплавы	Состав шихты	Расход энергии *квт-ч/т*	Металлы и сплавы	Состав шихты	Расход энергии *квт-ч/т*
Медь	100% Cu	485—500	Константан . .	59,5%Cu, 40%Ni, 0,5%Mn	570
Мельхиор	80% Cu, 20% Ni	450—475			
Никель	100% Ni	650—750	Алюминиевая бронза . . .	89%Cu, 9%Al, 2%Mn	450
Никель с марганцем	97,5% Ni, 2,5% Mn	675	Манганин . . .	84%Cu, 3%Ni, 13%Mn	450
Телефонная бронза	98,95Cu, 0,75Mg: 0,15Cd, 0,15Sn	485—500	Бронза	93%Cu, 6,5%Sn, 0,4%P,	425
Нихром	62%Cu, 23%Fe, 15%Cr	660—800	Бронза	93%Cu, 4%Sn, 3%Zn	425

Печь (рис. 9) состоит из следующих основных частей: стального каркаса, опирающегося на швеллерную раму, однофазного индуктора в виде водоохлаждаемой катушки, набивного плавильного тигля, магнитопроводов, набираемых из листов трансформаторной стали, гидравлического механизма наклона печи и футерованной крышки.

Индуктор является главной частью печи. Обычно его изготовляют из полой медной трубки, внутри которой циркулирует вода под давлением.

Для того чтобы обеспечить прохождение необходимого количества воды в секунду, скорость ее должна составлять 1—1,5 *м/сек*. Вода для охлаждения должна быть очищена, чтобы не засорить индуктор. Если вода подается под давлением, его рекомендуется брать около 7 *ат*. Температура и давление подаваемой воды контролируются термометром и манометром.

Футеровка индукционных печей без сердечника

Набивка тигля обычно производится непосредственно в самой печи. К футеровке индукционных печей без сердечника предъявляются следующие основные требования:

1) стойкость в отношении термических условий, поскольку между наружной и внутренней стенками тигля имеется весьма большой перепад температур;

2) высокая механическая прочность тигля;

3) стойкость футеровки против воздействия шлаков;

4) футеровка должна быть как можно тоньше, так как по мере утолщения стенок тигля понижаются электрические и экономические показатели печи;

Типы футеровок

Для изготовления тиглей применяются кислые, основные и нейтральные огнеупорные массы.

При изготовлении тиглей из кислых масс большей частью применяется материал примерно следующего состава: 93—98% SiO_2, 1—3% $Al_2O_3+Fe_2O_3+MnO+TiO_2$; до 1% $CaO + MgO + Na_2O + K_2O$, остальное влага. Применяются также массы, близкие по своему химическому составу к динасу.

В качестве цементирующих добавок для кислых футеровок применяют борную кислоту до 2% при плавке никеля и битое стекло от 12 до 20%.

Стойкость кислой футеровки обычно 80—100 плавок; в отдельных случаях стойкость тиглей достигала 200 и даже 250 плавок.

Для основной футеровки обычно применяют магнезит. Хорошую стойкость дает тигель из плавленого магнезита с 3% борной кислоты. Для цементирования магнезитовой массы применяют глину (3%), увлажненную водным раствором жидкого стекла, или патоку в количестве до 12% к весу магнезита.

Нейтральным материалом, широко применяемым при футеровке индукционных печей, является цирконовый силикат, к которому рекомендуется добавлять до 30% плавленого магнезита, что значительно повышает стойкость цирконового силиката против разъедающего воздействия на него шлаков.

Плавка хромоникелевых и хромоалюминиевых сплавов

Основные требования к жаропрочным сплавам — равномерность химического состава, отсутствие примесей серы и углерода. При плавке в индукционных печах без сердечника эти требования легко могут быть выполнены.

Плавку нихрома и хромелей для уменьшения окисления обычно ведут под слоем шлака, состоящего из извести, магнезита и глинозема.

При загрузке шихты укладку ее следует производить с максимальной плотностью. При плавке хромеля температуру металла после расплавления поднимают до 1550—1580°.

При этой температуре ведут раскисление ванны. Расход электроэнергии на 1 *т* металла 893 *квт-ч*.

Плавка медноникелевых сплавов

Печи без сердечника часто используют для плавки медноникелевых сплавов, а также для изготовления тройных лигатур типа Al-Cu-Mn.

При плавке медноникелевых сплавов загрузку ведут в таком порядке: загружают отходы, затем тугоплавкие металлы, после этого медь. Для удаления серы в медноникелевые сплавы перед выпуском добавляют магний.

§ 3. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

В табл. 10 дано сравнение показателей при переплавке сплавов на цинковой основе в индукционных и отражательных электропечах.

Таблица 10

Работа индукционных и отражательных печей при плавке сплавов на цинковой основе

Показатели	Печи	
	индукционные	отражательные
Удельный расход электроэнергии, *квт-ч/т*	120—130	150—160
Суточная производительность на 1 $м^2$ пода печи, *т*	6	2,0—2,5
Угар металла, %	1—1,5	До 3

Таблица 11

Характеристики низкочастотных плавильных печей при плавке алюминиевых сплавов

Показатели	Печи	
	1,5-*т*	3-*т*
Мощность печи, *квт*	250	125
Расход электроэнергии на тонну металла, *квт-ч*	458	472
Производительность печи, *кг/час*	450—500	225
Выход жидкого металла, %	97,4	97,3
Угар металла, %	0,6	0,6
Шлаки и съемы по металлу, %	1,8—2,1	1,9—2,0

Преимущества индукционных электропечей совершенно очевидно. Сравнение газонасыщенности металла, полученного из индукционных печей и электропечей сопротивления показывает, что металл из индукционных печей значительно менее насыщен газами, чем металл, полученный из отражательных электропечей сопротивления.

В табл. 11 приведены характеристики низкочастотных плавильных печей при плавке алюминиевых сплавов.

Экономические показатели индукционных печей более высокие, чем у печей сопротивления и у пламенных отражательных печей. Стоимость плавки в 2—2,5 раза ниже.

Съем металла с 1 $м^2$ пода индукционной печи составляет от 7 до 15,6 *т/сутки*; в печи сопротивления типа САН съем металла составляет 2,4—2,8 *т/сутки*.

Удельная производительность печей Таблица 12

Тип печи	Мощность печи *ква*	Наименование металла или сплава	Суточная производительность, *т*	Удельная производительность, *т*	
				на 1 *т* емкости	на 100 *ква* мощности печи
Однофазная одноканальная	180	Медь	12,0	20,0	6,7
	180	Латунь	16,0	26,7	8,9
	165	БрАЖМц	11,0	18,4	6,7
Однофазная двухканальная	200	Медь	16,0	26,7	8,0
	200	Латунь	20,0	33,3	10,0
	180	БрАЖМц	15,0	25,0	8,5
Двухфазная	—	Латунь	35,0	—	—
Трехфазная одноканальная	420	»	35,0	29,0	8,3
	200	Алюминий	6,4	2,14	3,2
Трехфазная с горизонтальным каналом	400	»	7,5	2,5	1,88
Шестифазная одноканальная	540	Цинк	100,0	5,0	18,5
Трехфазная ОКБ-25Э	1000	Латунь	60,0	40,0	6,0

В табл. 12—16 приведены основные технико-экономические показатели работы индукционных печей: удельная производительность, удельный расход электроэнергии, коэффициент мощности (cos φ), стойкость печи, а также неликвидные потери, включающие угар и металл в отвальных шлаках, в процентах от веса металлической шихты.

Таблица 13

Удельный расход энергии на 1 *т* расплавленной шихты

Наименование металла или сплава	Характеристика шихты	Температура литья, °С	Теоретический расход энергии на расплавление и перегрев металла, *квт-ч/т*	Практический удельный расход энергии, *квт-ч/т*	Общий к. п. д. печи %
Алюминий	Компактная	750	331,0	480	69
	Обрезки	750	331,0	550	60
Латунь Л62	Компактная	1100	186,0	220	84
	Обрезки	1100	186,0	240	77
Медь	Компактная	1170	199,0	330	60
Томпак ЛТ96	»	1200	206,0	250	82
	Обрезки	1200	206,0	270	76
Мельхиор	Смешанная	1360	230,0	395	58
Бронза оловянистая	»	1260	197,5	280	70
Бронза алюминиевая	»	1150	212,0	330	64
Монель-металл	»	1500	293,0	400	73
Никель	Обрезки	1600	326,0	500	65
Нихром 20/80	Компактная	1500	330 0	500	66
Цинк	»	475	96,5	120	80

Таблица 14

Коэффициент мощности индукционных печей с железным сердечником

Наименование металла или сплава	Конструкция печи	Коэффициент мощности	
		естественный	искусственный
Медь	Одноканальная	0,58—0,6	—
	Двухканальная	0,6—0,65	—
Латунь	Одноканальная	0,65—0,7	—
	Двухканальная	0,74—0,76	—
Никелевые сплавы	Одноканальная	0,72—0,8	
Алюминий и его сплавы	С закрытым вертикальным каналом	0,4—0,45	0,8
	С открытым горизонтальным каналом	0,3—0,35	0,8
Цинк	С закрытым горизонтальным каналом	0,7	—

Таблица 15

Стойкость печей, в тоннах расплавленного металла за кампанию

Наименование металла	Материал подового камня	Средняя стойкость, *т*
Латунь	Кварц	1100—1150
Медь	»	130—150
Бронза	»	130—150
Сплавы на никелевой основе	Плавленый магнезит	50—70
Алюминий	Шамот	1000—1500
Цинк	»	2000
Медноалюминиевые сплавы	Кварц	150—200
Лигатура	»	60—70

Таблица 16

Потери металла при плавке в индукционных печах

Наименование металла или сплава	Потери металла, % от веса шихты
Медноцинковые сплавы	1,3—1,8
Медь	0,8—1,0
Алюминий	1,0—1,5
Никель	0,5
Цинк	1,5—2,0

§ 4. ПОДОВЫЕ КАМНИ

Подовые камни должны изготовляться из смеси измельченного кварца или кварцита определенного гранулометрического состава. На основании данных практики установлено, что наиболее стойки подовые камни, содержащие около 30% зерен максимальной величины (0,85 *мм*) и 70% зерен размером 0,3—0,06 *мм*.

Для сплавов на медной основе (латунных, бронзовых, медноникелевых), а также для меди, кадмиевой меди, бериллиевой бронзы при изготовлении подовых камней рекомендуется шихта, состав которой приведен в табл. 17.

Таблица 17

Состав шихты № 1

Наименование исходных материалов	%	*кг*
Кварцевые зерна:		
крупная фракция (0,85—0,5 *мм*)	27,0	40,5
средняя фракция (0,3—0,12 *мм*	31,0	46,5
мелкая фракция (0,088—0,06 *мм*)	38,0	57,0
Бура или борная кислота	2,0	3,0
Глина	1,0	1,5
Тонко размолотое оконное стекло	1,0	1,5
Всего	100,0	150,0

Подовые камни, изготовленные из шихты № 1, дают на латунных сплавах средний проплав 730—750 *т*. При увеличении количества стекла и добавке электрокорунда стойкость камней повышается.

Средняя стойкость подовых камней, изготовленных из шихты № 2 (табл. 18), на латунных сплавах 1100 *т*, что значительно превышает средний проплав подовых камней, изготовленных из шихты № 1.

Исследования, проведенные институтом «Гипроцветметобработка» по улучшению стойкости футеровки двухканальных индукционных печей при плавке латунных сплавов, показали возможность значительного повышения стойкости футеровки путем применения огнеупорной набивной массы следующего состава, %:

Кварцит	86
Электрокорунд	11
Бура фракции 0,25 *мм*	2
Оконное стекло фракции ~0,25 *мм*	1

Гранулометрический состав массы был следующий:

Крупность класса, *мм*	3	2—1	1—0,5	0,5—0,09	0,09
Выход класса, %	6—8	18—20	5,7	12—15	50—55

Таблица 18

Состав шихты № 2

Наименование исходных материалов	%	*кг*
Кварцевые зерна:		
крупная фракция (0,85—0,5 *мм*)	22,0	33,0
средняя фракция (0,3—0,12 *мм*)	26,0	39,0
мелкая фракция (0,088—0,06 *мм*)	32,0	48,0
Бура или борная кислота	2,0	3,0
Электрокорунд № 200	11,0	16,5
Тонко размолотое оконное стекло	6,0	9,0
Тонко размолотая глина	1,0	1,5
Всего	100,0	150,0

Химический состав кварцита и электрокорунда приведен в табл. 19 Марка применявшегося электрокорунда 180—220.

Таблица 19

Химический состав кварцита и электрокорунда, %

Компоненты	Кварцит	Электрокорунд
SiO_2	97—98	До 4
Al_2O_3	До 2	87—90
Fe_2O_3	До 1	До 2
CaO	До 0,2	До 2

Исследования отработанных камней показали, что высокая стойкость футеровки печей объясняется образованием при плавке латуней соединения $Zn(Al_2O_4)$, обладающего высокой огнеупорностью Это соединение обеспечивает повышенную стойкость канальной части печи, подвергавшуюся воздействию расплавленного металла и шлака.

При плавке тугоплавких металлов и сплавов, например никеля, алюмеля, хромеля, монель-металла, нихрома, тугоплавких лигатур с температурой отливок 1450—1680°, подовые камни чаще всего изготовляют из плавленого магнезита, отличающегося высокой термической стойкостью.

Кусковой плавленый магнезит после дробления на мелкие части (25—30 *мм*) размалывают под бегунами или в шаровой мельнице и пропускают через сита тех же

номеров, что и для кварцевой массы. Состав шихты, применяемый для футеровки подовых камней, приведен в табл. 20.

Таблица 20

Состав шихты с плавленным магнезитом

Наименование исходных материалов	%	кг
Плавленый магнезит:		
крупная фракция (0,85—0,5 *мм*) . .	27,0	40,5
средняя фракция (0,3—0,12 *мм*)	31,0	46,5
мелкая фракция (0,088—0,06 *мм*)	39,0	58,5
Бура или борная кислота	3,0	4,5
Всего . . .	100,0	150,0

Плавленый магнезит является дорогостоящим и дефицитным материалом. Исследования, проведенные институтом «Гипроцветметообработка» совместно с заводом по обработке цветных металлов, показали возможность замены плавленого магнезита более дешевой и однородной огнеупорной массой из молотого периклазо-шпинелидного кирпича. Этот кирпич применяется в черной металлургии для футеровки кессонов мартеновских печей.

При изготовлении набивной огнеупорной массы к молотому периклазо-шпинелидному материалу, содержащему около 50—55% фракции 0,09 *мм* добавляли 2% буры и 2% оконного стекла. Результаты испытаний печей для плавки никеля, футерованных периклазо-шпинелидным материалом, показали, что средняя стойкость составляет 150 *т* против средней стойкости 90 *т*, получаемой при футеровке из плавленного магнезита.

Таблица 21

Состав шихты с хромомагнезитом

Наименование исходных материалов	%	кг
Хромомагнезит:		
крупная фракция (0,85—0,5 *мм*)	27,0	40,5
средняя фракция (0,3—0,12 *мм*)	31,0	46,5
мелкая фракция (0,088—0,05 *мм*)	38,0	57,0
Бура или борная кислота	3,0	4,5
Молотое оконное стекло . .	1,0	1,5
Всего . . .	100,0	150,0

Для футеровки подовых камней индукционных электропечей при выплавке тугоплавких лигатур применяют хромомагнезит. Массу готовят из хромомагнезитовых кирпичей. После дробления и размола под бегунами массу просеивают через сита установленных номеров и сушат в камере при температуре 100—120°. После сушки порошок смешивают с сухой бурой и молотым оконным стеклом для получения шихты соответствующего состава (табл. 21).

Графитовые футеровки печей при плавке медноалюминиевых сплавов имеют ряд преимуществ. К недостаткам этих футеровок надо отнести кропотливую работу по изготовлению лещадок, оклейке ими шаблонов и длительность сушки последних. Изготовление графитовых лещадок, оклейку ими шаблонов следует производить заблаговременно.

1. Инструкция по изготовлению графитовых футеровок каналов подовых камней

Графитовые пластинки длиной 150—170 *мм* и толщиной 18—20 *мм* вырезают из старых хорошо обожженных и покрытых глазурью графитовых тиглей, выдержавших несколько плавок. Лещадки подгоняют одну к другой с зазорами в замках не более 1—2 *мм*. При покрытии полых или литых шаблонов лещадки наклеивают с помощью особой мастики, состоящей из смеси чешуйчатого серебристого графита 23%, самой мелкой фракции молотого кварца 36,5%, жидкого стекла 30% и воды 10,5%. Швы замков лещадок промазывают этой же мастикой.

Порядок оклейки пустотелых или литых шаблонов лещадками следующий: сначала оклеивают лещадками поверхность внутреннего кольца пустотелого шаблона диаметром *а* (рис. 10), затем поверхность внешнего кольца диаметром *в*, после чего производят оклейку лещадками верхней боковой поверхности шаблона *г*. Лещадки для покрытия поверхностей *г* и *д* подбирают таких размеров, чтобы они своими краями ложились на лещадки внутреннего и внешнего кольца шаблона или литого канала.

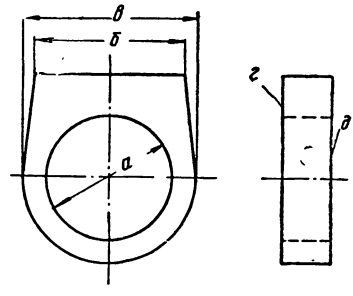


Рис. 10. Схема пустотелого шаблона

Лещадки поверхностей *г* и *д* лучше собирать в «замок», но можно и впритык.

После оклейки трех поверхностей шаблон сушат в специальной камере при 100—120° в течение 2—2,5 суток. Высушенный шаблон поворачивают, оклеивают и снова сушат в камере 1—1,5 дня. После сушки графитовые лещадки весьма прочно схватываются между собой и с телом шаблона.

Следует иметь в виду, что лещадки, вырезанные из новых необожженных мягких тиглей, легко растрескиваются во время работы печей и не обеспечивают нормального срока службы футеровки.

2. Инструкция по изготовлению подовых камней

В индукционных печах применяют слойные набивные и бесслойные спекающиеся подовые камни.

Набивные подовые камни изготовляют из массы шамота соответствующего гранулометрического состава. Набивку массы производят в металлическую форму (рис. 11),

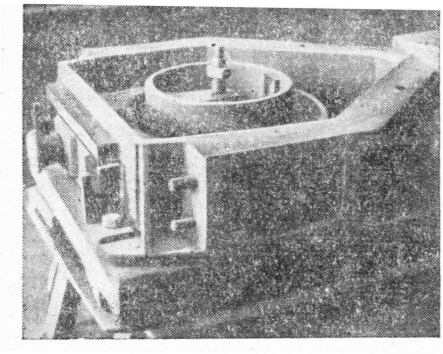


Рис. 11. Металлическая форма для набивки массы, применяемая при изготовлении подовых камней

соответствующую внешним и внутренним габаритам подовых камней. Все части формы прибалчивают к строганой чугунной плите, установленной на прочном столе. Для получения в подовом камне внутреннего отверстия к плите прикрепляют металлическое кольцо. Перед набивкой массы форму смазывают тонким слоем керосина. Число утрамбованных слоев и высота набивной массы зависят от габаритов подового камня и сечения канала. Каждый слой трамбуют вначале вручную, а затем пневматическим молотком. На поверхности первого, а также и всех последующих слоев нарезают продольные и поперечные бороздки. Свободные частички шамотной массы сдувают воздухом, поверхность утрамбованного слоя увлажняют из пульверизатора и покрывают слоем рыхлой массы, которую разравнивают и утрамбовывают, как и предыдущий слой. Для получения канала в подовом камне на утрамбованные слои массы укладывают бронзовый разъемный сердечник, имеющий форму и размеры канала.

Воздушная сушка освобожденного после разборки камня продолжается 5—6 дней.

Набивные подовые камни с кольцевыми каналами изготовляются цельными и называются бесшовными, слойными (рис. 12).

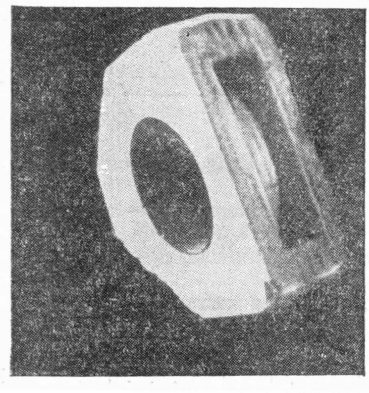


Рис. 12. Бесшовный слойный набивной подовый камень

Набивные подовые камни с V-образными каналами состоят из двух склеенных половинок и носят название шовных, слойных.

После воздушной сушки подовые камни дополнительно сушат в течение 15—17 суток в специальной камере при 120—130°.

3. Бесслойные спекающиеся подовые камни

Изготовление бесслойных спекающихся подовых камней основано на том, что огнеупорная масса во время обжига при высокой температуре превращается в монолит, причем особенно энергично это происходит в том случае, когда в огнеупорную массу вводятся добавки, например бура или борная кислота и оконное стекло.

Формовку спекающихся подовых камней ведут следующим образом. В собранный каркас подового камня насыпают огнеупорную массу, которую непрерывно уплотняют трамбовкой. На подготовленное таким образом основание на высоте 200—220 *мм* устанавливают литой или полый шаблон, в центральное же отверстие каркаса вводят этернитовый цилиндр. Просвет между внешними стенками этернитового цилиндра и внутренним диаметром шаблона должен быть везде одинаков. От размеров и равномерности этого зазора заполняемого огнеупорной массой, зависит величина коэффициента мощности печи.

Минимальная толщина стенки между каналом и этернитовым цилиндром для подового камня 600-*кг* однофазной печи составляет 50 *мм*, максимальная — 80 *мм*. После проверки положения шаблона все зазоры между этернитовым цилиндром и шаблоном, а также между внутренними поверхностями каркаса засыпают сухой массой, которую тщательно уплотняют ручными трамбовками.

Внешний диаметр этернитового цилиндра и диаметр центрального отверстия щек каркаса должны совпадать; если между ними образуется незначительный просвет, то его заполняют прокладками из листового асбеста.

Следует иметь в виду, что назначение этернитовых цилиндров состоит не только в том, чтобы поддерживать огнеупорную массу верхней половины подового камня, но и предохранять первичные катушки от соприкосновения с горячим металлом, проникающим через стенки каналов.

Подовые камни двухфазных и трехфазных печей, имеющих по несколько каналов, связанных между собой через шахту печи, футеруются непосредственно на раме печи.

4. Бикерамические подовые камни

В тех случаях, когда подовые камни должны быть изготовлены из дефицитных дорогостоящих материалов, например плавленый магнезит, окись циркония и пр., их делают обычно двухслойными. При этом стенки плавильного кольца, соприкасающиеся с горячим жидким металлом, футеруют из специального огнеупора, остальную же часть подового камня изготовляют из дешевой огнеупорной массы. Подобные подовые камни носят название бикерамических (рис. 13). Применяются они при плавке никеля и сплавов на его основе.

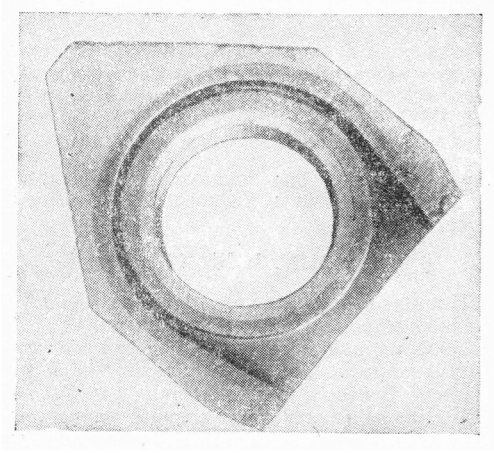


Рис 13. Бикерамический подовый камень

5. Стойкость подовых камней

Для обеспечения необходимой стойкости подовых камней следует:

1) правильно подбирать огнеупорные материалы для каждой группы сплавов;

2) строго следить, чтобы применялся установленный оптимальный гранулометрический состав и тщательно подготавливались огнеупорные материалы (сортировка, дробление, размол, сушка, перемешивание и хранение масс);

3) исключительно тщательно трамбовать массу подовых камней;

4) соблюдать режим разогрева и обработки новой футеровки печей при пуске их в работу;

5) правильно эксплуатировать печи, т. е. использовать только сухую габаритную шихту с весом отдельных частей ее не более 25—30 *кг* и осторожно загружать ее, чтобы исключить повреждение подины печи.

6. Полые и литые шаблоны

Для получения каналов в подовых камнях широкое распространение получили два метода:

1) использование полых металлических шаблонов соответствующих габаритов;

2) применение литых шаблонов, имеющих размеры канала подового камня;

Материалом для полых сварных шаблонов служит железо толщиной 2—2,5 *мм*. К преимуществам полых шаблонов относятся: простота в изготовлении, небольшой вес, возможность заливки их металлом после непродолжительного прогрева током. Основным недостатком применения пустотелых железных шаблонов является затрата свежих металлов на промывные плавки с целью удаления железа. Постепенное снижение содержания железа можно видеть в табл. 22.

Таблица 22

Снижение содержания железа при производстве промывных плавок и расход меди

Печи	Содержание железа по плавкам, %				Расход меди, *кг*
	I	II	III	IV	
Однофазная одноканальная	1,63	0,41	0,13	—	1600
Однофазная двухканальная	2,8	0,96	0,32	0,1	2400
Трехфазная	2,9	1,18	0,51	0,22	3200

Коробление полых шаблонов при сварке их и особенно при заполнении жидким металлом приводит к искажению формы канала, неравномерному сечению его и другим дефектам, снижающим cos φ печи.

При использовании литых шаблонов промывные плавки не требуются, так как шаблоны отливают из сплавов, аналогичных сплавам, выплавляемым в печи, или из сплавов, близких по составу, как это указано в табл. 23. Это является значительным преимуществом литых шаблонов по сравнению с полыми

Точные размеры литых шаблонов и правильная форма их приводят к более высоким значениям cos φ печи.

Таблица 23

Материалы, применяемые для изготовления литых шаблонов, в зависимости от металлов и сплавов, выплавляемых в печи

Выплавляемый в печи металл или сплав	Материал литого шаблона
Никель	Никель
Медноалюминиевые сплавы	Бр.А5, Бр.АЖМц и др.
Латуни и меднооловянистые сплавы	Медь
Медноникелевые сплавы	Медь или медноникелевые сплавы
Алюминий	Алюминий
Цинк	Цинк

Литые шаблоны хорошего качества получают при заполнении жидким металлом или сплавом пустотелых сваренных железных коробок, имеющих форму литых шаблонов.

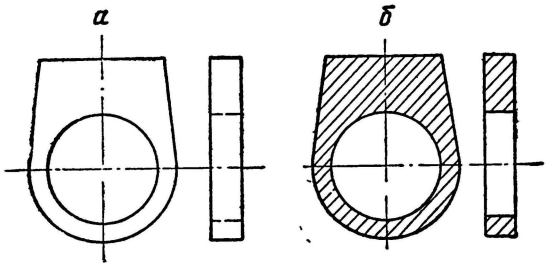


Рис. 14. Железная пустотелая коробка (*а*) и литой обработанный шаблон (*б*)

После остывания железную коробку обдирают на станке и получается шаблон требуемых размеров (рис. 14). Толщина железа, применяемого для изготовления коробок, 2—2,5 *мм*.

8—10 коробок помещают в железный ящик, на дно которого предварительно насыпают слой горячего песка толщиной 70—100 *мм*. Промежутки между коробками также заполняют горячим песком. В коробки заливают дегазированный расплавленный металл, поверхность которого покрывают раскаленным древесным углем. Литые шаблоны получаются плотные, без трещин и раковин. При изготовлении литых шаблонов из никеля древесный уголь не применяют.

§ 5. ЖЕЛЕЗНЫЙ СЕРДЕЧНИК ПЕЧИ

Сердечник трансформатора индукционной печи собирается из листовой трансформаторной стали толщиной 0,30—0,35 *мм*.

В низкочастотных индукционных печах применяются в основном броневые сердечники, в которых два боковых и заднее ярмо постоянно связаны со средним стержнем (рис. 15).

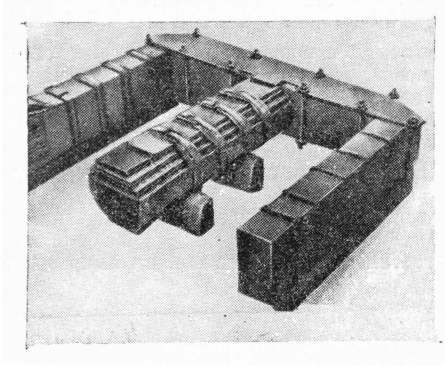


Рис. 15. Броневой сердечник трансформатора индукционной печи. Переднее отъемное ярмо снято

§ 6. ПОДИНА И ШАХТА ПЕЧИ

Подины печей, выплавляющих латуни различных марок и другие сплавы на медной основе, набивают кварцевой массой состава, применяемого для изготовления подовых камней. В печах, выплавляющих тугоплавкие сплавы (никелевые сплавы, лигатуры медь-хром, медь-марганец), подины футеруют массой из плавленого магнезита или хромомагнезита.

Цилиндрические шахты печей, плавящих латунь, медноникелевые, медноалюминиевые сплавы и оловянистые бронзы, футеруют шамотным кирпичом. Нижние первые ряды кирпича устанавливают непосредственно на утрамбованную подину. В печах, выплавляющих никель, никелевые сплавы и тугоплавкие лигатуры, первые два ряда шахты выкладывают из магнетизового или хромомагнезитового кирпича.

Пространство между кладкой шахты и железным кожухом (120—150 *мм*) засыпают тем или иным теплоизолирующим материалом, например инфузорной землей, разрыхленным асбестом, шлаковой ватой и т. п.

ГЛАВА III

ИЗГОТОВЛЕНИЕ СЛИТКОВ

Слитки, предназначенные для последующей обработки давлением, изготовляют двух видов.

Цилиндрические слитки, идущие в прессовые и прокатные цехи для изготовления прутков, профилей и труб, отливают либо в изложницы, в большинстве случаев водоохлаждаемые неразъемные, либо в кристаллизатор машины непрерывного литья. Размеры и вес слитков определяются требованиями обрабатывающих цехов. Диаметры слитков из сплавов на медной основе обычно бывают от 150 до 400 *мм,* диаметры алюминиевых слитков — до 800 *мм.* Кроме цилиндрических сплошных слитков, отливают также слитки в виде полых трубных заготовок. Цилиндрические литые заготовки относительно небольших размеров можно получать методом вакуумного всасывания.

Плоские слитки, поступающие в прокатные цехи для изготовления листов, лент, полос и т. п, получают отливкой в вертикальные или горизонтальные изложницы или в кристаллизатор машины непрерывного литья.

При литье в вертикальные изложницы для получения плотного слитка оптимальное отношение высоты слитка к его толщине составляет 7 до 12.

При литье слитков в горизонтальные изложницы отношение длины к ширине слитка берут равным 1, а отношение длины к толщине — от 5 до 20.

Медные и латунные слитки большого веса (до 4 *т*), отливают обычно в горизонтальные изложницы, иногда в неразъемные, сделанные из чугуна или меди; чаще отливку таких слитков производят в разъемные изложницы, которые состоят из медного поддона в виде плиты, на которой устанавливают сплошную или разъемную рамку.

Крупные слитки отливают в горизонтальные изложницы различными способами. При заливке всей изложницы из одного ковша температура расплавленной меди должна быть 1110—1140°. В случаях, когда литье производят последовательно из двух ковшей, сначала изложницу заливают из ковша, охлажденного до 1110—1140°, остальную часть заливают при 1160—1180°. Когда первую порцию металла заливают при 1110—1140° и заканчивают литье непосредственно из печи, последующую часть металла заливают при 1180—1200°.

Для получения плотной структуры слитка и улучшения условий кристаллизации применяют крышки с подогревом, которыми покрывают поверхность залитого в изложницу металла.

При отливке в горизонтальные изложницы латунных слитков большого веса поверхность их может быть покрыта горячим углем, поскольку слегка восстановительная атмосфера у поверхности слитка не может повредить при литье латуни.

Отливку цинковых плит для прокатки обычно производят в открытые горизонтальные изложницы без смазки их. При этом сверху плиты обычно образуются небольшие усадки, которые появляются даже в случае заливки металла при минимально возможной температуре. Отливку цинковых слитков целесообразно производить в вертикальные изложницы или в кристаллизаторы машин полунепрерывного литья.

§ 1. СКОРОСТЬ ЛИТЬЯ

Под скоростью литья обычно понимают скорость перемещения уровня металла в изложнице, которая выражается в миллиметрах в секунду. Скорость литья можно регулировать, изменяя диаметр и число отверстий в литейной воронке. Диаметр отверстий в литейной воронке обычно равен 10—20 *мм*, а в отдельных случаях 30—35 *мм* и больше. Суммарную площадь отверстий в воронке определяют по формуле

$$F = \frac{1000\,Q}{\mu\gamma\sqrt{2gH_1}},$$

где F — суммарная площадь отверстий в литейной воронке, *см*²;
μ — коэффициент сужения струи (0,7÷0,9);
γ — плотность металла при температуре литья, *г/см*³;
g — ускорение силы тяжести, *см/сек*²;
H_1 — напор, соответствующий расстоянию от уровня металла в воронке до нижней точки отверстия в воронке по вертикали, *см*;
Q — секундный расход металла, определяемый из соотношения;

$$Q = \frac{Pv}{H_2},$$

где P — вес слитка, *кг*;
v — скорость литья, *см/сек*;
H_2 — высота слитка, *см*.

При литье плоских медных слитков в горизонтальные изложницы скорость литья составляет 2—7 *мм/сек*. Для литья медных слитков также применяют вертикальные изложницы с заливкой через воронку. Скорость литья при этом составляет 10—60 *мм/сек*.

Скорость литья в вертикальные водоохлаждаемые изложницы плоских и цилиндрических латунных слитков колеблется от 20 до 80 *мм/сек*.

При непрерывном и полунепрерывном литье под скоростью литья понимается скорость опускания слитка, так как уровень металла в этом случае остается постоянным. Скорость литья при непрерывном методе выражается в миллиметрах в секунду или метрах в час.

Таблица 24

Скорости непрерывного литья плоских слитков из алюминия и его сплавов

Наименование металла и сплава	Размеры слитка, *мм*		Скорость литья *м/час*	Наименование металла и сплава	Размеры слитка, *мм*		Скорость литья *м/час*
	толщина	ширина			толщина	ширина	
Алюминий . .	200	1400	3,9—5,4	Д16 . . .	200	1400	6—7,2
АД	118	500	8—10	Д16 . . .	150	600	10—12
АМ, Д1 . . .	140—200	550—1400	3,3—6	АВ	200	1300	3,2—4
Д16	200	1000	6—8	АВ	140	550	4—5

Слитки из сплавов на медной основе отливают полунепрерывным методом при следующих скоростях, *м/час:*

Алюминиевой бронзы . .	5,0—5,5
Латуни марки Л62 . . .	10—12
Латуни марки Л68 . . .	7—8
Латуни марки ЛС59-1 . .	7—8
Меди	8—9
Нейзильбера	9—10
Эвердура	3—3,5

В табл. 24 и 25 приведены режимы непрерывного литья плоских и цилиндрических слитков из алюминия и его сплавов.

Таблица 25

Скорости непрерывного литья цилиндрических слитков из алюминия и его сплавов

Наименование металла и сплава	Скорость литья, *м/час*, при диаметре слитка, *мм*					
	200	250	300	350	400	500
Алюминий и АМг	—	—	8	7	6	3,6
АД	—	—	—	7	5,5	—
Д1	—	—	6,5	5,5	4,5	—
Д16 и АК4 .	6—8	5	4,5	4	3,7	2,4
Д6, АК6, АК5, АК2	8—10	6	5,4	4,8	4,2	3,8
Д18П	—	—	5,5	5	—	—

Таблица 26

Скорости непрерывного литья цилиндрических слитков из магниевых сплавов

Наименование сплава	Скорость литья *м/час*
МА1	4—15
МА2	3—14
МА3	2—9
МА4	2,25—9
МА5	2,5—10
МА8	3—12

При отливке полых слитков из алюминия и его сплавов скорость литья обычно в 1,2—1,5 раза выше скорости литья сплошных слитков того же наружного диаметра

Скорости литья цилиндрических слитков магниевых сплавов диаметром 200—400 *мм* при отливке непрерывным методом приведены в табл. 26.

§ 2. ИЗЛОЖНИЦЫ

Применяемые для литья плоских и цилиндрических слитков изложницы по конструкции делятся на разъемные и неразъемные, водоохлаждаемые и без водяного охлаждения, вертикальные и горизонтальные.

При производстве слитков из цветных металлов и сплавов наибольшее распространение получили вертикальные водоохлаждаемые изложницы, причем для литья плоских слитков применяют обычно разъемные, а для цилиндрических слитков — неразъемные изложницы.

Вертикальная водоохлаждаемая разъемная изложница (рис. 16) состоит из двух соединенных шарнирно половин — кессонов.

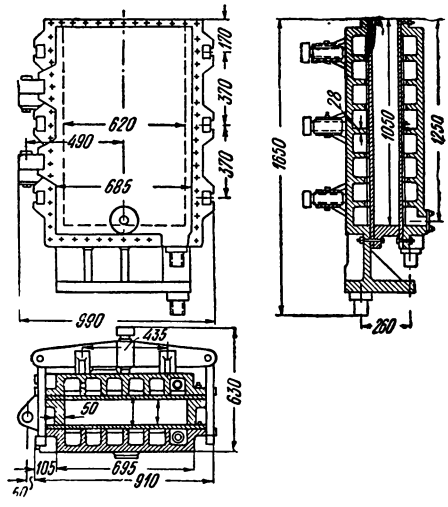


Рис. 16. Водоохлаждаемая изложница для отливки плоских слитков

Кессон состоит из стального или чугунного корпуса и внутренней рубашки из меди Толщина медной рубашки 15—25 *мм*. Внутри кессонов циркулирует проточная вода. Расход воды 4—6 $м^3$ на 1 *т* слитков. Давление воды в подводящем трубопроводе 2—5 *ат*. Обе половины изложницы на время заливки скрепляются с помощью болтов или специального запора.

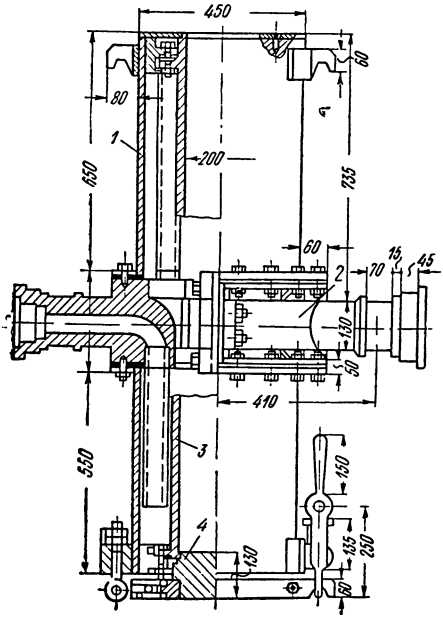


Рис. 17. Вертикальная водоохлаждаемая неразъемная изложница для отливки цилиндрических слитков

Вертикальная водоохлаждаемая неразъемная изложница (рис. 17) для отливки цилиндрических слитков состоит из чугунного или стального кожуха *1*, имеющего верхнюю и нижнюю части, распределительного пояса *2*, медной рубашки *3* и поддона *4*. Медная рубашка изложницы плотно прилегает к корпусу и прикрепляется к нему болтами.

В тех случаях, когда требуется быстрое охлаждение слитка, применяют медную рубашку, когда же необходимо обеспечить наименьшее коробление стенок изложницы и более последовательное охлаждение слитка, в качестве материала охлаждающей стенки применяют сплав инвар (35—37% никеля, остальное железо).

Горизонтальная водоохлаждаемая изложница (рис. 18) состоит из поддона, кессона и рамы. Поддон изложницы изготовляют из листов красной меди толщиной 20—25 *мм*. Кессон изложницы делают литым чугунным или сварным из стальных листов.

Кроме водоохлаждаемых изложниц, применяются в отдельных случаях изложницы без водяного охлаждения. Например, такие изложницы используются при отливке слитков из никеля, мельхиора и некоторых бронзовых сплавов.

Отливка в наклоняющиеся изложницы производится преимущественно при производстве слитков из алюминия и алюминиевых сплавов, легко образующих пену при

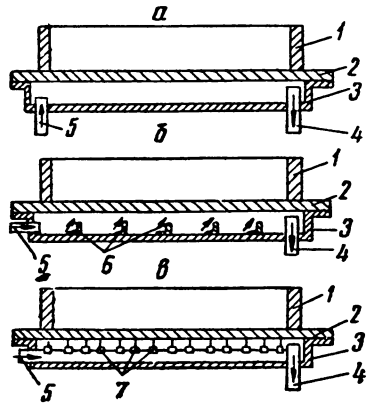


Рис. 18. Горизонтальные водоохлаждаемые изложницы:

а — простого типа; *б* — с направляющими углами; *в* — с направленными струями. *1* — изложница; *2* — поддон; *3* — кессон; *4* — отводная труба; *5* — труба, подводящая воду; *6* — направляющие угольники; *7* — направляющие патрубки

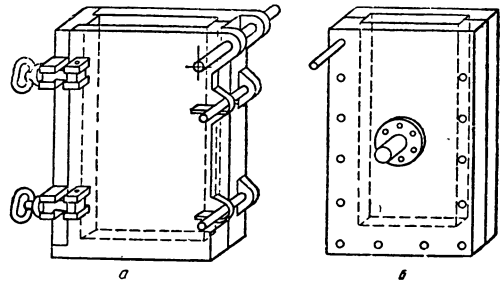


Рис. 19. Наклоняющиеся изложницы:

а — с отъемной узкой стенкой; *б* — разъемная из двух половин

перемешивании с воздухом. Конструкции наклонных изложниц показаны на рис. 19. Метод литья в наклонные изложницы может быть применен также для других сплавов, склонных к пенообразованию при литье.

§ 3. СМАЗКИ ДЛЯ ИЗЛОЖНИЦ

Основное назначение смазок — обеспечить получение гладкой и ровной поверхности слитка, без каких-либо включений. Смазка, кроме того, служит для предохранения изложниц от быстрого изнашивания.

При производстве слитков применяются смазки весьма разнообразные как по техническим характеристикам, так и по составу (табл. 27).

Характеристики смазок, полученные по данным технического анализа (табл. 27),

Таблица 27

Технические характеристики смазок, применяемых для изложниц

Наименование составляющих	Содержание %	Количество летучих %	Скорость перегонки *мг/сек*	Характеристика кокса	Кроющая способность при 20° *г/дм²*
Льняное масло . .	50	49,8	21,8	Рассыпчатый	18,2
Графит	50				
Мазут	65	42,3	18,7	Спекшийся хрупкий	23,5
Сажа	4				
Окись цинка . . .	31				
Керосин	45	49,9	20,4	Спекшийся хрупкий	21,6
Сажа	5				
Окись цинка . . .	50				
Мыло жидкое . .	50	82,0	18,8	Спекшийся пластичный	Неограниченная
Масло	50				
Мазут	100	91,0	21,0	Спекшийся хрупкий	4,2
Масло льняное . .	100	95,0	18,0	Сажа	3,4
Канифоль	100	82,0	25,3	Сажа	Неограниченная
Керосин	50	48,0	21,4	Рассыпчатый	19,1
Шамот	45				
Сажа	5				

дают возможность классифицировать смазки по количеству летучих на три группы:

1) жирные, к которым относятся смазки с содержанием летучих от 20 до 100% (наиболее распространенные — от 30 до 90%);

2) полусухие, содержащие летучих от 5 до 20% (употребительные — около 10%);

3) сухие, практически не содержащие летучих.

В заводской практике применяются смазки различного состава с весьма разнообразными техническими характеристиками. Средний расход смазок составляет примерно 2 *кг* на 1 *т* отлитого металла или сплава.

Таблица 28

Составы смазок для изложниц, применяемые при литье слитков из меди и медных сплавов, %

Наименование составляющих	Смазки, применяемые для слитков														
	медных			латунных							латунных и бронзовых		бронзовых		
Мазут обезьяженный	—	68	60	57	65	80	—	50	64	80	60	—	55	60	—
Сажа голландская	5	17	20	—	—	—	—	—	—	15	10	15	—	—	—
Керосин	—	—	—	6	—	—	—	—	—	—	—	60	—	25	22
Мыло	50	—	—	30	—	—	—	30	30	—	25	—	—	—	54
Масло машинное .	35	15	—	—	—	—	30	—	—	—	—	—	—	—	—
Шамот молотый .	—	—	—	—	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Канифоль	10	—	—	—	20	20	25	—	—	—	—	—	15	—	24
Мука костяная . .	—	—	—	7	—	—	7	—	6	—	—	—	—	—	—
Олеиновая кислота	—	—	—	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—
Бензин	—	—	—	—	—	—	6	—	—	—	—	—	—	—	—
Нефтебитум . . .	—	—	—	—	—	—	30	—	—	—	—	25	—	—	—
Каолин	—	—	20	—	—	—	—	5	—	—	—	—	—	15	—
Мылонафт	—	—	—	—	—	—	—	15	—	—	5	—	30	—	—
Окись цинка . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5	—	—	—	—	—

В табл. 28 дано 15 различных составов смазок, применяемых при производстве медных, бронзовых и латунных слитков.

В табл. 29 даны составы смазок для изложниц при литье слитков из никеля, никелевых и мельхиоровых сплавов.

Таблица 29

Составы смазок для изложниц при литье слитков из никеля, никелевых и мельхиоровых сплавов, %

Наименование составляющих	Смазки			
	для мельхиора и константана		для монельметалла, марганцевого никеля и нихрома	
Мыло	—	98	—	—
Сажа	—	2	—	—
Канифоль	100	—	—	—
Битум	—	—	75	95
Патока	—	—	20	—
Скипидар	—	—	5	—
Техническое сало	—	—	—	5

Таблица 30

Составы смазок для изложниц, применяемые заводами при литье слитков из меди и ее сплавов

Наименование сплава	Наименование составляющих	Содержание, %
Латунь свинцовистая ЛС59-1	Мазут безводный	75
	Канифоль	15
	Сажа	10
Томпак Л90	Мазут безводный	58
	Мыло	25
	Канифоль	15
	Сажа	2
Медь	Мыло	53
	Масло машинное	35
	Канифоль	10
	Сажа	2
Медь с кадмием	Мазут	90
	Мыло	10
Бронза Бр.ОФ6,5-0,15	Масло растительное	98
	Графит	2

В дополнение к приведенным выше составам смазок, в табл. 30 даны различные смазки, принятые на ряде заводов для цветных металлов и сплавов.

§ 4. ЛИТЬЕ СЛИТКОВ НЕПРЕРЫВНЫМ И ПОЛУНЕПРЕРЫВНЫМ МЕТОДАМИ[1]

Литье слитков непрерывным и полунепрерывным методами имеет ряд преимуществ перед старым методом литья металлов в изложницы и находит все более широкое применение, так как оно способствует получению плотного слитка высокого качества, снижению потерь металла и создает условия для автоматизации и механизации процесса. При этих методах литья значительно улучшаются условия труда работающих.

При производстве слитков цветных металлов и сплавов метод полунепрерывного литья в кристаллизатор получил широкое распространение. Этот метод имеет две разновидности: литье в высокий кристаллизатор и литье в низкий кристаллизатор с непосредственным охлаждением слитка водой.

Схема установки для непрерывного литья в высокий кристаллизатор приведена на рис. 20. Расплавленный металл поступает из

[1] Отчеты института «Гипроцветметобработка» 1952—1955 г.

Продолжение табл. 30

Наименование сплава	Наименование составляющих	Содержание, %
Латуни Л62 и Л68	Канифоль	2—10
	Мазут	Ост.
Медь (слитки диам. 140 *мм*)	Масло машинное	22
	Керосин	43
	Мыло кусковое	35
Медь (слитки диам. 175—200 *мм*)	Масло машинное	19
	Керосин	38
	Сажа	13
	Мыло кусковое	30
Медь легированная и бронза Бр.ОЦ4-3	Растительное масло	65
	Мыло	25
	Канифоль	10
Латуни разных марок	Мазут	50
	Керосин	29
	Алюминиевая пудра	21

плавильной печи в кристаллизатор, охлаждаемый водой. Как известно, скорость кристаллизации является основным фактором, влияющим на качество слитка. Скорость

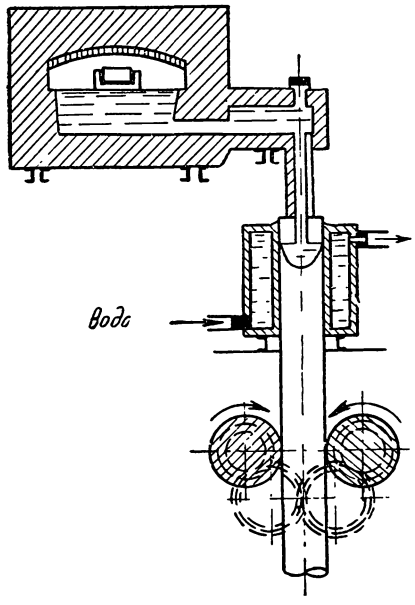


Рис. 20. Схема непрерывного литья в высокий кристаллизатор

кристаллизации при литье в высокий кристаллизатор практически не отличается от скорости литья в обычные водоохлаждаемые изложницы.

Чаще применяется непрерывное литье в короткий кристаллизатор, принципиальная схема которого приведена на рис. 21.

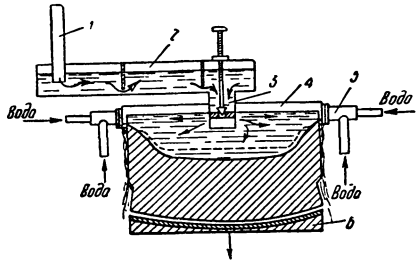


Рис. 21. Схема непрерывного литья плоских слитков:

1 — подача металла; *2* — распределительная коробка; *3* — стопорное дозирующее устройство; *4* — кристаллизатор, *5* – охлаждающее кольцо; *6* — поддон

Процесс литья слитков в короткий кристаллизатор обусловлен необходимостью строгого сохранения формы, по которой осуществляется образование твердой корки металла требуемой толщины. Поверхность кристаллизации при этом должна оставаться неподвижной относительно уровня земли.

Расстояние от поверхности расплава до места подачи воды на слиток должно быть минимальным. Обычно в практике литья для слитков диаметром 140—220 *мм* оно составляет 50—80 *мм*.

Жидкий металл подается в кристаллизатор при помощи распределительной коробки, в которой задерживаются окислы и пленки.

По способу вытягивания слитка из кристаллизатора машины полунепрерывного литья делятся на роликовые и с опускающимся поддоном. Последние подразделяются на гидравлические, винтовые и тросовые машины.

Машины с опускающимся поддоном рассчитаны на получение слитков конечной длины, обычно до 8 *м*. Роликовые машины дают возможность производить отливку непрерывно, а разрезка слитка на мерные заготовки требуемой длины производится с помощью автоматически действующей дисковой пилы. Дисковая пила опускается вместе с разрезаемым слитком, затем после конца разрезки пила автоматически поднимается вверх для отрезки следующей заготовки.

Ряд исследований подтвердил, что слитки, отлитые методом непрерывного или полунепрерывного литья, значительно превосходят по качеству слитки обычного литья и обеспечивают повышенный выход годного на последующих стадиях обработки: прокатке, прессовании, волочении.

Литье полунепрерывным методом плоских слитков сечением 600 × 130 *мм* из сплава

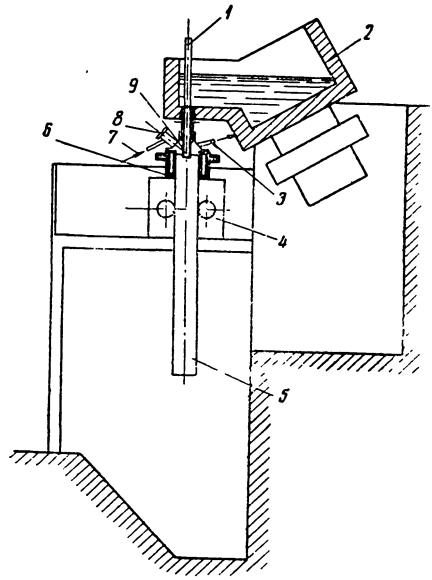


Рис. 22. Схема опытной установки по непрерывному литью круглых слитков латуни:

1 — стопор; *2* — печь; *3* — газоотводящий патрубок; *4*—роликовая машина, *5*—слиток; *6* — кристаллизатор; *7* — подвод газа; *8* — смотровое окно; *9* — колпак

марки Л62 проводилось при следующем технологическом режиме:

1) температура металла в печи перед литьем 1080—1120°;

2) скорость литья 8 *м/час*;

3) количество воды для охлаждения слитка 550 *л/мин;*

4) рубашка кристаллизатора длиной 170 *мм* медная с хромированной внутренней поверхностью;

5) защитная атмосфера — технический азот, пропущенный через слой древесного угля с температурой 700°;

6) распределение металла в кристаллизаторе с помощью горизонтальной трубки длиной 460 *мм* с пятью отверстиями по 14 *мм* каждое;

7) смазка графитом, наносимым на поддон и стенки кристаллизатора перед литьем.

В этой установке, согласно принятой схеме, поступление металла в кристаллизатор осуществляется закрытой струей и обеспечивает равномерное его распределение в кристаллизаторе. Защитная атмосфера над кристаллизатором создает условия, исключающие возможность окисления паров цинка.

Хромирование внутренней поверхности рубашки кристаллизатора устраняет интенсивное налипание цинка при литье. Основным условием получения хорошего качества поверхности слитка является равномерное распределение металла в кристаллизаторе, это достигается с помощью горизонтальной трубки, нижняя часть которой погружена во время литья в лунку.

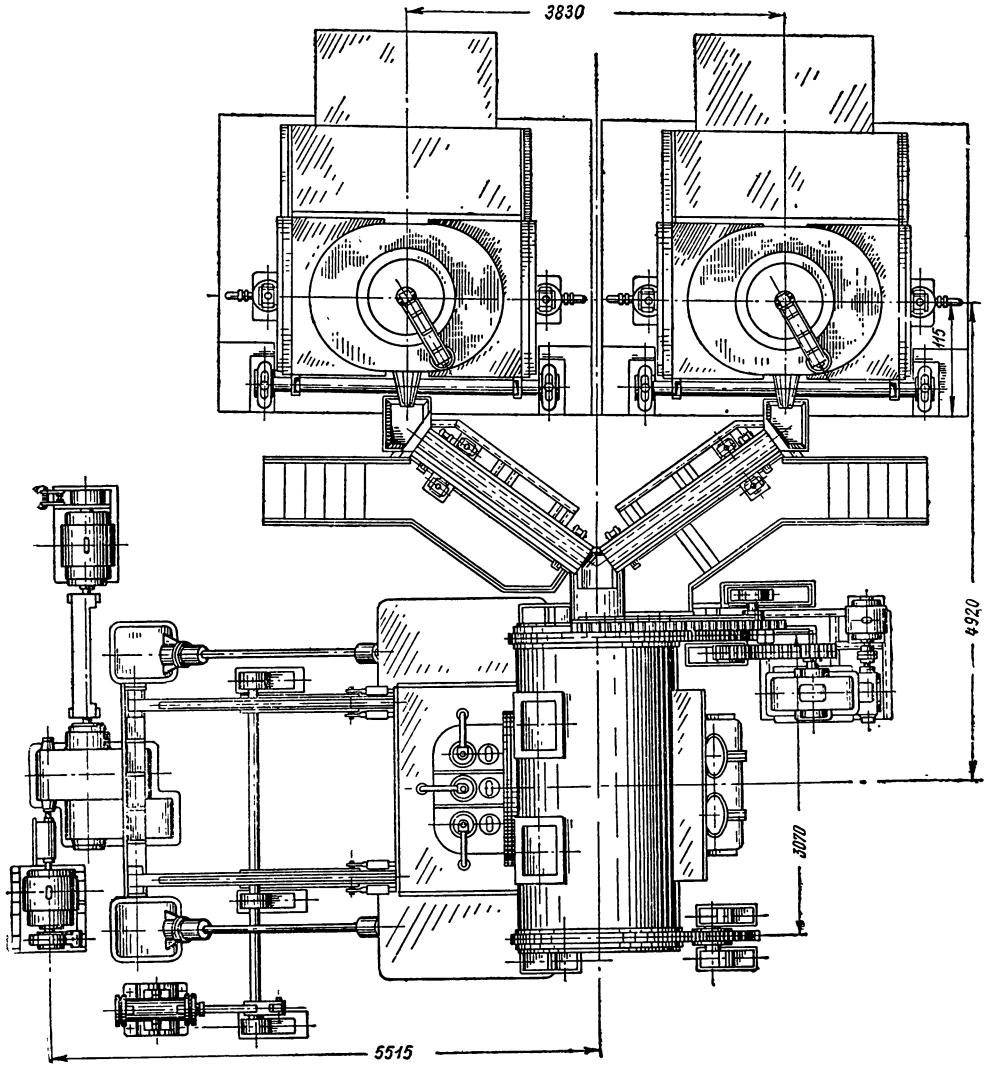


Рис. 23. План установки для полунепрерывного литья, состоящей из двух плавильных печей, миксера и литейной машины

На рис. 22 дана схема опытной установки по непрерывному литью круглых слитков латуни. В качестве плавильно-разливочного агрегата использована обычная однофазная индукционная печь с железным сердечником, шахта которой несколько изменена с расчетом прикрепления к ней разливочной коробки.

В подовой части коробки имеется выпускное отверстие с графитовой трубкой, сверху плотно прикрываемой графитовым стержнем — стопором. К нижней части кожуха коробки прикреплен специальный колпак, имеющий смотровое окно и газоотводящий патрубок. Подъем стопорного стержня на ту или иную высоту регулирует количество металла, поступающего в кристаллизатор.

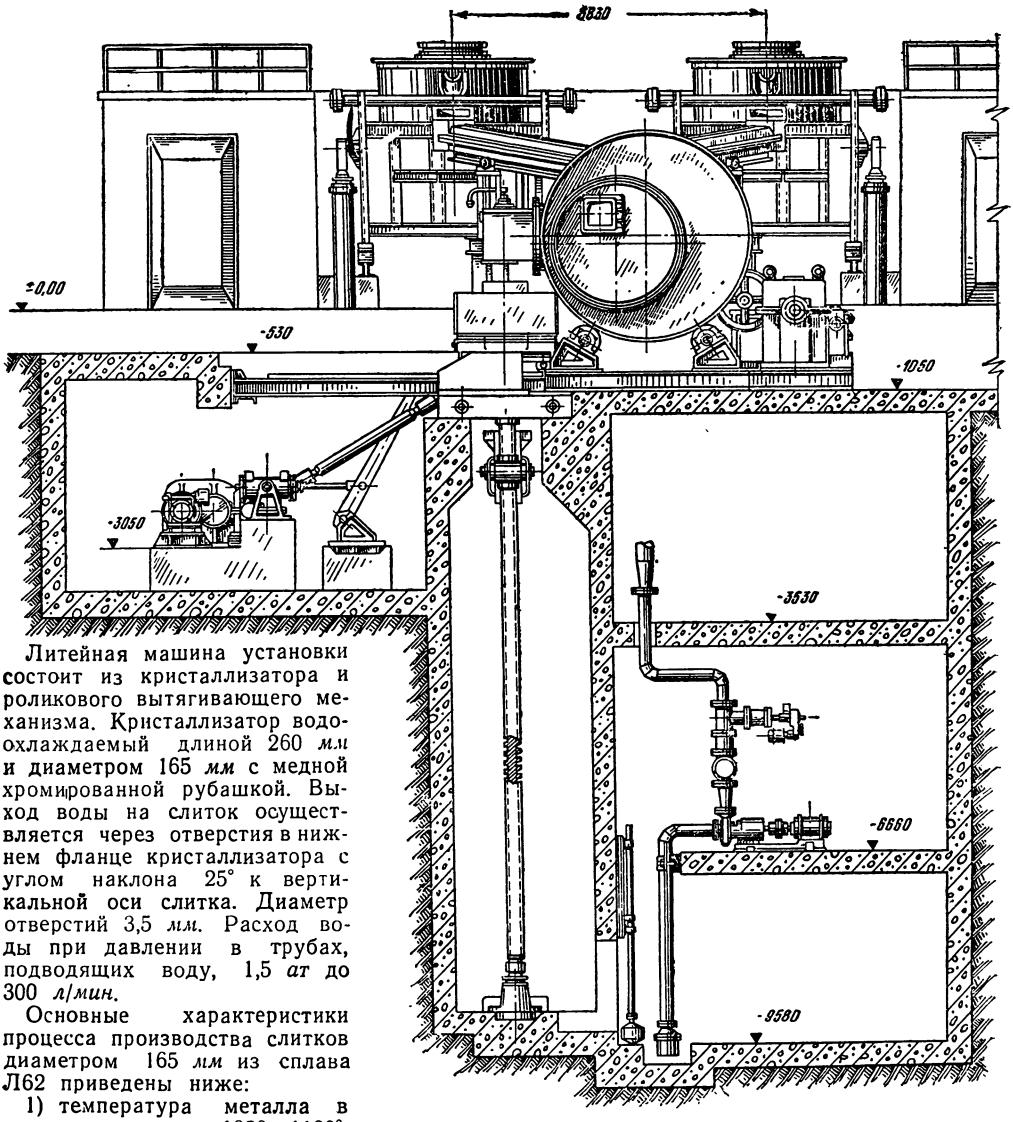
3) количество воды для охлаждения слитка 250—300 *л/мин;*

4) защитная атмосфера — азот с содержанием 6—7% CO, до 2% CO_2 и до 2% O_2;

5) смазка — трансформаторное масло.

Газ указанного состава может быть получен пропусканием технического азота через древесный уголь при 800—850°.

Ряд последующих экспериментальных работ дал возможность усовершенствовать технологию непрерывного литья медноцинковых сплавов. Поскольку не везде на заводах имеется оборудование для получения технического азота, были поставлены опыты, в результате которых было установлено, что имеется возможность получить защитную атмосферу под колпаком кристаллиза-



Литейная машина установки состоит из кристаллизатора и роликового вытягивающего механизма. Кристаллизатор водоохлаждаемый длиной 260 *мм* и диаметром 165 *мм* с медной хромированной рубашкой. Выход воды на слиток осуществляется через отверстия в нижнем фланце кристаллизатора с углом наклона 25° к вертикальной оси слитка. Диаметр отверстий 3,5 *мм*. Расход воды при давлении в трубах, подводящих воду, 1,5 *ат* до 300 *л/мин*.

Основные характеристики процесса производства слитков диаметром 165 *мм* из сплава Л62 приведены ниже:

1) температура металла в печи перед литьем 1070—1100°;

2) скорость литья 12 *м/час*;

Рис. 24. Разрез установки для полунепрерывного литья, состоящей из двух плавильных печей, миксера и литейной машины

тора, если продувать атмосферный воздух через газогенератор, заряженный древесным углем с температурой 750—800°.

Наличие защитной атмосферы создает благоприятные условия для нанесения жидкой смазки на стенки кристаллизатора. Из-за отсутствия кислорода смазка не выгорает и основная ее масса направляется к стенкам кристаллизатора, образуя между слитком и кристаллизатором по всей его высоте жидкую прослойку. Применение смазки при литье латуни значительно уменьшает трение слитка о стенки кристаллизатора и степень обесцинкования поверхности отливаемых слитков.

Сравнение технико-экономических показателей непрерывного литья с обычным литьем в изложницы показало, что выход годного по всему металлургическому циклу примерно на 5% выше при непрерывном методе литья. Применение высокопроизводительных установок обеспечит технико-экономические преимущества непрерывного литья по всем показателям.

Сооружаемые на ряде заводов промышленные установки полунепрерывного литья включают комплекс агрегатов. При малотоннажном производстве слитков применяется установка: плавильная печь — литейная машина. При увеличенном тоннаже рекомендуется другая схема, а именно: плавильная печь — миксер — литейная машина. Примером может служить установка, состоящая из печи ОКБ-259 емкостью 1,5 *т*, миксера ИЛМ-2,5 емкостью 2,5 *т* и литейной машины.

Таблица 31

Скорости литья слитков полунепрерывным методом

Наименование сплава	Форма и размеры слитков *мм*	Скорость литья, *м/час*
Алюминиевая бронза	Круглый 163	5,0—5,5
	190	4,0—4,5
	240	3,4
	290	2,5
Бронза Бр.КМц3-1 (эвердур) . . .	163	3,0—3,5
	240	1,5
Бериллиевая бронза	120	6,5—7,0
	163	4,5—5,0
Латунь Л62 . . .	163	12,0
Медь	163	10,0
Нейзильбер . . .	163	10,0—12,0
Бронза Бр.ОЦ4-3	163	10,0
Константан . . .	Квадратный 120	5,0
Латунь Л68 . . .	Плоский	7,0—8,0

При валовом производстве сплавов для непрерывно работающих установок вполне рентабельной является схема: плавильные печи — миксер — литейная машина.

На рис. 23 показан план такой установки. Из двух плавильных печей металл периодически поступает в миксер, а из последнего — в литейную машину. На рис. 24 дан разрез этой же установки. Скорости литья даны в табл. 31.

Технология непрерывного литья плоских слитков из сплава марки Л68 характеризуется следующими параметрами:

1) кристаллизатор с медной рубашкой высотой 200 *мм;*

2) скорость литья 7—8 *м/час;*

3) количество воды для охлаждения слитка 350—400 *л/мин;*

4) температура в печи перед литьем 1120—1140°;

5) смазка — трансформаторное масло;

6) газовая атмосфера над металлом в кристаллизаторе — генераторный газ, полученный пропусканием воздуха через древесный уголь с температурой 750—850°.

1. Производство слитков бронзы Бр. КМц3-1 (эвердур) методом непрерывного литья

Отливка слитков бронзы Бр.КМц3-1 (эвердура) полунепрерывным методом значительно улучшила плотность их по сравнению с обычным литьем в изложницы.

Для получения хорошего качества поверхности слитков применяют голландскую сажу. При литье открытую поверхность металла засыпают слоем сажи толщиной 15—20 *мм*. Это предохраняет поверхность жидкого металла от окисления и захолаживания, кроме того, при этом достигается полная автоматизация поступления сажи — смазки между слитком и кристаллизатором во время литья. Применение сажи также улучшает поверхность слитков медноникелевых сплавов.

Технология непрерывного литья слитков диаметром 165 *мм* из латуни марки ЛС59-1:

1) кристаллизатор с медной хромированной рубашкой высотой 260 *мм;*

2) количество воды для охлаждения слитка 250—300 *л/мин;*

3) температура металла в печи перед литьем 1060—1080°;

4) скорость литья 14 *м/час;*

5) смазка — трансформаторное масло;

6) газовая атмосфера над металлом в кристаллизаторе — генераторный газ.

Отлитые слитки не имеют внутренних дефектов, в том числе трещин. Прутки латуни ЛС59-1, отпрессованные из слитков непрерывного литья, имеют высококачественный излом без следов литейных дефектов.

Температура литья слитков из сплавов на медной и никелевой основе приведена в табл. 32.

Таблица 32

Температура литья слитков, °С

Наименование сплавов	Круглых диам. 160—300 *мм*	Плоских толщиной 140—200 *мм*
Медь:		
чистая	1170—1200	1180—1200
легированная	1200—1240	—
с кадмием	1180—1210	—
Латунь:		
Л80 . .	1150—1190	—
Л68 . .	1100—1140	1130—1160
Л62 . .	1070—1100	1080—1120
ЛС59-1	1020—1080	1040—1100
ЛС63-3	1100—1140	—
Л70 . .	—	1130—1160
Бронза:		
Бр ОЦ4-3	1190—1220	—
Бр ОЦС4-4-4 . .	—	1280—1300
Бр.ОФ6,5-0,15	—	1280—1310
Бр.КМц3-1 (эвердур) . .	1240—1280	—
Никель	1500—1550	1580—1590
Нейзильбер . .	1130—1180	1160—1180
Мельхиор . . .	—	1270—1320
Константан . .	1300—1350	—
Монель-металл	1500—1550	—
Копель	1300—1350	—
Алюмель . . .	1500—1600	—
Хромель . . .	1600—1650	—
Манганин . . .	1180—1230	—

2. Подсчет расхода воды

Расход воды, необходимой для охлаждения слитка при непрерывном литье, подсчитывают следующим образом. Вначале определяют количество тепла Q, которое необходимо отвести от слитка:

$$Q = m\,[C_1(t_3 - t_2) + q + C_2(t_2 - t_1)],$$

где m — вес металла, *кг*;

C_1, C_2 — теплоемкость металла при соответствующей температуре, *кал/г* · °С;

t_3 — температура расплава, °С;

t_2 — температура плавления сплава, °С;

t_1 — конечная температура отходящей воды (обычно 35°);

q — скрытая теплота плавления, *кал/г*.

Расход воды находят по формуле

$$W = \frac{Q}{C\,(t_1 - t_4)},$$

где t_4 — температура воды, поступающей в кристаллизатор;

C — теплоемкость воды.

3. Производство слитков из алюминия и алюминиевых сплавов

При производстве слитков из алюминия и алюминиевых сплавов основным методом литья является непрерывный метод. Форма и размеры слитков, изготовляемых этим методом из алюминиевых сплавов, даны в табл. 33.

Таблица 33

Форма и размеры слитков из алюминия и алюминиевых сплавов, отлитых непрерывным методом

Форма слитка	Размеры слитка, *мм*	
	толщина	ширина
Плоский . . .	118—135 200—250 300	540—900 800—1000 1570
Цилиндрический	Диам. 90—800	—
Полый	Наружн. диам. 200—400	Внутрен. диам. 50—320

Размеры слитков выбирают в зависимости от размеров выпускаемой продукции, условий последующей обработки давлением и мощности прокатного или прессового оборудования.

Кристаллизатор изготовляют тонкостенным из меди или из алюминиевых сплавов.

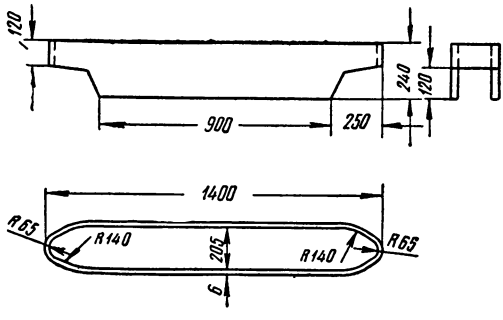


Рис. 25. Кристаллизатор с вырезами для литья непрерывным методом слитков из алюминиевых сплавов

Внутреннюю поверхность кристаллизатора тщательно обрабатывают и полируют. При литье крупных плоских слитков (например, из сплава Д16 размером 200 × 1400 *мм*) для предупреждения образования трещин на узких боковых сторонах слитка применяют кристаллизаторы с вырезами на боковых гранях (рис 25). Вырез не устраняет, а перераспределяет напряжение в слитке. Высота кристаллизатора колеблется в пределах 0,25—1,5 D, где D — диаметр отливаемого слитка.

Таблица 34

Виды брака алюминиевых слитков, отлитых непрерывным методом, и причины его возникновения

Виды брака	Причина появления
Плоские слитки	
Белые полосы на поверхности слитка без видимых трещин	Отсутствие подачи воды в местах появления полос вследствие частичного засорения отверстий нижнего охлаждающего кольца
Донные трещины с загрязнениями	Неслитины в металле у дна. Затравка залита холодным металлом или заливка сплава велась на затвердевшую затравку
Боковые трещины на малой боковой грани без видимых горячих трещин	Тонкие окисные плены, видимые в изломе
Боковые трещины, имеющие начало по горячим надрывам на узкой грани или в углах	Перекос кристаллизатора и задиры на его внутренней поверхности
Горячие задиры и надрывы на широкой и узкой гранях слитка	То же
Черные полосы на поверхности слитка без видимых трещин	Перерывы в подаче воды вследствие засорения отверстий нижнего охлаждающего кольца
Трещины в головной части слитка, возникающие после остановки машины	Попадание воды на верх слитка, так как слиток опущен вниз недостаточно
Тонкие поверхностные трещины, идущие по белым или черным полосам	Перерывы в подаче воды на слиток вследствие засорения отверстий нижнего охлаждающего кольца
Неслитины, завороты, шлаковые включения и сопровождающие их мелкие трещины	Плохая съемка шлака в начале литья
Круглые слитки	
Диаметральные трещины	Отливка на завышенных скоростях. Неправильное положение нижнего охлаждающего кольца (неравномерное охлаждение)
Радиальные трещины	Отливка при завышенных температурах. Неправильное положение нижнего охлаждающего кольца
Надрывы и неслитины	Задиры на внутренней поверхности кристаллизатора. Недостаточная смазка. Перекос в установке кристаллизатора. Непостоянство уровня расплава
Загрязнения посторонними включениями	Отливка при заниженной температуре. Небрежная работа литейщика
Периферийная пористость	Неправильное положение нижнего охлаждающего кольца, чересчур обильная смазка. Отливка при завышенной температуре
Полые слитки	
Радиальные внутренние трещины	Неправильное центрирование стержня (перекос) Малая конусность и высота стержня. Слишком интенсивное охлаждение внутренней поверхности слитка
Радиальные наружные трещины	Слишком высокий кристаллизатор
Круговые трещины	Малая высота стержня (по сравнению с высотой кристаллизатора)
Поперечные трещины	Неправильное центрирование стержня (перекос)

Расход воды для охлаждения цилиндрических слитков из алюминиевых сплавов составляет 200—400 *л/мин* на 1 *пог. м* окружности слитка; для плоских слитков — от 500 до 1000 *л/мин* на 1 *пог. м* периметра слитка при давлении воды 1 *ат*. Отверстия, через которые вода подается на выходящий из кристаллизатора слиток, имеют диаметр около 3 *мм*. Общая площадь отверстий должна быть на 20—25% меньше сечения подводящего водопровода и обеспечивать подачу необходимого количества воды для охлаждения слитка. Угол наклона отверстий к оси при высоте кристаллизатора 100 *мм* составляет 20—25°. При литье слитков диаметром более 100 *мм* и плоских слитков обязательно применение распределительной коробки, обеспечивающей равномерное поступление расплава в кристаллизатор.

В табл. 24 и 25 приведены скорости непрерывного литья плоских и цилиндрических слитков из алюминия и алюминиевых сплавов.

Порядок производства основных операций при литье алюминиевых слитков следующий:

1) выключают подачу воды;

2) устанавливают распределительную коробку;

3) при литье слитков из сплавов Д1 и Д16 на поддон в качестве затравки заливают чистый алюминий слоем 15—25 *мм* при температуре 700°; при литье остальных алюминиевых сплавов затравку не применяют;

4) после того, как алюминиевая затравка станет кашеобразной, заливают сплав в кристаллизатор;

5) корку окислов, образовавшуюся в начале литья, сразу же удаляют;

6) когда уровень металла достигнет высоты 60—70 *мм* от верхнего края кристаллизатора, включают механизм опускания поддона;

7) после получения слитка необходимой длины прекращают подачу металла в распределительную коробку;

8) снимают распределительную коробку;

9) после охлаждения слитка ниже 100° его извлекают из приямка;

10) поддон возвращают в исходное положение для продолжения литья.

Виды брака, появляющегося при литье алюминиевых слитков методом непрерывного литья, и основные причины его возникновения приведены в табл. 34.

§ 5. ПРОИЗВОДСТВО ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ ВАКУУМНОГО ВСАСЫВАНИЯ

Заготовки для вертикальных прессов в виде болтов диаметром 80 или 100 *мм* обычно получают либо прессованием слитков на горизонтальных прессах, либо прокаткой.

По новой технологии, предложенной доцентом Уральского политехнического института Б. М. Ксенофонтовым, болты диаметром 82 и длиной 1000 *мм* получают методом вакуумного всасывания непосредственно из жидкого металла. Сущность этого метода состоит в том, что жидкий сплав всасывается в водоохлаждаемый кристаллизатор и, затвердевая по всему сечению, образует слиток — заготовку.

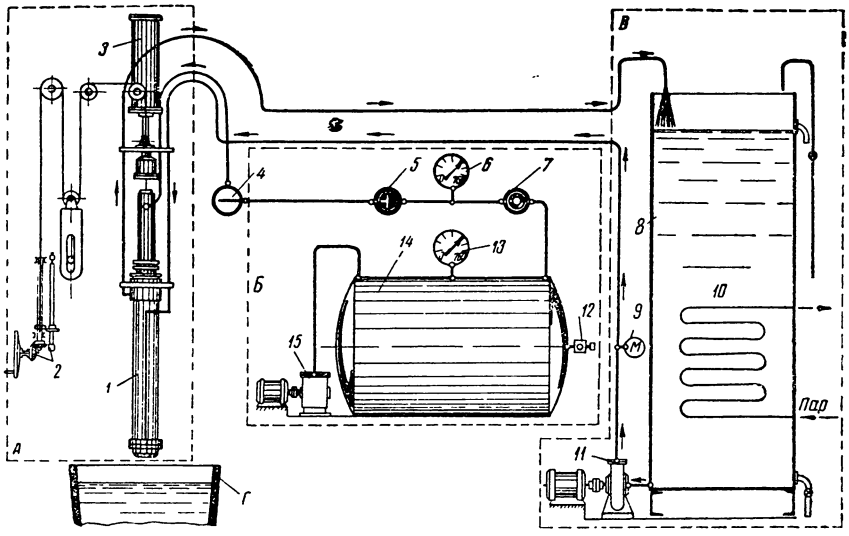


Рис. 26. Схема промышленной установки для получения слитков методом всасывания: *1* — кристаллизатор, *2* — устройство для настройки кристаллизатора на уровень сплава в ванне; *3* — пневматический цилиндр; *4* — уловитель брызг; *5, 7* — вакуум-краны, *6, 13* — вакуумметры, *8* — бак для охлаждающей воды; *9* — манометр; *10* — водоподогреватель; *11* — центробежный насос; *12* — игольчатый натекатель; *14* — баллон; *15* — вакуум-насос

Переход на литье методом всасывания на сплавах Бр.ОФ4-0,25 и Л62 обеспечил повышенный выход годного как в литейном цехе, так и на последующей обработке. На получение одного слитка диаметром 80 и длиной 1200 *мм* затрачивается около 120 сек., из них 90 сек. расходуется на всасывание и кристаллизацию слитка, остальные 30 сек. — на вспомогательные операции (чистку, смазку кристаллизатора и удаление слитка). Следует также отметить, что производство болтов методом всасывания дает значительный экономический эффект по сравнению с изготовлением таких же болтов посредством прокатки или прессования. Переход на литье методом всасывания на сплаве Бр.ОФ4-0,25 обеспечил повышение выхода годного по литейному цеху до 5%, по прессовому до 10—12%. При этом операции прокатки слитков на болты или прессования их на горизонтальном прессе полностью отпадают. Производительность однокристаллизаторной установки при непрерывном питании ее жидким металлом доходит до 30—35 *т/сутки*. Запроектированная и уже осуществленная на одном из заводов новая более мощная двухкристаллизаторная установка может обеспечить при наличии миксера выпуск до 60 *т* слитков в сутки.

На рис. 26 показана принципиальная схема промышленной установки для получения слитков методом всасывания. Установка состоит из литейной машины *А*, вакуум-системы *Б*, системы охлаждения *В* и плавильно-раздаточной печи *Г*.

1. Получение слитков хорошего качества из бронзы Бр.ОСЦ4-4-4 литьем в изложницу с подвижной стенкой [1]

По существующей технологии производство слитков бронзы Бр.ОЦС4-4-4 включает следующие операции:

1) плавку в электрической высокочастотной печи под угольным покровом;

2) литье в водоохлаждаемую изложницу, смазанную трансформаторным маслом, со скоростью заполнения 5,5—10 *мм/сек*.

В качестве раскислителя перед литьем добавляли фосфористую медь из расчета получения фосфора 0,05%. Относительно невысокий выход годных бронзовых полос по существующей технологии получается главным образом вследствие больших отходов при механической обработке слитков, а также низкого качества поверхности полос, получаемых в результате прокатки.

Опытные отливки слитков бронзы Бр.ОЦС4-4-4, полученные непрерывным методом, не дали положительных результатов. На слитках получались надрывы и пережимы в углах.

[1] Отчет института «Гипроцветметобработка», 1959 г.

Наилучшие результаты были получены при использовании метода литья в изложницу с подвижной стенкой. Суть метода заключается в следующем: в изложницу, у которой нет одной боковой стенки (обычно узкой), заливают металл минимальной струей. Вначале металл подают около дна изложницы. Затем, по мере заполнения, место ввода металла непрерывно перемещается снизу вверх, оставаясь во всех случаях в непосредственной близости от уровня металла, находящегося в изложнице.

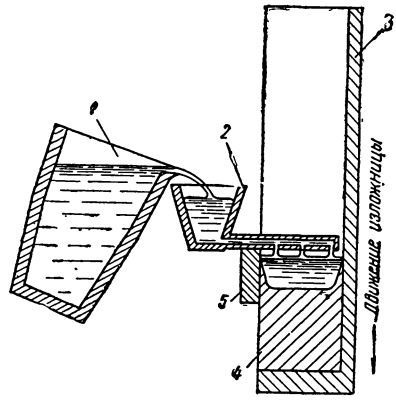


Рис. 27. Схема установки для литья в изложницу с подвижной стенкой:
1 — разливочный тигель; *2* — литейная воронка с трубой; *3* — изложница, *4* — затвердевший слиток; *5* — подвижная стенка

Для того чтобы металл не выливался из изложницы, последняя имеет подвижную стенку, представляющую собой металлический ползун, передвигающийся относительно изложницы снизу вверх по мере того, как изложница заполняется металлом.

Последующая обработка слитков, полученных этим методом, показала возможность значительного увеличения выхода годного при производстве полос из бронзы Бр.ОЦС4-4-4 путем применения литья в изложницу с подвижной стенкой. Схема установки представлена на рис. 27.

§ 6. ВАКУУМНАЯ ПЛАВКА [1]

Плавка и разливка в вакууме имеют ряд преимуществ, а именно:

1) получение исключительно плотного беспузыристого слитка;

2) получение металлов и сплавов, не содержащих кислорода и других газов;

3) повышение пластичности металла;

4) меньший, по сравнению с другими способами плавки, расход электроэнергии на 1 *т* сплава;

5) возможность получения сплава точного химического состава;

6) возможность получения пластичных слитков из металлов, обладающих большой

[1] Отчеты института «Гипроцветметобработка», 1951 и 1954 гг.

химической активностью (титан, цирконий и др.).

Перечисленные преимущества делают вакуумную плавку в ряде случаев вполне рентабельной, а для металлов и сплавов с высокой химической активностью — необходимой. К вакуумным печам предъявляется ряд требований, а именно:

1) быстрота получения желаемой температуры;

2) достижение необходимой степени разрежения в короткий срок;

3) удобства при загрузке и разливке металла;

4) обеспечение герметичности плавильного пространства;

5) возможность быстрого перехода с плавки одного сплава на плавку другого.

Вакуумные печи удовлетворяют указанные требования, причем наибольшее распространение получили индукционные печи без сердечника.

1. Вакуумная плавка меди

При установлении технологии вакуумной плавки меди было опробовано два метода изготовления слитков:

1) изготовление слитков посредством «замораживания» под вакуумом расплавленной в тигле меди;

2) изготовление слитков путем заливки расплава меди в изложницу.

Результаты плавок меди в вакууме с замораживанием слитков в тигле приведены в табл. 35.

Таблица 35

Плавка меди в вакууме с замораживанием слитков в тигле

№ плавки	Вес плавки, *кг*	Время плавления мин.	Время дегазации мин.	Время кипения мин.	Температура дегазации °С	Показание манометра *мм* рт. ст.	Время застывания слитка мин.	Размер усадки *мм*	Качество слитка
1	40	45	30	10	1200	3—5	90	150	Пористый
2	40	40	50	8	1200	1—2	90	145	»
3	40	70	35	15	1300	1—2	90	125	Плотный
4	40	45	45	12	1270	1—2	90	150	»
5	40	45	45	8	1230	2—3	80	130	Пористый
6	40	50	40	14	1280	2—3	80	135	Плотный
7	40	40	60	8	1300	5—15	120	145	Пористый
8	40	35	60	12	1300	4—5	90	140	Плотный
9	40	40	50	10	1300	3—4	90	140	»
10	40	40	50	8	1300	1—2	90	145	»

Из таблицы видно, что плотность слитков находится в прямой зависимости от температуры дегазации. Температура дегазации 1200—1300° не обеспечивает получения плотного слитка.

Плохой вакуум также не обеспечивает плотности слитка; при плавке № 7 вакуум поддерживали в пределах 5—15 *мм* рт. ст., вследствие чего слиток оказался пористым.

Кристаллизация слитков обычно продолжалась в течение 75—90 мин. Длина полученных слитков 220—240 *мм*. Как видно из таблицы, глубина усадки составляет примерно $^2/_3$ длины слитка.

С целью получения плотного слитка с минимальной усадочной раковиной были проведены плавки с концентрацией тепла во время охлаждения в верхней части тигля с расплавом, для достижения этого выключали несколько нижних витков индуктора и применяли тепловую насадку.

Результаты плавок даны в табл. 36.

Таблица 36

Плавка с концентрацией тепла во время охлаждения в верхней части тигля

№ плавки	Вес плавки *кг*	Время плавления мин.	Время дегазации мин.	Время кипения мин.	Температура дегазации, °С	Показание манометра, *мм* рт. ст.	Время застывания слитка, мин.	Размер усадки *мм*
11	40	45	60	8	1300	1—2	110	100
12	40	45	90	10	1300	3—5	110	100
13	40	40	50	8	1300	3—5	110	100
14	40	40	50	10	1300	2—3	110	90
15	40	45	50	10	1300	2—3	120	90
16	40	40	45	7	1300	1—2	125	30
17	40	40	45	8	1320	1—2	130	30
18	40	45	45	10	1320	1—3	125	25
19	40	45	45	12	1320	2—4	125	30
20	40	45	45	10	1300	0,5—1	130	25
21	40	40	40	10	1320	1—2	130	25
22	40	40	40	8	1330	1—2	130	25

Примечание. Применена тепловая насадка.

По внешнему виду полученные слитки были совершенно чистыми, после резки оказались плотными, без газовых раковин и пор. Структура слитков была очень крупнозернистой, некоторые кристаллы достигали 40—60 *мм* в поперечнике.

Слитки высокой плотности можно полу-

чать методом замораживания при соблюдении ряда условий, а именно:

1) температура дегазации 1300° и выше;
2) время дегазации 30—45 мин.;
3) вакуум должен быть 1—5 *мм* рт. ст.;
4) применение тепловой насадки.

2. Изготовление слитков путем заливки в изложницу

Плотные слитки при заливке расплавленной меди в чугунные изложницы можно получить, соблюдая следующие правила:

1) температура дегазации меди должна быть 1350—1400°;
2) время дегазации 30—35 мин.;
3) заливку необходимо проводить через воронку с диаметром отверстия 5—6 *мм*;
4) показание манометра должно быть не более 5—7 *мм* рт. ст.;
5) для получения слитков с чистой поверхностью изложницы необходимо смазывать графитом или окисью цинка;
6) для сокращения глубины усадки применять тепловую насадку.

В результате проведенных в институте «Гипроцветметобработка» исследовательских работ была установлена оптимальная технология производства плотных слитков без внутренних и наружных дефектов. Слитки, как это видно из проведенных опытов, можно отливать двумя методами:

1) методом «замораживания» расплавленной и дегазированной меди в тигле под вакуумом;
2) методом заливки расплавленной и дегазированной меди в изложницы.

Второй метод примерно в два раза производительнее первого, причем структура слитков, залитых в изложницы, более мелкозернистая, чем структура слитков, полученных замораживанием. Для промышленных целей может быть рекомендован второй метод как более производительный.

3. Вакуумная плавка никеля

Получение плотных никелевых слитков методом вакуумной плавки может быть обеспечено при температуре дегазации не ниже 1700° с остаточным давлением 1—5 *мм* рт. ст.

Выдержка при дегазации после расплавления до момента заливки никеля должна быть 30—40 мин. Экспериментальными работами установлено, что плотные слитки без пор, раковин, с минимальным количеством газов и примесей можно готовить при соблюдении следующих основных условий:

1) температура дегазации 1700—1740° с выдержкой после расплавления металла 35—40 мин.;
2) вакуум с остаточным давлением 1—5 *мм* рт. ст.;
3) подогрев изложницы и воронки до температуры не ниже 300°;
4) диаметр отверстия в воронке при плавке шихты весом 20 *кг* необходимо брать 5—6 *мм*;
5) в качестве раскислителя следует применять углерод в виде лигатуры никель-углерод в количестве 0,1—0,15% от веса шихты.

Многочисленные слитки, отлитые с соблюдением перечисленных условий, обладали весьма значительной плотностью 8,90—8,92 *г/см*^{3}.

§ 7. СЛИТКИ ИЗ ТИТАНА

Полученная в результате обогащения титановой руды и многократной переработки концентрата титановая губка представляет пористую серую массу с удельным весом 1,5—2.0 *г/см*^{3}, имеющую высокую вязкость. Во избежание порчи титановой губки из-за насыщения атмосферными газами и влагой ее следует транспортировать и хранить перед плавкой в герметически закрытых контейнерах. Для получения из губки компактного титана в слитках применяют либо индукционную, либо дуговую плавку.

1. Индукционная плавка

Преимуществами индукционной плавки являются:

1) получение сплавов однородного химического состава за счет интенсивного перемешивания всей ванны металла в процессе плавки;
2) применение этого метода для переплавки крупных отходов титана;
3) отливка крупных слитков различной формы благодаря значительной по объему ванне жидкого металла;
4) предотвращение поглощения расплавленным металлом кислорода, водорода и азота, так как индукционная плавка производится под защитной атмосферой, либо под вакуумом.

Для промышленного изготовления тиглей для плавки титана применяется только плотный графит. Поглощение титаном углерода из графитового тигля, в котором идет плавка, является основным недостатком индукционного метода. Титан, полученный этим методом, содержит обычно от 0,3 до 1,0% углерода. Присутствие углерода ухудшает механические свойства титана: делает его недостаточно пластичным. По этой причине титан и его сплавы, отлитые в индукционных печах, пригодны для фасонной отливки, горячей ковки и совершенно не пригодны для прокатки и волочения.

На рис. 28 изображена схема индукционной печи, в которой плавка титана производится в атмосфере инертного газа. В бункер, находящийся над печью, также подается инертный газ. В нижней части тигля имеется отверстие, закрываемое перед плавкой пробкой из титана. После расплавления металла в тигле и включения вспомогательной индукционной катушки происходит расплавление пробки и выпуск расплавленного металла из тигля в графитовую изложницу, размещенную под печью.

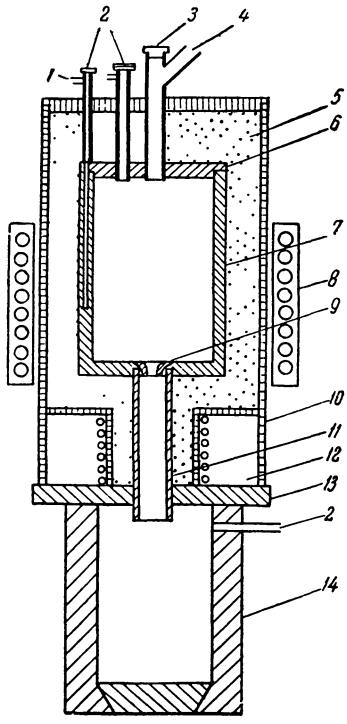


Рис. 28. Схема индукционной печи для плавки титана:

1 — ввод аргона; *2* — смотровые трубки; *3* — труба для прочистки; *4* — отверстие для добавки титана в тигель; *5* — изоляция из сажи, *6* — графитовая крышка; *7* — графитовый тигель; *8* — водоохлаждаемый индуктор для плавки; *9* — графитовое выпускное отверстие; *10* — кожух; *11* — графитовая трубка; *12* — водоохлаждаемый индуктор для выпуска металла из тигля; *13* — графитовое основание; *14* — графитовая изложница

По данным зарубежной практики, расход электроэнергии при плавке в индукционной печи составляет 1322 *квт-ч/т* титана. Продолжительность плавки слитка весом 225 *кг* составляет 10,5 час.

2. Дуговая плавка

Для плавки титановой губки наиболее распространенным методом является дуговая плавка, причем для титана и его сплавов сущность этого метода состоит в непрерывном наращивании слитка с помощью вращаемого электрода в водоохлаждаемой изложнице в защитной атмосфере инертного газа или под вакуумом. Интенсивное охлаждение медной изложницы исключает взаимодействие расплавленного титана с медью. Титановый слиток по мере наплавления непрерывно опускается в низ печи.

Для питания дуговых печей может применяться как переменный, так и постоянный ток.

На рис. 29 показана схема автоматической дуговой печи для плавки и непрерывной отливки титана в атмосфере инертного газа.

В дуговых печах тигель с расплавленным титаном является одним из двух электро-

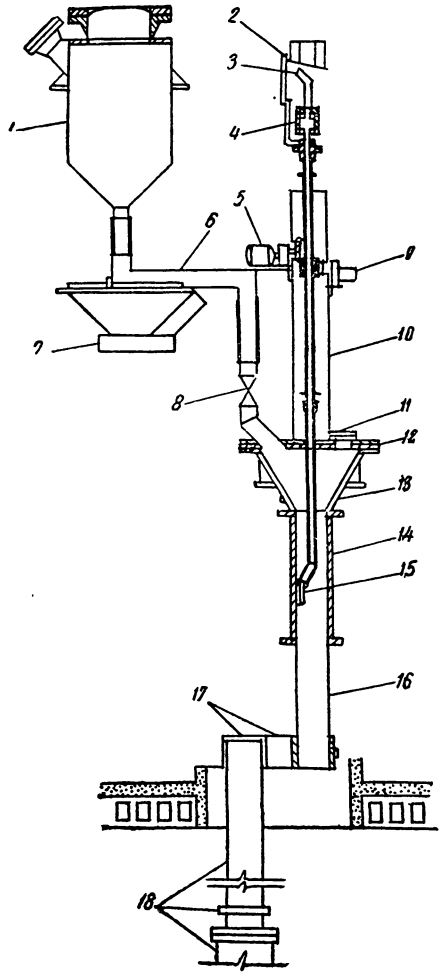


Рис. 29. Схема дуговой плавильной печи непрерывного действия:

1 — питающий бункер; *2* — кабель к электроду; *3* — ввод воды; *4* — выход воды; *5* — мотор для вращения электрода; *6* — подающая труба; *7* — питатель; *8* — шаровой запирающий клапан; *9* — мотор для подачи электрода; *10* — узел автоматической подачи электрода; *11* — смотровое окно; *13* — водоохлаждаемая горловина тигля; *14* — водоохлаждаемый тигель; *15* — водоохлаждаемый электрод; *16* — слиток; *17* — слиткодержатель; *18* — извлекатель слитка

дов. Другой электрод может быть расходуемым или нерасходуемым.

Применение расходуемого электрода, изготовляемого из титана, дает определенные преимущества: загрязнения плавки посторонними включениями не происходит. Однако применение его связано с рядом трудностей, так как титан должен быть

подготовлен в форме прутка, который надо непрерывно вводить в печь, сохраняя при этом ее герметичность.

В качестве нерасходуемого электрода может быть применен вольфрам, удовлетворяющий многочисленным требованиям,

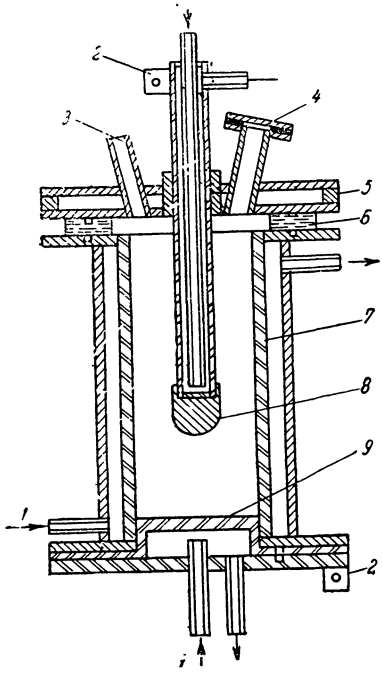


Рис. 30 Схема дуговой печи с графитовым электродом:
1 — вода; *2* — подвод тока; *3* — отверстие для подачи титана; *4* — смотровое окно; *5* — водоохлаждаемая крышка печи; *6* — изоляция; *7* — медный водоохлаждаемый тигель; *8* — графитовый водоохлаждаемый электрод; *9* — медная водоохлаждаемая плита

предъявляемым к материалу электрода. Весьма часто в качестве нерасходуемого электрода применяют графит. Графитовые электроды перед использованием окунают в расплавленный титан с целью создания на конце защитного слоя из карбида титана, который снижает степень испарения углерода и в то же время защищает электрод от дальнейшей диффузии в него титана.

На рис. 30 изображена схема дуговой печи с графитовым электродом. Расход электроэнергии на плавку титана в дуговой печи с нерасходуемым электродом составляет около 4400 *квт-ч/т*. Высокий расход электроэнергии в дуговых печах связан с необходимостью применения водяного охлаждения всех элементов печи.

Высокая стоимость плавки титана зависит не только от большого расхода электроэнергии, но и от необходимости применения защитной атмосферы, частой смены медных изложниц и большой трудоемкости процесса плавки.

Методом дуговой плавки в настоящее время получают слитки весом до 2,7 *т*.

§ 8. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СЛИТКОВ

Механическую обработку слитков производят после полного их охлаждения; она заключается в отрезке литниковой и донной частей, разрезке слитка на заготовки требуемых размеров, очистке поверхности слитка от литейных пороков, раковин, неметаллических включений и пр. При повышенных требованиях к поверхности производят обточку цилиндрических и фрезерование или строжку плоских слитков.

Разрезают слитки обычно на дисковых пилах, быстроходных или тихоходных. Быстроходные пилы применяют для разрезки слитков из латуни, меди, а также из алюминиевых и магниевых сплавов. Основные характеристики быстроходных пил даны в табл. 37.

Тихоходные дисковые пилы применяют для разрезки слитков из более твердых сплавов: медноникелевых, специальных бронз и др. В табл. 38 приведены характеристики тихоходных дисковых пил.

1. Маятниковая шарошка

Для удаления с поверхности слитков местных дефектов в виде различных включений, трещин, раковин, заусенцев применяется маятниковая шарошка. Фреза, с помощью которой устраняются наружные пороки, состоит из обоймы и вставных стальных зубьев, укрепленных в обойме с помощью шайбы.

2. Инструкция по отбору проб и контролю химического состава свежих металлов и слитков

Определение и назначение

Настоящая инструкция предусматривает:

1. Порядок отбора проб для химических анализов исходных металлов и слитков.
2. Порядок передачи проб работниками ОТК в лабораторию завода.
3. Порядок приема и хранения проб лабораторией.
4. Перечень химических элементов, подлежащих проверке, по каждому сплаву.

Отбор проб

1. Отбор проб от слитков производят отборщики проб ОТК цеха, а от исходных металлов — внешняя приемка ОТК.

ПРИМЕЧАНИЕ. На готовые изделия отбор проб и анализ их производят в соответствии с ГОСТом на эти изделия.

2. Пробу берут непосредственно из печи после разливки металла. Пробы никеля, никеля кремнистого и марганцовистого берут из первого тигля после раскисления.

В случае получения брака по компонентам, присаживаемым в тигель, повторную пробу берут от всех тиглей анализируемой плавки.

Таблица 37

Основные характеристики быстроходных пил для разрезки слитков

Наименование сплава	Толщина диска *мм*	Максимальный разрез слитка *мм* (не более)	Диаметр диска *мм*	Число оборотов диска в минуту	Скорость резания *мм/мин.*	Мощность электродвигателя *квт* (не более)
Латунь:						
Л62	6—11	425	610—1310	400—1200	750—800	40
Л68	6—11	425	610—1310	400—1200	750—800	40
Л70	6—11	425	610—1310	400—1200	750—800	40
Сплав ЛТ90	6—11	425	610—1310	400—1200	400—500	40
Медь	6—11	425	610—1310	400—1200	250—350	40

Таблица 38

Основные характеристики тихоходных дисковых пил для разрезки слитков

Наименование сплава	Толщина диска *мм*	Максимальный диаметр разрезаемого слитка *мм*	Диаметр диска *мм*	Число оборотов диска в минуту	Мощность электродвигателя *квт* (не более)
Никель	6—18	750	510—2050	До 30	75
Мельхиор . . .	6—18	750	510—2050	» 30	75
Нейзильбер . .	6—18	750	510—2050	» 30	75
Эвердур . . .	6—18	750	510—2050	» 30	75

3. В случае выпадов по химическому составу повторный анализ производят от предыдущей и последующей плавок, а если выпад снова подтвердится, то анализу подвергают все предыдущие и последующие плавки до годных.

В случае получения анализа на нижнем или верхнем пределе анализируют соседние плавки.

4. Каждую отлитую или отрубленную литейщиком пробу во избежание смешивания отборщик проб обязан отнести в контору для оформления отдельно. Категорически воспрещается хранение у печи более чем одной пробы.

5. Взятую пробу отборщик проб обязан положить в коробку и вложить бумагу, где должны быть указаны номер печи, сплав, номер плавки, дата сдачи пробы, а на образце следует выбить металлическим клеймом номер плавки.

6. Мастер ОТК отвечает за соответствие проб литых и взятых от слитка одной и той же плавки.

7. На все сдаваемые пробы отборщик проб должен выписать и подписать предложение с указанием:

а) номера предложения;

б) даты отсылки предложения;

в) номера печи;

г) наименования или марки сплава;

д) номера плавки;

е) ссылки на нормаль.

8. Пробы от исходных металлов отбирают в соответствии с действующими ГОСТами.

9. Перечень химических элементов, которые должны быть определены в сплавах и исходных металлах, приведены в табл. 39, 40.

Таблица 39

Контроль химического состава свежих цветных металлов и сплавов

ГОСТ или ТУ	Металлы и сплавы	Определения, обязательные перед пуском в производство	Примечание
ГОСТ 546—59	Катоды медные	Медь, мышьяк, сурьма (одна проба от вагона)	—
ГОСТ 193—53	Вайербарсы медные	Медь, сурьма, мышьяк, кислород (одна проба от каждой плавки)	—
ГОСТ 3640—47	Цинк в чушках	Железо, свинец (одна проба от каждой партии)	В марке Ц3 и Ц4 дополнительно сурьма
ГОСТ 849—56	Никель катодный	Железо, углерод, медь сера, кремний (одна проба от каждой партии)	Никель+кобальт определяют по разности
ГОСТ 1293—59	Кобальт	Железо, медь, сера, углерод и мышьяк (одна проба от каждой партии)	—
ГОСТ 3549—55	Алюминий первичный в чушках	Медь, железо, кремний (одна проба от каждой партии)	—
ГОСТ 6008—51	Марганец металлический марок Мр00, Мр0	Фосфор, сера (одна проба от партии)	—
ГОСТ 6008—51	Марганец металлический марок Мр1, Мр2, Мр3 Мр4	Кремний, фосфор, железо, сера, алюминий, медь (одна проба от каждой плавки)	—
ГОСТ 5905—51	Хром металлический	Хром, кремний, железо, медь, углерод, фосфор, алюминий, сера (одна проба от каждой партии)	—
ГОСТ 3778—56	Свинец чушковый	Мышьяк, сурьма, висмут, железо (одна проба от каждой плавки)	—
ГОСТ 860—41	Олово чушковое	Сурьма, мышьяк, висмут, сера, железо, свинец (одна проба от каждой плавки)	—
ГОСТ 2169—43	Кремний кристаллический	Железо, алюминий (одна проба от каждой плавки)	Кремний определяют по разности
ГОСТ 1580—55	Кадмий	Свинец, цинк, железо (одна проба от каждой партии)	—
ГОСТ 804—56	Магний чушковый	Железо, кремний, хлор (одна проба от каждой партии)	—
ГОСТ 1020—48	Латуни вторичные	Медь, кремний, свинец, железо, олово, марганец, сурьма, алюминий, никель (одна проба от пятой плавки)	—
ЦМТУ 169—43	Лигатура медь+ +бериллий	Железо, алюминий, кремний, свинец (одна проба от каждой партии)	—
ГОСТ 295—47	Алюминий вторичный в чушках	Медь, железо, кремний, магний, марганец, цинк (одна проба от каждой плавки)	Для алюминиевых порошков определяют только медь
ГОСТ 1639—48	Лом латунный	Медь, свинец, железо (одна проба от каждой партии)	—

Таблица 40

Контроль химического состава слитков из цветных металлов и сплавов

ГОСТ или ТУ	Марка металла или сплава	Определяемые элементы в пробах	Периодический контроль
ГОСТ 859—41	М1	Электропроводность по разведчику от 3-й плавки	—
	М2 и М3	Медь и кислород (в каждой 3-й плавке)	—
ГОСТ 4134—48	Медь кадмиевая	Кадмий (через плавку)	Медь, цинк, никель, свинец, железо (один раз в квартал)
ЦМТУ 1507—46	ЛА85-0,5	Медь, алюминий (в каждой плавке); свинец (через плавку); железо (в 5-й плавке)	Сурьма, мышьяк, висмут (один раз в квартал)
То же	ЛА 85-0,5 (кольца)	Медь, алюминий (в 5-й плавке)	Железо (один раз в кампанию)
ГОСТ 1019—47	Л80	Медь и свинец (через плавку); железо (в 6-й плавке)	Сурьма и висмут (один раз в квартал)
ГОСТ 1019—47	ЛА76-2	Медь, алюминий (в каждой плавке); свинец (через плавку) железо (в 6-й плавке)	—
То же	Л68	Медь и свинец (через плавку); железо (в 6-й плавке)	Сурьма, висмут, фосфор (один раз в квартал)
ГОСТ 1019—47	Л62	Медь и свинец (через плавку); железо (в 6-й плавке)	Сурьма, висмут, фосфор (один раз в месяц)
То же	Л62 антимагнитная	Медь (через плавку); свинец (в каждой 6-й плавке); железо (в каждой плавке)	—
» »	ЛН65-5	Медь, свинец (в 3-й плавке), никель (в 6-й плавке)	Железо (один раз в кампанию)
» »	ЛЖМц59-1-1	Медь, марганец, железо, алюминий, олово (через плавку)	Сурьма, висмут, фосфор, свинец (один раз в квартал)
» »	ЛМц58-2	Медь и марганец (в каждой 3-й плавке)	Сурьма, висмут, фосфор, свинец, железо (один раз в квартал)
» »	ЛС59-1	Медь (через плавку), свинец, алюминий, сурьма (в 4-й плавке), железо (в 10-й плавке), олово (в 40-й плавке)	Марганец, никель, висмут, кремний, фосфор (один раз в месяц)
» »	ЛС59-1 антимагнитная	Медь (через плавку), свинец (в 4-й плавке), железо (в каждой плавке)	—
» »	[illegible]	Медь (через плавку), свинец (в каждой плавке)	—
» »	ЛС60-1	Медь и свинец (в каждой плавке), сурьма (в 5-й плавке), фосфор (в 10-й плавке)	—
» »	ЛО60-1 (тобина)	Медь и олово (через плавку), фосфор (в 10-й плавке)	Алюминий, сурьма, висмут (один раз в квартал)

Продолжение табл. 40

ГОСТ или ТУ	Марка металла или сплава	Определяемые элементы в пробах	Периодический контроль
ГОСТ 492—52	Монель-металл	Марганец (в каждой плавке), медь и углерод (в 3-й плавке), железо и фосфор (в 6-й плавке)	Никель, сурьма, мышьяк, висмут, кремний, алюминий, магний, свинец, цинк, сера, фосфор (один раз в 3 месяца)
То же	Константан	Медь и марганец (в каждой 3-й плавке)	Мышьяк, сурьма, фосфор, алюминий, кремний, магний, сера и углерод (один раз в 3 месяца)
» »	Нейзильбер	Медь, никель (в 3-й плавке), кремний и марганец (в 10-й плавке)	Мышьяк, сурьма, сера, фосфор, углерод, свинец, железо, алюминий (один раз в 3 месяца)
» »	Манганин	Марганец, (в каждой плавке), медь (через плавку), железо и никель в (5-й плавке)	Алюминий, кремний, магний, мышьяк, сурьма, висмут, свинец, сера, углерод, фосфор (один раз в 2 месяца)
» »	Манганин стабилизированный	Марганец и алюминий (в каждой плавке), медь (через плавку); железо и никель (в 5-й плавке)	—
» »	Копель	Разведчик на т. э. д. с.	Медь и марганец (один раз в кампанию)
» »	Алюмель	То же	Алюминий, кремний, марганец, медь (один раз в кампанию)
» »	Хромель	» »	Хром, медь, марганец (один раз в кампанию)
» »	ТП и ТБ	» »	—
ЦМТУ 678—41	Никель на прутки	Марганец (в каждой плавке) медь (в 3-й плавке), углерод (в 10-й плавке)	—
ГОСТ 2179—59	Никель вакуумный	Медь (через плавку); марганец, железо, углерод, кремний, сера (в 5-й плавке), цинк (в 3-й плавке)	—
ГОСТ 492—52	Сплавы никелевые и меднонике-левые	Медь и марганец (в каждой плавке), железо и кремний (в 10-й плавке)	Сурьма, мышьяк, висмут, сера, фосфор и свинец (один раз в квартал)
ГОСТ 493—54	Бр.АМц9-2	Алюминий, цинк (в каждой плавке); марганец и железо (через плавку); медь (в 4-й плавке)	Олово, кремний, никель, свинец, фосфор, мышьяк, сурьма (один раз в 2 месяца)
То же	Бр.АЖ9-4	Алюминий, цинк (в каждой плавке), марганец, железо (через плавку) медь (в 4-й плавке)	Олово, кремний, никель, свинец, фосфор, мышьяк, сурьма (один раз в 2 месяца)
» »	Бр.АЖМц 10-3-1,5	Алюминий и цинк (в каждой плавке); марганец и железо (через плавку); медь (в 4-й плавке)	Олово, кремний, никель, фосфор, мышьяк, свинец, сурьма (один раз в 2 месяца)
» »	Бр.КМц3-1	Медь и марганец (в каждой плавке); кремний, железо (через плавку), олово (в 5-й плавке), никель (в 10-й плавке)	Мышьяк, сурьма, фосфор, свинец, цинк (один раз в 3 месяца)

Продолжение табл. 40

ГОСТ или ТУ	Марка металла или сплава	Определяемые элементы в пробах	Периодический контроль
ЦТУ 19—58	Бериллиевая бронза (проволока)	Медь и бериллий (в каждой плавке); железо, никель, свинец, кремний, фосфор, олово (в 5-й плавке)	Марганец, магний, алюминий (один раз в полгода)
ГОСТ 5017—49	Бр.ОЦ4-3	Медь и олово (в каждой плавке); железо (в 3-й плавке); свинец, фосфор и кремний (в 10-й плавке)	Сурьма, висмут, алюминий (один раз в месяц)

Примечания: 1. При плавке латуни Л62 из отходов один раз в смену качественно проверять олово спектральным методом. При обнаружении олова производить количественный химический анализ.

2. В отдельных случаях старший технолог цеха, старший мастер ОТК и начальник шихтового отдела имеют право производить проверку элементов, не указанных в данной таблице, и в большем количестве плавок, чем это предусмотрено.

3. Там, где компоненты вводят в тигель, за плавку считают тигель.

4. Анализ олова в бронзе Бр.КМц3-1 и кремния в бронзе Бр.ОЦ4-3 производить через 6 месяцев после утверждения данной инструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. **И Е.** Горшков Литье слитков цветных металлов и сплавов. Металлургиздат, 1952.

2. К Н. Милицын, В. С. Ловчиков. А. М. Суворов. Плавка и литье цветных металлов и сплавов, Металлургиздат, 1956.

3. И. А. Маслов. Литье цветных металлов и сплавов. Металлургиздат, 1951.

4 Б. М. Ксенофонтов. Литье слитков методом вакуумного всасывания для трубоволочильного производства, Бюллетень ЦИИН ЦМ, 1957, № 6.

5. С. А Фарбман и И. Ф. Колобнев. Индукционные печи, Металлургиздат, 1958.

6 Г. А. Смолянов, Г. Н. Кручер. Обработка титана и его сплавов за рубежом. ЦИИН ЦМ, 1957.

Раздел пятый

ПРОИЗВОДСТВО ЛИСТОВ, ПОЛОС И ЛЕНТ ИЗ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

ГЛАВА I

ПРОИЗВОДСТВО ЛИСТОВ, ПОЛОС И ЛЕНТ ИЗ ТЯЖЕЛЫХ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И ИХ СПЛАВОВ

Одним из наиболее производительных и экономически выгодных способов обработки металлов давлением является прокатка. Прокатка подразделяется на плоскую и сортовую. Плоская прокатка является основным способом получения листов, полос и лент из цветных металлов и сплавов [1]. Получаемые в результате прокатки листы, полосы и ленты обычно являются полуфабрикатами, используемыми в различных областях современной техники.

Значительная часть листов, полос и лент подвергается при дальнейшей обработке операциям листовой штамповки (вырубка, пробивка, свертка, вытяжка, чеканка и т. п.). Плоской прокатке подвергается большинство цветных металлов и их сплавов

Цветные металлы и сплавы обычно делят на две основные группы: тяжелые и легкие. К группе тяжелых цветных металлов в первую очередь относятся медь, никель, цинк, свинец, олово и их сплавы. К группе легких металлов: алюминий, магний, титан и сплавы на их основе. Эти группы металлов и сплавов отличаются друг от друга рядом свойств, благодаря чему технология обработки и характер производства полуфабрикатов из них имеют некоторые специфические особенности. В связи с этим параметры технологии и производства листов, полос и лент приводятся для этих групп сплавов раздельно.

Наибольшее распространение в производстве листов, полос и лент получили медно-цинковые сплавы (латуни) — двойные и специальные с добавками никеля, марганца, железа, олова, алюминия, кремния и др., сплавы на основе меди (бронзы) с одним или несколькими компонентами, содержащие марганец, олово, алюминий, цинк, свинец, бериллий, кремний, и медноникелевые сплавы. Марки и химический состав металлов и сплавов приведены в первом разделе справочника.

§ 1. СОРТАМЕНТ ЛИСТОВ, ПОЛОС И ЛЕНТ

Полуфабрикаты, получаемые плоской прокаткой, разделяются на листы, полосы и ленты.

Листы — плоские изделия прямоугольной формы, размеры которых (толщина, длина и ширина) должны соответствовать требованиям стандартов и технических условий Листы из тяжелых цветных металлов и сплавов обычно изготовляются толщиной от 0,3—0,5 до 10—12 *мм*, шириной от 500 до 3000 *мм* и длиной от 1410 до 6000 *мм*.

В отдельных случаях, специально оговоренных в стандарте, могут изготовляться листы большей толщины и длины. Сюда относятся главным образом плиты (доски) из меди, латуни и роли из свинца. Толщина медных и латунных плит достигает 100 *мм* и иногда более; вес таких плит 3 *т* и более.

Ленты — плоские изделия, толщина и ширина которых должны строго соответствовать определенному стандарту.

Длина лент не оговаривается, и сортаментом устанавливается только минимальная длина. Минимальная длина определяется требованиями потребителя и должна быть наибольшей в целях сокращения количества отходов при производстве и потреблении. Так, например, радиаторная лента должна быть длиной не менее 40—70 *м*. Ленты для удобства обращения в процессе производства, транспортировки, хранения и использования потребителем сворачивают в зависимости от толщины и механических характеристик металла в рулоны или наматывают на катушки. Максимальная толщина лент из разных цветных металлов и сплавов различна и составляет в большинстве своем 2 *мм*; минимальная толщина лент 0,10—0,08 *мм*.

Полосы занимают промежуточное положение между листами и лентами. В отличие от листов, полосы не имеют строгого допуска по длине. В некоторых случаях длину полос, в целях сокращения отходов при штамповке, берут кратной длине детали. Длина полос обычно бывает около 1,5—2 *м*. Полосы в рулоны, как правило, не сворачивают.

Листы и ленты толщиной менее 0,10—0,08 *мм* принято называть фольгой. Толщина фольги, получаемой прокаткой, может

быть от 0,10 *мм* до 0,002 *мм* и менее. Размеры листов, полос, лент и фольги и допуски на них определяются сортаментом соответствующих стандартов и технических условий. Допуски на размеры полуфабрикатов по действующим стандартам могут

Основные размеры листов медных

Толщина	Ширина						
	600—1200		1250	1300—1400	1450—1600	1650—1800	1250—1800
	Максимальная длина	Допускаемые отклонения по толщине	Максимальная длина				Допускаемые отклонения по толщине
1,0	2000	—0,25	—	—	—	—	—
1,2	2000	—0,25	—	—	—	—	—
1,5	2000	—0,30	—	—	—	—	—
1,8	2000	—0,30	—	—	—	—	—
2,0	3600	—0,35	—	—	—	—	—
2,25	3600	—0,35	—	—	—	—	—
2,5	3600	—0,35	4000	4000	4000	4000	—0,60
2,75	3600	—0,35	—	—	—	—	—
3,0	3600	—0,40	4000	4000	4000	4000	—0,60
3,5	3600	—0,40	4000	4000	4000	4000	—0,60
4,0	3600	—0,45	4000	4000	4000	4000	—0,70
4,5	3600	—0,45	4000	4000	4000	4000	—0,70
5,0	3600	—0,45	4000	4000	4000	4000	—0,70
5,5	3600	—0,45	—	—	—	—	—
6,0	5000	—0,45	5000	5000	5000	5000	—0,70
6,5	5000	—0,50	—	—	—	—	—
7,0	5000	—0,50	5000	5000	5000	5000	—0,70
7,5	5000	—0,50	—	—	—	—	—

быть трех видов: обычной точности, повышенной и высокой.

Сортамент листов, полос и лент (общий для тяжелых металлов и сплавов, а также для ряда полуфабрикатов специального назначения) приведен в табл. 1 и 2 [19].

горячекатаных (по ГОСТ 495—50), *мм*

Таблица 1

Толщина	Ширина						
	600—1200		1250	1300—1400	1450—1600	1650—1800	1250—1800
	Максимальная длина	Допускаемые отклонения по толщине	Максимальная длина				Допускаемые отклонения по толщине
8,0	5000	—0,50	5000	5000	5000	5000	—0,80
9,0	5000	—0,55	5000	5000	5000	5000	—0,80
10	5000	—0,55	5000	5000	5000	5000	—0,90
11	5500	—0,70	5500	5500	5500	5500	—0,90
12	5500	—0,80	5500	5500	5500	5500	—1,0
13	5500	—0,90	5500	5500	5500	5500	—1,1
14	5500	—0,90	5500	5500	5500	5500	—1,1
15	5500	—1,0	5500	5500	5500	5500	—1,2
16	5500	—1,0	5500	5500	5500	5400	—1,3
17	5500	—1,2	5500	5500	5500	5100	—1,4
18	5500	—1,3	5500	5500	5500	4800	—1,5
19	5500	—1,3	5500	5500	5200	4600	—1,5
20	5500	—1,4	5500	5500	4900	4300	—1,6
21	5500	—1,4	5500	5300	4700	4100	—1,7
22	5500	—1,5	5500	5100	4500	3900	—1,8
23	5500	—1,6	5500	4900	4300	3800	—1,9
24	5500	—1,6	5200	4700	4100	3700	—1,9
25	5500	—1,7	5000	4500	3900	3500	—2,0

Толщина	Ширина			
	1900	2000—2200	2300—2500	1900—2500
	Максимальная длина			Допускаемые отклонения по толщине
3,5	4000	—	—	—0,90
4	4000	—	—	—0,90
4,5	4000	—	—	—0,90
5	4000	4000	4000	—0,90
6	6000	6000	6000	—0,90
7	6000	6000	6000	—0,90
8	6000	6000	6000	—1,0
9	6000	6000	6000	—1,0
10	6000	6000	6000	—1,0
11	6000	6000	5700	—1,0
12	6000	5900	5200	—1,1
13	6000	5500	4800	—1,2
14	5900	5100	4500	—1,3
15	5500	4700	4200	—1,4
16	5100	4400	3900	—1,5
17	4800	4200	3700	—1,5
18	4600	3900	3500	—1,6
19	4300	3700	3300	—1,7
20	4100	3500	3100	—1,8
21	3900	3400	3000	—1,9
22	3700	3200	2800	—2,0
23	3600	3100	2700	—2,1
24	3400	3000	2600	—2,2
25	3300	2800	2500	—2,3

Продолжение таблицы 1

Толщина	Ширина			
	2600	2700—2800	2900—3000	2600—3000
	Максимальная длина			Допускаемые отклонения по толщине
8	6000	6000	6000	—1,2
9	6000	6000	5800	—1,2
10	6000	5600	5200	—1,2
11	5500	5100	4700	—1,2
12	5000	4700	4300	—1,2
13	4500	4300	4000	—1,4
14	4300	4000	3700	—1,5
15	4000	3700	3500	—1,6
16	3700	3500	3200	—1,7
17	3500	3300	3000	—1,8
18	3300	3100	2900	—1,9
19	3100	2900	2700	—2,0
20	3000	2800	2600	—2,1
21	2900	2700	2500	—2,2
22	2700	2500	2300	—2,2
23	2600	2400	2200	—2,2

Листы шириной 1250—1800 *мм* при наибольшей длине 3600 *мм* и толщиной от 2,5 до 10 *мм* по требованию потребителя поставляются с допусками повышенной точности по толщине (табл. 3).

Горячекатаные листы изготовляются:

а) шириной от 600 до 1800 *мм* с градацией в 50 *мм*, а шириной от 1800 до 3000 *мм* с градацией в 100 *мм*;

б) длиной от 1000 до 6000 *мм* с градацией в 100 *мм*.

Допускаемые отклонения по ширине горячекатаных листов, в зависимости от их длины, следующие:

Длина листов, *мм*	1000—2000	2100—3000	3100—4000	4100—5000	5100—6000
Допускаемые отклонения по ширине, *мм*	—20	—40	—50	—60	—70

Допускаемое отклонение по длине горячекатаных листов минус 30 *мм*.

Допускаемые отклонения холоднокатаных листов по ширине минус 10 *мм*, по длине — минус 15 *мм*.

Допускаемые отклонения горячекатаных листов не должны превышать: по ширине минус 15 *мм*, по длине минус 20 *мм*.

Из латуни марок ЛМц58-2 и ЛО62-1 листы изготовляются толщиной от 1 *мм* и более всех размеров, а из латуни марки ЛС59-1 толщиной 3 *мм* и более только размерами 600 × 1500 *мм*.

Допускаемые отклонения холоднокатаных листов не должны превышать, *мм*:

Для листов толщиной до 1,5 *мм* включительно:

по ширине . . . . . —5

по длине . . . . . —10

Для листов толщиной 1,6 *мм* и более:

по ширине . . . . . —10

по длине . . . . . —15

Таблица 2

Допускаемые отклонения горячекатаных листов по толщине (по ГОСТ 495-50), *мм*

Толщина	Допускаемые отклонения по толщине	Толщина	Допускаемые отклонения по толщине	Толщина	Допускаемые отклонения по толщине
2,5	—0,40	4,5	—0,55	7	—0,60
2,75	—0,45	5	—0,55	7,5	—0,60
3	—0,45	5,5	—0,55	8	—0,60
3,5	—0,50	6	—0,60	9	—0,60
4	—0,55	6,5	—0,60	10	—0,60

Таблица 3

Основные размеры листов медных холоднокатаных (по ГОСТ 495—50), *мм*

Толщина	Ширина и длина			Толщина	Ширина и длина		
	600×1500	710×1410	1000×2000		600×1500	710×1410	1000×2000
	Допускаемые отклонения по толщине				Допускаемые отклонения по толщине		
0,4	—0,07	—0,09	—	2,25	—0,18	—0,18	—0,24
0,45	—0,07	—	—	2,5	—0,18	—0,21	—0,24
0,5	—0,07	—0,09	—	2,75	—0,20	—0,21	—0,24
0,6	—0,08	—0,10	—	3	—0,20	—0,21	—0,24
0,7	—0,08	—0,10	—	3,5	—0,23	—0,24	—0,30
0,8	—0,10	—0,10	—0,15	4	—0,23	—0,24	—0,30
0,9	—0,10	—0,12	—0,17	4,5	—0,26	—0,27	—0,35
1	—0,12	—0,12	—0,17	5	—0,26	—0,30	—0,37
1,1	—0,12	—0,12	—	5,5	—0,30	—0,30	—0,37
1,2	—0,14	—0,14	—0,18	6	—0,30	—0,30	—0,37
1,35	—0,14	—0,14	—0,18	6,5	—0,35	—0,35	—0,40
1,5	—0,16	—0,16	—0,21	7	—0,37	—0,37	—0,45
1,65	—0,16	—0,16	—0,21	7,5	—0,37	—0,37	—0,45
1,8	—0,16	—0,16	—0,21	8	—0,37	—0,37	—0,45
2,0	—0,18	—0,18	—0,21	9	—0,40	—0,40	—0,50
				10	—0,40	—0,40	—0,50

Таблица 4

Основные размеры листов латунных горячекатаных (по ГОСТ 931—52), *мм*

Толщина	Ширина и длина: 600×1500 и 710×1410	Ширина и длина: 1000×2000	Толщина	Ширина и длина: 600×1500 и 710×1410	Ширина и длина: 1000×2000	Толщина	Ширина и длина: 600×1500 и 710×1410	Ширина и длина: 1000×2000
	Допускаемые отклонения по толщине			Допускаемые отклонения по толщине			Допускаемые отклонения по толщине	
5	—0,45	—0,50	11	—0,70	—0,70	17	—0,80	—1,2
6	—0,45	—0,55	12	—0,70	—0,80	18	—0,80	—1,3
7	—0,50	—0,60	13	—0,70	—0,90	19	—0,80	—1,3
8	—0,50	—0,60	14	—0,70	—0,90	20	—0,80	—1,4
9	—0,60	—0,70	15	—0,80	—1,0	21	—1,0	—1,4
10	—0,60	—0,70	16	—0,80	—1,0	22	—1,0	—1,5

Таблица 5

Основные размеры листов латунных холоднокатаных (по ГОСТ 931—52), *мм*

Толщина	Ширина и длина: 600×1500	Ширина и длина: 710×1410	Ширина и длина: 1000×2000	Толщина	Ширина и длина: 600×1500	Ширина и длина: 710×1410	Ширина и длина: 1000×2000	Толщина	Ширина и длина: 600×1500	Ширина и длина: 710×1410	Ширина и длина: 1000×2000
	Допускаемые отклонения по толщине				Допускаемые отклонения по толщине				Допускаемые отклонения по толщине		
0,40	—0,07	—	—	1,5	—0,14	—0,16	—0,21	5,0	—0,22	—0,30	—0,37
0,45	—0,07	—	—	1,8	—0,15	—0,16	—0,21	5,5	—0,25	—0,30	—0,37
0,50	—0,07	—0,09	—	2,0	—0,15	—0,18	—0,21	6,0	—0,25	—0,30	—0,37
0,60	—0,08	—0,10	—	2,5	—0,16	—0,21	—0,24	6,5	—0,25	—0,35	—0,40
0,70	—0,08	—0,10	—	3,0	—0,16	—0,21	—0,24	7,0	—0,27	—0,37	—0,45
0,80	—0,09	—0,10	—	3,5	—0,20	—0,24	—0,30	8,0	—0,27	—0,37	—0,45
0,90	—0,10	—0,12	—	4,0	—0,20	—0,24	—0,30	9,0	—0,30	—0,40	—0,50
1,0	—0,11	—0,12	—0,18	4,5	—0,22	—0,27	—0,35	10,0	—0,30	—0,40	—0,50
1,2	—0,12	—0,14	—0,18								

Таблица 6

Основные размеры полос латунных холоднокатаных, *мм*

Толщина	Допускаемые отклонения по толщине при ширине полос 40—500: повышенной точности	Допускаемые отклонения по толщине при ширине полос 40—500: обычной точности	Толщина	Допускаемые отклонения по толщине при ширине полос 40—500: повышенной точности	Допускаемые отклонения по толщине при ширине полос 40—500: обычной точности	Толщина	Допускаемые отклонения по толщине при ширине полос 40—500: повышенной точности	Допускаемые отклонения по толщине при ширине полос 40—500: обычной точности
0,4	—	—0,07	1,4	—0,09	—0,10	4,5	—0,15	—0,20
0,5	—	—0,07	1,5	—0,09	—0,10	5,0	—0,15	—0,20
0,6	—	—0,07	1,6	—0,10	—0,12	5,5	—0,15	—0,25
0,7	—	—0,08	1,8	—0,10	—0,12	6,0	—0,15	—0,25
0,8	—	—0,08	2,0	—0,10	—0,12	6,5	—0,15	—0,25
0,9	—	—0,09	2,5	—0,10	—0,12	7,0	—0,15	—0,25
1,0	—0,08	—0,09	3,0	—0,12	—0,14	8,0	—0,15	—0,25
1,2	—0,09	—0,10	3,5	—0,12	—0,16	9,0	—0,18	—0,30
1,3	—0,09	—0,10	4,0	—0,12	—0,18	10,0	—0,18	—0,30

Из латуни марок ЛМц58-2, ЛО62-1 и ЛС-59-1 полосы изготовляются толщиной 1,0 *мм* и более.

Полосы повышенной точности изготовляются только из латуни марки ЛМц58-2.

Длина холоднокатаных полос в пределах 500—2000 *мм*. Полосы поставляются мерной, кратной мерной и немерной длины.

Допускаемое отклонение по длине полос мерной и кратной мерной длины минус 10 *мм*.

Таблица 7

Допускаемые отклонения по ширине холоднокатаных полос, *мм*

Ширина полос	Толщина					
	0,4—1,5	1,6—1,8	2,0—3,0	3,5—4,0	4,5—6,0	6,5—10,0
40—100	—1	—1	—2	—2	—	—
101—175	—1	—1,5	—2	—2	—3,5	—7
176—300	—2	—2	—3	—3,5	—3,5	—7
301—500	—2	—3	—3	—4	—4	—7

Таблица 8

Основные размеры лент холоднокатаных из тяжелых цветных металлов и сплавов (по ГОСТ 3718—47), *мм*

Толщина	Допускаемые отклонения по толщине лент при ширине			
	10—300		301—600	
	нормальной точности	повышенной точности	нормальной точности	повышенной точности
0,05	—0,01	—	—	—
0,06	—0,01	—	—	—
0,07	—0,01	—	—	—
0,08	—0,01	—	—	—
0,09	—0,01	—	—	—
0,10	—0,02	—	—	—
0,12	—0,02	—	—	—
0,15	—0,03	—0,02	—	—
0,18	—0,03	—0,02	—	—
0,20	—0,03	—0,02	—	—
0,22	—0,03	—0,02	—	—
0,25	—0,04	—0,03	—	—
0,30	—0,04	—0,03	—	—
0,35	—0,04	—0,03	—	—
0,40	—0,05	—0,04	—	—
0,45	—0,05	—0,04	—	—
0,50	—0,06	—0,04	—0,07	—0,06
(0,53)	—0,06	—0,04	—0,07	—0,06
0,56	—0,06	—0,05	—0,08	—0,06
0,60	—0,06	—0,05	—0,08	—0,06
(0,63)	—0,06	—0,05	—0,08	—0,06

Продолжение табл. 8

Толщина	Допускаемые отклонения по толщине лент при ширине			
	10—300		301—600	
	нормальной точности	повышенной точности	нормальной точности	повышенной точности
0,67	—0,06	—0,05	—0,08	—0,07
0,71	—0,07	—0,05	—0,08	—0,07
0,75	—0,07	—0,06	—0,08	—0,07
0,80	—0,07	—0,06	—0,09	—0,08
0,85	—0,07	—0,06	—0,09	—0,08
0,90	—0,08	—0,06	—0,10	—0,09
(0,95)	—0,08	—0,06	—0,10	—0,09
1,00	—0,08	—0,06	—0,11	—0,10
1,10	—0,08	—0,06	—0,11	—0,10
1,20	—0,09	—0,06	—0,12	—0,11
1,30	—0,09	—0,07	—0,12	—0,11
1,40	—0,09	—0,07	—0,12	—0,11
1,50	—0,09	—0,08	—0,14	—0,13
1,60	—0,10	—0,08	—0,14	—0,13
1,70	—0,10	—0,08	—0,14	—0,13
1,80	—0,11	—0,10	—0,15	—0,14
(1,90)	—0,11	—0,10	—0,15	—0,14
2,00	—0,11	—0,10	—0,15	—0,14

Примечания. 1. Ленты толщиной от 0,05 до 0,09 *мм* включительно изготовляются шириной до 175 *мм* включительно.
2. Ленты толщиной 0,50 *мм* и более изготовляются шириной от 20 *мм*.
3. Размеры по толщине, указанные в скобках, не рекомендуются к применению.

Таблица 9

Допускаемые отклонения по ширине лент, *мм*

Ширина	Толщина	
	до 1 *мм* включительно	более 1 *мм*
10—175	—0,6	—1,0
176—300	—1,0	—1,5
301—600	—1,5	—2,0

Длина лент из мельхиора МН19, нейзильбера МНЦ15-20 и монель-металла НМЖМц28-2,5-1,5 по ГОСТ 5187—49 не менее 3 *м*.

Таблица 10

Основные размеры лент

Толщина *мм*	Длина, *м* (не менее)		Толщина *мм*	Длина, *м* (не менее)
	ленты медные (ГОСТ 1173—43)	ленты латунные (ГОСТ 2208—49)		ленты константановые (ГОСТ 5189—49)
0,05—0,5	20	20	0,1—0,6	20
0,55—1,0	10	10	0,65—1,00	15
1,10—2,0	7	7	1,10—1,5	12
			1,6—2,00	10

Таблица 11

Основные размеры фольги медной рулонной (по ГОСТ 5638—51), *мм*

Толщина	Допускаемые отклонения по толщине		Ширина	Допускаемые отклонения по ширине
	нормальной точности	повышенной точности		
0,015	±0,002	—	20—150	±0,5
0,020	+0,002 —0,004	+0,002 —0,003		
0,030 0,040 0,050	+0,003 —0,007	+0,002 —0,006		

Таблица 12

Основные размеры лент из часовой свинцовистой латуни (по ГОСТ 4442—48), *мм*

Толщина	Допускаемые отклонения по толщине		Ширина (пределы)	Допускаемые отклонения по ширине	
	обычная точность	повышенная точность		мягкие, полутвердые и твердые ленты	особотвердые ленты
0,18 0,20 0,22 0,23	—0,03	—0,02	10—90	—0,4	—0,6
0,25 0,28 0,30	—0,04	—0,02	10—90	—0,4	—0,6
0,35 0,38	—0,04	—0,03	10—90	—0,4	—0,6
0,40 0,45 0,47	—0,05	—0,03	10—90	—0,4	—0,6
0,50	—0,06	—0,03	10—90	—0,6	—0,8
0,55 0,60	—0,06	—0,04	10—90	—0,6	—0,8
0,65	—0,06	—0,04	10—90	—0,06	—0,8
0,70 0,75 0,80 0,85	—0,07	—0,05	10—90	—0,6	—0,8
0,90 0,95	—0,08	—0,05	10—90	—0,6	—0,8
1,0 1,1	—0,08	—0,06	15—90	—0,8	—1,0
1,2 1,3 1,4	—0,09	—0,06	15—90	—0,8	—1,0

Примечание. Длина лент не короче 3 *м*.

Таблица 13

Основные размеры полос из часовой свинцовистой латуни (по ГОСТ 4442—48), *мм*

Толщина	Допускаемые отклонения по толщине		Ширина (пределы)	Допускаемые отклонения по ширине	
	обычная точность	повышенная точность		мягкие, полутвердые и твердые полосы	особотвердые полосы
1,5 1,6 1,65 1,7	—0,10	—0,08	20—90	—0,8	—1,0
1,8 1,9	—0,12	—0,08	20—90	—0,8	—1,0
2,0 2,1 2,25 2,5	—0,12	—0,10	20—90	—1,0	—1,5
2,75 3,0	—0,14	—0,12	20—90	—1,0	—1,5
3,25 3,5	—0,16	—0,12	20—90	—1,0	—1,5
3,75 4,0	—0,18	—0,12	20—90	—1,0 —1,5	—1,5 —2,0
4,5 5,0	—0,20	—0,14	20—90	—1,5	—2,0
5,5 6,0 6,5 7,0 8,0	—0,25	—0,16	110—120	Без обрезки кромок	

Примечание. Длина полос не короче 1 *м*.

Таблица 14

Основные размеры полосы из алюминиевомарганцовистой бронзы (по ГОСТ 1595—47), *мм*

Толщина	Допускаемые отклонения по толщине		Ширина
	полосы холоднокатаные	полосы горячекатаные	
1,0	—0,08	—	50—300
(1,12) 1,25	—0,09	—	50—300
1,4 (1,5)	—0,10	—	50—300
1,6 1,8 2,0	—0,11	—	50—300

Продолжение табл. 14

Толщина	Допускаемые отклонения по толщине		Ширина
	полосы холоднокатаные	полосы горячекатаные	
2 25 2,5	—0,12	—	50—300
2,8 3,15	—0,15	—	50—300
3,55 4,0	—0,20	—	50—300
4,5 5,0 5,6	—0,25	—	50—300
(6,0) 6,3	—0,25	—0,50	100—300
7,1	—0,30	—0,50	100—300
8,0	—0,35	—0,55	100—300
9,0	—0,40	—0,60	100—300
10,0	—0,45	—0,60	100—300
11,2	—0,50	—0,70	100—300
(12,0)	—0,50	—0,80	100—300
12,5	—0,55	—0,80	100—300

Таблица 15

Допускаемые отклонения по ширине полос, *мм*

Ширина	Толщина		
	1—3	3.5—5'5	6—12,5
50—100	—2	—3	—
101—200	—3	—4	—5
201—300	—4	—5	—5

По соглашению сторон полосы могут изготовляться длиной, кратной деталям, и мерными. Допускаемые отклонения по длине для таких полос плюс 15 *мм*.

Длина полос должна быть не менее 1,0 *м*.

Таблица 16

Основные размеры лент шириной 10—200 *мм* из алюминиевомарганцовистой бронзы (по ГОСТ 1595—47), *мм*

Толщина	Допускаемые отклонения по толщине	Толщина	Допускаемые отклонения по толщине
0,40 (0,42)	—0,04	0,45 (0,475) 0,50 (0,53)	—0,05

Продолжение табл. 16

Толщина	Допускаемые отклонения по толщине	Толщина	Допускаемые отклонения по толщине
0,56 0,60 0,63	—0,06	0,80 0,85 0,90 0,95	—0,07
0,67 0,71 0,75	—0,06	1,0	—0,08

Допускаемые отклонения по ширине лент следующие:

Ширина лент, *мм* . .	10—175	Свыше 175
Допускаемые отклонения по ширине, *мм*	—0,6	—1,0

Таблица 17

Основные размеры полос из кремнемарганцовистой оронзы (по ГОСТ 4748—49), *мм*

Толщина	Допускаемые отклонения по толщине	Толщина	Допускаемые отклонения по толщине	Толщина	Допускаемые отклонения по толщине
1,8	—0,12	4,0	—0,18	6,5	—0,25
2,0	—0,12	4,5	—0,20	7,0	—0,25
2,5	—0,12	5,0	—0,20	8,0	—0,25
3,0	—0,14	5,5	—0,25	9,0	—0,30
3,5	—0,16	6,0	—0,25	10,0	—0,30

Таблица 18

Допускаемые отклонения по ширине полос, *мм*

Ширина	Толщина	
	1,8—5	5,5—10
40—175	+2	—
176—500	+3	+7

Таблица 19

Основные размеры лент из кремнемарганцовистой бронзы (по ГОСТ 4748—49), *мм*

Толщина	Допускаемые отклонения по толщине при ширине от 10 до 300 *мм*		Толщина	Допускаемые отклонения по толщине при ширине от 10 до 300 *мм*		Толщина	Допускаемые отклонения по толщине при ширине от 10 до 300 *мм*	
	нормальной точности	повышенной точности		нормальной точности	повышенной точности		нормальной точности	повышенной точности
0,05 0,06 0,07 0,08 0,09	—0,01	—	0,25 0,30 0,35	—0,04	—0,03	0,90 1,00 1,10 1,20 1,30 1,40 1,50 1,60 1,70 1,80 2,00	—0,08 —0,08 —0,08 —0,09 —0,09 —0,09 —0,09 —0,10 —0,10 —0,11 —0,11	—0,06 —0,06 —0,06 —0,06 —0,07 —0,07 —0,08 —0,08 —0,08 —0,10 —0,10
0,10 0,12	—0,02	—	0,40 0,45	—0,05	—0,04			
0,15 0,18 0,20 0,22	—0,03	—0,02	0,50	—0,06	—0,04			
			0,55 0,60 0,65 0,70	—0,06	—0,05			
			0,75 0,80 0,85	—0,07	—0,06			

Длина полос составляет от 400 до 2000 *мм*. Полосы поставляются мерной длины, кратной мерной и немерной.

Допускаемые отклонения по длине полос мерной длины и кратной мерной + 15 *мм*. Длина ленты составляет не менее 2000 *мм*.

Таблица 20

Допускаемые отклонения по ширине лент, *мм*

Ширина	Толщина	
	до 1 *мм* включительно	более 1 *мм*
10—175	—0,6	—1,0
176—300	—1,0	—1,5

Примечание. Ленты толщиной 0,05—0,15 *мм* включительно изготовляются шириной 10—175 *мм*; ленты толщиной 0,18—0,45 *мм* включительно — шириной 10—300 *мм*: ленты толщиной 0,50—2,00 *мм* включительно — шириной 20—300 *мм*.

Таблица 21

Основные размеры полос из бериллиевой бронзы (по ГОСТ 1789—50), *мм*

Толщина	Допускаемые отклонения по толщине	Толщина	Допускаемые отклонения по толщине	Толщина	Допускаемые отклонения по толщине
0,15 0,20	—0,03	0,70 0,75 0,80 0,85	—0,07		
0,25 0,30 0,35	—0,04	0,90 1,0	—0,08	2,5 3,0	—0,12
0,40 0,45	—0,05	1,2	—0,09	3,5 4,0 4,5 5,0 5,5 6,0	—0,13 —0,18 —0,20 —0,20 —0,24 —0,25
0,50 0,55 0,60 0,65	—0,06	1,3 1,5 1,65 1,8 2,0	—0,10		

Таблица 22

Допускаемые отклонения по ширине полос из бериллиевой бронзы (по ГОСТ 1789—50). *мм*

Ширина *мм*	Толщина, *мм*			
	0,15—1,5	1,65—3,0	3,5—5,0	5,5—6
40—100	+1	+2	—	—
101—175	+1	+2	+2	+5
176—300	+2	+3	+3	+7

Таблица 23

Допускаемые отклонения по длине полосы из бериллиевой бронзы (по ГОСТ 1789—50), *мм*

Толщина *мм*	Длина полосы *мм*	Допускаемые отклонения по длине полосы	Марка бронзы
0,15—1,65	250—500	+ 5	Бр Б2,5
0,50—6,0	500—1500	+15	Бр Б2

Таблица 24

Основные размеры лент из бериллиевой бронзы (по ГОСТ 1789—50). *мм*

Толщина	Допускаемые отклонения по толщине лент при ширине лент от 10 до 300 *мм*	
	нормальной точности	повышенной точности
0,10 0,12	—0,02	—0,015
0,15 0,18 0,20 0,25 0,30	—0,03	—0,02
0,35 0,40 0,45	—0,04	—0,03
0,50 0,55	—0,05	—0,04
0,60 0,65 0,70 0,75 0,80 0,85	—0,06	0—0,5

Продолжение табл. 2

Толщина	Допускаемые отклонения по толщине лент при ширине лент от 10 до 300 *мм*	
	нормальной точности	повышенной точности
0,90	—0,07	—0,06
1,00	—0,07	—0,06
1,10	—0,08	—0,06
1,20	—0,08	—0,06
1,30	—0,08	—0,07
1,40	—0,09	—0,07
1,50	—0,09	—0,08

Таблица 25

Допускаемые отклонения по ширине лент из бериллиевой бронзы (по ГОСТ 1789—50), *мм*

Ширина, *мм*	Толщина, *мм*	
	до 1 включительно	более 1
10—175	—0,6	—1
176—300	—1	—1,5

Примечание. Длина лент не менее 1,5 *м*.

Таблица 26

Основные размеры полос из оловяннофосфористой и оловянноцинковой бронз (по ГОСТ 1761—50), *мм*

Толщина	Допускаемые отклонения по толщине	Толщина	Допускаемые отклонения по толщине	Толщина	Допускаемые отклонения по толщине
1,0	—0,08	3,0	—0,14	5,5 6,0 6,5 7,0 8,0	—0,25
1,2 1,5	—0,10	3,5	—0,16		
		4,0	—0,18		
1,8 2,0	—0,11	4,5 5,0	—0,20	9,0 10,0	—0,30
2,5	—0,12				

Примечание. Длина полос 400—2000 *мм*.

Таблица 27

Допускаемые отклонения по ширине полос из оловяннофосфористой и оловянноцинковой бронз (по ГОСТ 1761—50), *мм*

Ширина, *мм*	Толщина, *мм*		
	1—1,5	1,8—5	5,5—10
100—175	+1	+2	+5
176—300	+2	+3	+7

Длина полос должна быть в пределах 400—2000 *мм*. Полосы поставляются мерной длины, длины, кратной мерной, и немерной.

Допускаемые отклонения по длине полос (мерной длины и длины, кратной мерной), + 15 *мм*.

Таблица 28

Основные размеры лент из оловяннофосфористой и оловянноцинковой бронз (по ГОСТ 1761—50), *мм*

Толщина	Допускаемые отклонения по толщине лент при ширине от 10 до 300 *мм*			Толщина	Допускаемые отклонения по толщине лент при ширине от 10 до 300 *мм*			Толщина	Допускаемые отклонения по толщине лент при ширине от 10 до 300 *мм*		
	нормальной точности	повышенной точности	высокой точности		нормальной точности	повышенной точности	высокой точности		нормальной точности	повышенной точности	высокой точности
0,10	—0,02	—0,015	—0,01	0,45	—0,04	—0,03	—0,020	1,00	—0,08	—0,06	-0,040
0,12	—0,02	—0,015	—0,01	0,50	—0,05	—0.04	—0,020	1,10	—0,08	—0,06	-0,040
0,15	—0,03	—0,02	—0,015	0,55	—0,05	—0,04	—0,020	1,20	—0,08	—0,06	—0,04
0,18	—0,03	—0,02	—0,015	0,60	—0,06	—0,05	—0,030	1,30	—0,08	—0,07	—0,05
0,20	—0,03	—0,02	—0,015	0,65	—0,06	—0,05	—0,030	1,40	—0,09	—0,07	—0,05
0,22	—0,03	—0,02	—0,015	0,70	—0,06	—0,05	—0,030	1,50	—0,09	—0,08	—0,05
0,25	—0,03	—0,02	—0,015	0,75	—0,06	—0,05	—0,035	1,60	—0,09	—0,08	—0,05
0,30	—0,03	—0,02	—0,015	0,80	—0,06	—0,05	—0,035	1,70	—0,10	—0,08	—0,05
0,35	—0,04	—0,03	—0,020	0,85	—0,06	—0,05	—0,035	1,80	—0,11	—0,10	—0,06
0,40	—0,04	—0,03	—0,020	0,90	—0,07	—0,06	—0,040	2,00	—0,11	—0,10	—0,06

Таблица 28а

Допускаемые отклонения по ширине лент из оловяннофосфористой и оловянноцинковой бронз (по ГОСТ 1761—50), *мм*

Ширина, *мм*	Толщина, *мм*	
	до 1 включительно	более 1
10—175	—0,6	—1
176—300	—1	—1,5

Таблица 29

Допускаемые отклонения по толщине полосы из медноникелевых сплавов (по ГОСТ 5063—49), *мм*

Толщина	Допускаемые отклонения	Толщина	Допускаемые отклонения	Толщина	Допускаемые отклонения	Толщина	Допускаемые отклонения
0,5	—0,07	1,2	—0,09	3,5	—0,16	6,5	—0,25
0,6	—0,07	1,5	—0,10	4,0	—0,18	7,0	—0,25
0,7	—0,08	1,8	—0,11	4,5	—0,20	8,0	—0,25
0,8	—0,08	2,0	—0,11	5,0	—0,20	9,0	—0,30
0,9	—0,08	2,5	—0,12	5,5	—0,25	10,0	—0,30
1,0	—0,08	3,0	—0,12	6,0	—0,25		

Таблица 30

Допускаемые отклонения по ширине полос из медноникелевых сплавов (по ГОСТ 5063—49), *мм*

Ширина *мм*	Толщина, *мм*			
	0,5—1,5	1,8—3	3,5—5,5	6—10
40—175	+1	+2	—	—
176—500	+2	+3	+4	+10

Полосы из монель-металла изготовляются шириной до 300 *мм*.

Длина полос должна быть в пределах 400—2000 *мм* (немерной, мерной и кратной мерной — по указанию заказчика). Допускаемое отклонение по длине полос мерной и кратной мерной длины + 15 *мм*.

Таблица 31

Основные размеры листов свинцовых (по ОСТ ЦМ 414—39), *мм*

Толщина	Длина при ширине листов					Допускаемые отклонения по толщине листов	
	500 и 550	500 и 550	500 и 550	500 и 550	600	обычного назначения	ответственного назначения
0,3	750	850	950	1050	—	—0,05	—
0,5	750	850	950	1050	900	—0,07	—
0,75	750	850	950	1050	925	—0,07	—
0,8	750	850	950	1050	925	—0,08	—
1,0	750	850	950	1050	1000	—0,12	—
1,5	750	850	950	1050	950	—0,16	—0,14
2,0	750	850	950	1050	900	—0,18	—0,15
2,5	750	850	950	1050	950	—0,20	—0,16
3,0	750	850	950	1050	1000	—0,20	—0,18
4,0	250	500	750	1000	900	—0,25	—0,20
4,4	250	500	750	1000	900	—0,25	—0,23
5,0	250	500	750	1000	900	—0,25	—0,23

Допускаемые отклонения по ширине и длине, *мм*:

Для листов обычного назначения . . . . . ±10

Для листов обычного назначения. . . . . + 5

Таблица 32

Основные размеры и вес ролей свинцовых (по ГОСТ 89—41)

Толщина *мм*	Допускаемые отклонения по толщине при ширине *мм*			Наименьший вес роля (*кг*). при ширине *мм*		
	2150	2800	3200	2150	2800	3200
1,0	±0,14	—		125	—	
1,5	±0,14	—	—	200	—	—
2,0	±0,14	—	—	450	—	—
2,5	—	±0,15	—	—	750	—
3,0	—	±0,20	±0,21	—	900	1000
3,5	—	±0,20	±0,21	—	950	1100
4,0	—	±0,20	±0,21	—	1100	1250
5,0	—	±0,27	±0,30	—	1350	1550
6,0	—	±0,27	±0,30	—	1450	1700
7,0	—	±0,27	±0,30	—	1700	1750
8,0	—	±0,35	±0,37	—	1700	1650
9,0	—	±0,35	±0,37	—	1650	1550
10,0	—	±0,38	±0,40	—	1850	1800
12,0	—	±0,38	±0,40	—	1450	1700
15,0	—	±0,38	±0,40	—	1850	2100

Примечание. Допускаемые отклонения по ширине роля устанавливаются равными ±1%.

Таблица 33

Основные размеры фольги листовой оловянной и свинцовой, плакированной оловом, *мм*

Толщина	Допускаемые отклонения по толщине
0,015	—0,005
0,020	—0,005
0,025	—0,005
0,030	—0,005
0,035	—0,005
0,040	—0,005
0,045	—0,005
0,050	—0,005
0,060	—0,010
0,070	—0,010
0,080	—0,010
0,090	—0,010

Примечание. При ширине 70—450 *мм* и длине 150—575 *мм* допускаемые отклонения по ширине ±3 *мм*.

Таблица 34

Расчетный вес 1 $м^2$ листов, полос и лент из тяжелых цветных металлов и сплавов, *кг*

Толщина *мм*	Свинец	Бронза-Бр.ОЦС-4-4-2,5	Медь, мельхиор МН19, константан МНМц 40-1,5	Латунь Л96, никель	Латунь Л090-1, бронзы Бр.ОЦ4-3, мопель-металл НМЖМц 28-2,5-1,5, нейзильбер МНЦС 17-18-1,8	Латуни Л90, Л85 Л80, ЛС74-3, куниаль МНЛ 6-1,5	Латуни Л75, Л68, ЛА85-0,5, ЛА77-2, ЛК80-3, ЛО70-1, нейзильбер НМЦ65-20	Латуни ЛМц 58-2, ЛКС65-1,5-3, Л62, Л062-1, Бронза КМц 3-1	Бронзы Бр.А5, Бр.Б2	Бронза Бр.А7	Бронза Бр. АМц9-2	Цинк
Расчетный удельный вес	11,37	9,0	8,9	8,85	8,8	8,7	8,6	8,5	8,2	7,8	7,63	7,2
0,10	1,14	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,82	0,78	0,76	0,72
0,12	1,36	1,08	1,07	1,06	1,06	1,04	1,03	1,02	0,98	0,94	0,92	0,79
0,15	1,71	1,35	1,33	1,33	1,32	1,30	1,29	1,27	1,23	1,17	1,15	0,86
0,18	2,04	1,62	1,60	1,59	1,59	1,57	1,55	1,53	1,48	1,40	1,37	1,08
0,20	2,27	1,80	1,78	1,77	1,76	1,74	1,72	1,70	1,64	1,56	1,53	1,30
0,22	2,50	1,98	1,96	1,95	1,94	1,91	1,89	1,87	1,80	1,72	1,68	1,44
0,25	2,84	2,25	2,22	2,21	2,20	2,17	2,15	2,12	2,05	1,95	1,91	1,80
0,30	3,41	2,70	2,67	2,66	2,65	2,61	2,58	2,55	2,46	2,34	2,28	2,16
0,35	3,98	3,15	3,11	3,10	3,09	3,05	3,01	2,97	2,87	2,73	2,36	2,52
0,40	4,55	3,60	3,56	3,55	3,53	3,48	3,44	3,40	3,28	3,12	3,05	2,88
0,45	5,11	4,05	4,00	3,98	3,97	3,92	3,87	3,82	3,69	3,51	3,42	3,24
0,50	5,69	4,50	4,45	4,43	4,41	4,35	4,30	4,25	4,10	3,90	3,82	3,60
0,55	6,35	4,95	4,89	4,87	4,85	4,79	4,73	4,68	4,51	4,29	3,90	3,90
0,60	6,82	5,40	5,34	5,31	5,29	5,22	5,16	5,10	4,92	4,68	4,58	4,32
0,65	7,38	5,85	5,78	5,75	5,73	5,66	5,59	5,52	5,33	5,07	4,95	4,68
0,70	7,96	6,30	6,23	6,19	6,17	6,09	6,02	5,95	5,74	5,46	5,34	5,04
0,75	8,53	6,75	6,67	6,64	6,61	6,53	6,45	6,37	6,15	5,85	5,70	5,40
0,80	9,10	7,20	7,12	7,09	7,06	6,96	6,88	6,80	6,56	6,24	6,10	5,76
0,85	9,66	7,65	7,56	7,53	7,50	7,40	7,31	7,22	6,97	6,63	6,49	6,12
0,90	10,23	8,10	8,01	7,96	7,94	7,84	7,74	7,65	7,38	7,02	6,86	6,48
1,00	11,37	9,00	8,90	8,85	8,80	8,70	8,60	8,50	8,20	7,80	7,63	7,20

Расчетный вес 1 $м^2$ фольги из тяжелых цветных металлов, *г*

Таблица 35

Толщина *мм*	Медь	Олово	Свинец	Свинец, плакированный оловом
Удельный вес	8,9	7,3	11,37	11,1
0,010	89,0	73	113,7	111
0,015	133,5	109,5	170,5	166
0,020	178,0	146	227,5	222
0,025	222,5	182,5	284,5	277,5
0,030	267,0	219	341	333
0,035	311,5	255,5	398	388,5
0,040	356,0	292	455	444
0,045	400,5	328,5	511,5	499,5
0,050	445,0	365	569	555
0,060	534,0	438	682	666
0,070	623,0	511	796	777
0,080	712,0	584	910	888
0,090	801,0	657	1023	999
0,100	890,0	730	1137	1110

§ 2. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Листы и ленты из тяжелых цветных металлов и сплавов можно получать непосредственно после горячей прокатки (горячекатаные) либо после холодной прокатки (холоднокатаные). Холодная прокатка в этом случае является конечной операцией, в то время как заготовка для холодной прокатки может подвергаться как горячей прокатке, так и другим видам горячей обработки (ковке, прессованию и т. д.). Поскольку ленты имеют обычно толщину не более 2 *мм*, а горячая прокатка цветных металлов производится в большинстве случаев до толщины не менее 3—4 *мм*, то ленты являются, как правило, холоднокатаными. Деление на горячекатаные и холоднокатаные не относится к металлам, разупрочняющимся в процессе деформации, у кото-

рых при комнатной температуре происходит полное разупрочнение (возврат и рекристаллизация). К числу таких металлов относятся свинец и олово.

Холоднокатаные листы и ленты в зависимости от степени деформации при холодной прокатке после последнего отжига и конечной термообработки (отжиг, закалка, отпуск и т. п.) делятся на мягкие (М), полутвердые (ПТ), твердые (Т), особотвердые (ОТ) и термообработанные. Полуфабрикаты мягкие после разупрочнения (отжига) не подвергаются деформации (степень деформации равна нулю). Полуфабрикаты полутвердые, твердые и особо твердые получают определенную степень деформации для придания им необходимых механических свойств в соответствии с требованиями технических условий, после чего их не подвергают термообработке (отжигу).

Степень деформации при отделочной холодной прокатке для полутвердого состояния равна обычно 15—25%, для твердого 35—45% и иногда более, для особотвердого 50% и более. По техническим условиям полуфабрикаты должны удовлетворять ряду требований в зависимости от их назначения и применения. К числу этих требований относятся точность прокатки, качество поверхности, физико-механические свойства. Механические свойства листов, полос и лент из тяжелых цветных металлов и сплавов при испытании их на растяжение приведены в табл. 36, а штампуемость их при испытании по Эриксену — в табл. 37.

Таблица 36

Механические свойства листов, полос и лент из тяжелых цветных металлов и сплавов

Наименование и марка металла и сплава	Наименование полуфабриката	Состояние	Предел прочности при растяжении *кг/мм²* (не менее)	Относительное удлинение % (не менее)	ГОСТ или ТУ
Медь М1; М2; М3	Листы[1]	Горячекатаные	20	30	ГОСТ 495—50
		Мягкие	20	30	
		Твердые	30	3	
	Ленты	Мягкие	21	30	ГОСТ 1173—49
		Твердые	30	3	
Латунь Л96	Ленты и полосы	Мягкие	25	35	ГОСТ 2936—45 ЦМТУ 3381—53
Л90	Ленты и полосы	Мягкие	26	38	ГОСТ 8036—58
		Полутвердые	34	7	ЦМТУ 2678—50
Л80	Ленты	Мягкие	27	50	ТУЦМО 1001—53
Л75	Ленты	Мягкие[2]	32	62	—
		Полутвердые[3]	37	50	—
		Твердые[4]	53	7	—
Л68	Листы, полосы и ленты	Мягкие	30	40	ГОСТ 931—52 и 2208—49
		Полутвердые	35	25	
		Твердые	40	15	ГОСТ 2208—49
	Ленты	Особо твердые	50	4	
Л66	Ленты	Мягкие	32	54	—
		Твердые	53	7	—
		Особо твердые	65	3	—

Продолжение табл. 36

Наименование и марка металла и сплава	Наименование полуфабриката	Состояние	Предел прочности при растяжении *кг/мм²* (не менее)	Относительное удлинение % (не менее)	ГОСТ или ТУ
Л62	Листы и полосы	Горячекатаные	30	30	ГОСТ 931—52
		Мягкие	30	40	
		Полутвердые	35	20	
		Твердые	42	10	
		Особо твердые	60	2,5	
	Ленты	Мягкие	30	35	ГОСТ 2208—49
		Полутвердые	38	20	
		Твердые	42	10	
		Особо твердые	60	0,5	
ЛМц58-2	Листы, полосы и ленты	Мягкие	39	30	ГОСТ 2208—49 и 931—52
		Полутвердые	45	25	
		Твердые	60	3	
ЛН65-5	Ленты	Мягкие	30	40	—
		Полутвердые	42	15	—
ЛО90-1	Полосы и ленты	Мягкие	27	35	ЦМТУ 511—41
		»	34	7	
		»	40	—	
ЛС74-3	Полосы и ленты	Мягкие	30	45	—
		Полутвердые	39—49	8	—
		Твердые	60	Не более 5	—
ЛС63-3	Полосы и ленты	Мягкие	30	40	ГОСТ 4442—48
		Полутвердые	35—44	—	
		Твердые	44—54	6	
		Особо твердые	64	Не более 5	
ЛС59-1	Полосы и ленты	Горячекатаные	35	25	ГОСТ 931—52
		Мягкие	35	25	
		Твердые	45	5	
ЛО62-1	Листы	Горячекатаные	35	20	ГОСТ 931--52
	Листы и полосы	Твердые	40	5	

Продолжение табл. 36

Наименование и марка металла и сплава	Наименование полуфабриката	Состояние	Предел прочности при растяжении *кг/мм²* (не менее)	Относительное удлинение % (не менее)	ГОСТ или ТУ
Бронза Бр. А5	Ленты	Мягкие Полутвердые Твердые	28 43 49 60	33 10 2,5	ТУЦМО 1088—55 ЦМТУ 4531—54
Бр. А7	Ленты	Термообработанные[5] Твердые	60 65	10 5	ГОСТ 1048—49
Бр.АМц9-2	Полосы и ленты	Горячекатаные Мягкие Твердые	45 45 60	15 18 5	ГОСТ 1795—47
Бр.Б2	Полосы и ленты	Мягкие[6] Твердые	30—60 66	30 2	ГОСТ 1789—50
Бр.Б2,5	Полосы и ленты	Мягкие Твердые Облагороженные[7]	40—60 70 120	25 1,5 1	ГОСТ 1789—50
Бр.КМц3-1	Полосы Ленты	Мягкие Твердые Особо твердые Мягкие Твердые Особо твердые	35 65 70 38 65 75	45 5 2 45 5 2	ГОСТ 4748—49
Бр.Х0,5	Листы	—	50	11	ГОСТ 1761—50
Бр ОФ 6,5-0,15; Бр.ОЦ4-3	Полосы Ленты	Мягкие Твердые Особо твердые Мягкие Твердые Особо твердые	30 50 60 30 55 65	38 3 1 38 5 2	ГОСТ 1761—50
Бр. ОЦС 4-4-2,5	Полосы и ленты	Мягкие Полутвердые Твердые	30 43—39 55	35 10 5	ЦМТУ 512—41

Продолжение табл. 36

Наименование и марка металла и сплава	Наименование полуфабриката	Состояние	Предел прочности при растяжении *кг/мм²* (не менее)	Относительное удлинение % (не менее)	ГОСТ или ТУ
Никель Н1; Н2; Н3; НКО2	Ленты	Мягкие	40	35	ГОСТ 2170—49
		Твердые	55	2	
НТ; НО; НІ	Листы и полосы	Горячекатаные	40	15	ГОСТ 6235—52
		Мягкие	38	35	
		Твердые	55	2	
Мельхиор МН19	Полосы	Мягкие	30	30	ГОСТ 5063—49
		Твердые	40	3	
	Ленты	Мягкие	30	25	ГОСТ 5187—49
		Твердые	40	2,5	
Монель-металл НМЖМц28-2,5-1,5	Полосы и ленты	Мягкие	30—38	32	ГОСТ 1018—54
		Мягкие	45	25	ГОСТ 5063—49 и 5187—49
		Полутвердые	58	6,5	
Нейзильбер НМЦ65-20	Полосы и ленты[8]	Мягкие	35	35	ГОСТ 5063—49 и 5187—49
		Твердые	55	1	
		Особо твердые	65	1	
Куниаль БМНА6-1,5	Ленты и полосы	Твердые	55	3	МПТУ 4156—53
Константан МНМц40-1,5	Ленты	Мягкие	40—60	—	ГОСТ 5189—49
		Твердые	65	—	

[1] При толщине не менее 0,5 *мм*.

[2] Отжиг при 700° в течение 1 час.

[3] Наклеп 20%.

[4] Наклеп 40%.

[5] Низкотемпературный отжиг.

[6] Закаленные.

[7] Облагораживание (340±10°) в течение 2 час.

[8] При толщине не более 3 *мм*.

Таблица 37

Штампуемость листов, полос и лент из тяжелых цветных металлов и сплавов по Эриксену

Наименование и марка металла или сплава	Наименование полуфабриката	ГОСТ	Состояние	Радиус пуансона, *мм*	Глубина вдавливания, *мм* (не менее)				
					Толщина, *мм*				
					0,10—0,15	0,18—0,25	0,30—0,50	0,55—1,0	1,2—1,5
Медь М1; М2; М3	Листы	495—50	Мягкие	10	—	—	8	9	10
	Ленты	1173—49	»	10	7,5	8	9	9,5	10
	То же	То же	»	4	3,4	3,8	4,0	—	—
					Толщина, *мм*				
					—	0,40—0,45	0,50	0,60—1,0	1,2—1,5
Латунь Л68	Листы и полосы	931—52	Мягкие	10	—	10	11	11,5	12
	То же	931—52	Полутвердые	10	—	8—10	9—11	9,5—11,5	11—13
	»	931—52	Твердые	10	—	7—9	7—9	7,5—9,5	—
Латунь Л62	Листы и полосы	931—52	Мягкие	10	—	9,5	9,5	10	10,5
	То же	931—52	Полутвердые	10	—	7—9	7—9	7,5—9,5	8—10
	»	931—52	Твердые	10	—	5—7	5—7	5,5—7,5	—
					Толщина, *мм*				
					0,1—0,25	0,30—0,55	0,60—1,1	1,2—1,6	1,7—2,0
Латунь Л68	Ленты	2208—49	Мягкие	10	9	11	11,5	12	12,5
	»	2208—49	Полутвердые	10	7—9	9—11	9,5—11,5	10—12	10,5—12,5
	»	2208—49	Твердые	10	5—7	7—9	7,5—9,5	—	—
Латунь Л62	Ленты	2208—49	Мягкие	10	7,5	9,5	10,0	10,5	11,0
	»	2208—49	Полутвердые	10	5,5—7,5	7,5—9,5	8—10	8,5—10,5	9—11
	»	2208—49	Твердые	10	3—5	5,5—7,5	6—8	—	—
					Толщина, *мм*				
					0,1—0,25	0,30—0,5	0,60—1,2	—	—
Никель Н1; Н2; Н3; НК	Ленты	2170—49	Мягкие	10	7,5	8,0	8,5	—	—

Продолжение табл. 37

Наименование и марка металла или сплава	Наименование полуфабриката	ГОСТ	Состояние	Радиус пуансона, *мм*	Глубина вдавливания, *мм* (не менее)				
					Толщина, *мм*				
					0,10—0,15	0,18—0,25	0,30—0,50	0,55—1,0	1,2—1,5
					Толщина, *мм*				
					0,10—0,50	0,55—6,0	0,15—0,25	0,30—1,65	—
Бронза Бр.Б2	Полосы и ленты	1789—50	Мягкие	10	6	7	—	—	—
	То же	1789—50	Твердые	10	3	3	—	—	—
Бр.Б2,5	Полосы и ленты	1789—50	Мягкие	10	—	—	6	7	—
	То же	1789—50	Твердые	10	—	—	3	3	—

§ 3. ХАРАКТЕРИСТИКА И РАЗМЕРЫ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ПРОКАТКИ

Заготовку для прокатки обычно берут в литом состоянии. Только в некоторых особых случаях, главным образом при малой пластичности металла в литом состоянии, производят предварительную проковку слитка или прессование его. Предварительная проковка или прессование позволяют разрушить малопластичную структуру заготовки (слитка) в условиях более резко выраженного объемного сжатия, чем при обычной плоской прокатке [1, 18]. Однако такие меры применяют в исключительных случаях, так как по сравнению с другими видами обработки, в том числе с ковкой и прессованием, прокатка является более производительным и экономически выгодным способом.

Слитки для прокатки обычно получают полунепрерывным или бесструйным литьем, отливкой в вертикальные водоохлаждаемые, вертикальные чугунные и горизонтальные изложницы.

Наиболее прогрессивным в настоящее время способом получения слитков для прокатки является непрерывное литье. Этот способ при массовом специализированном производстве практически вытеснил другие методы при отливке слитков различных бронз, особенно алюминиевых, и в сочетании с современными способами вибрации и перемешивания металла находит широкое распространение при отливке слитков меди и медноцинковых сплавов. Особенно важно освоение полунепрерывного литья слитков медноникелевых и других никелевых сплавов, весьма склонных к образованию различных дефектов металлургического происхождения. К числу преимуществ этого способа с точки зрения прокатного производства относится значительное сокращение различных видов металлургических дефектов: плен, раковин, пузырей, газовых и других включений. Увеличивается структурная однородность. Значительно улучшаются механические свойства слитков, что создает условия для стабилизации режима обжатий в каждом отдельном проходе, в особенности в начальный период прокатки (до разрушения литой структуры). При полунепрерывном литье улучшаются физико-механические свойства готовых полуфабрикатов. Одним из недостатков полунепрерывного литья является скопление продуктов ликвации и образование наплывов на поверхности слитков. Этот недостаток, относящийся главным образом к многокомпонентным сплавам с ликвирующими составляющими, значительно перекрывается преимуществами, получаемыми при литье слитков большого веса и толщины.

Если по каким-либо причинам необходимо прокатывать слитки небольших размеров (толщин), то в этом случае целесообразно применять литье в изложницы с открытой боковой стенкой (так называемое бесструйное литье). Применение этого способа [20] позволяет получить слитки сравнительно небольшой толщины (30—50 *мм*) с сохранением основных качественных преимуществ полунепрерывного литья и получением хорошей поверхности слитка.

Слитки, полученные полунепрерывным и бесструйным способами, режут на части в соответствии с раскроем, установленным по технологии прокатки и особенностью применяемого оборудования. Большие (по размерам) слитки многокомпонентных сплавов перед разрезкой их на части подвергают гомогенизации, при которой, помимо сокращения структурной неоднородности, снима-

ются остаточные напряжения первого рода, возникшие в процессе кристаллизации вследствие резко выраженной неравномерности охлаждения. Остаточные напряжения с увеличением толщины слитка резко увеличиваются и достигают большой величины. Для сокращения величины и запаса остаточных напряжений боковые стенки слитков делают не плоскими, а закругленными.

Толщина и вес слитка определяются физико-механическими свойствами металла (поведением его при литье, горячей и холодной обработке), требованиями к готовому прокату, характеристикой располагаемого оборудования и объемом производства. Чем лучше литейные свойства, больше температурный интервал пластичности сплава при горячей прокатке, более мощное оборудование и больше объем производства, тем применяемые слитки должны быть больше по размерам и весу.

Выбор наибольшей величины слитка (или заготовки) приводит к увеличению производительности и повышению коэффициента выхода годного. С повышением веса слитка увеличивается коэффициент использования машинного времени и сокращается количество пауз при прокатке, резке, отжиге в протяжных печах, перемоточных операциях и т. п. Создается возможность применения более высоких скоростей прокатки и сокращения затрат времени на разгон и торможение на ленточных прокатных станах. Полнее используются преимущества современного оборудования и применения механизации и автоматизации прокатного производства. Кроме того, при применении слитков большого веса достигается более выгодный раскрой и снижается количество геометрических отходов при обрезке концов и кромок.

Следует также иметь в виду, что при прокатке равноценных по качеству (по количеству и размерам металлургических дефектов) слитков различных толщин на один и тот же размер готового проката наилучшие результаты по качеству, в первую очередь по поверхности, могут быть достигнуты при прокатке слитков большей толщины.

Слитки небольшого веса и размеров применяют при прокатке сплавов, приготовляемых малым тоннажем, прочных сплавов, необрабатываемых в горячем состоянии, и сплавов, прокатываемых в горячем состоянии, но имеющих весьма узкий интервал пластичности.

На специализированных современных заводах при горячей прокатке меди, медных и медноникелевых сплавов многотоннажного производства применяют слитки толщиной 150—200 *мм*, шириной 600—900 *мм*, длиной 900—1500 *мм* и весом 1000—2000 *кг*, а при обжимной холодной прокатке (для сплавов, не подвергающихся горячей прокатке) — слитки толщиной 50—65 *мм*, шириной 500—900 *мм*, длиной 1000—3000 *мм* и весом до 1200 *кг* [30, 31, 37].

Размеры и вес слитков, применяемых при прокатке листов и лент из тяжелых цветных металлов и сплавов, приведены в табл. 38 [5—7,14].

Таблица 38

Характеристика слитков из тяжелых цветных металлов и сплавов, применяющихся для прокатки листов и лент

Наименование и марка металла или сплава	Способ отливки слитка	Средние размеры слитка *мм*	Средний вес слитка, *кг*	Подготовка перед прокаткой
Медь М1; М2; М3	Полунепрерывное литье	120×320×2000—3000	680—1000	Обрезка головной и донной части и резка
	То же	120×1045×5420	5420	
	» »	165×1305×5170	8800	
	» »	165×1310×5370	8800	
	Отливка в горизонтальную изложницу	180—240×950×950	1400—1900	—
	Отливка в вертикальную водоохлаждаемую изложницу	140×630×900	700	—
Латунь Л62	Полунепрерывное литье	140×450×(2000—3000)	1500	Обрезка головной и донной части и резка
	Отливка в вертикальную водоохлаждаемую изложницу	140×650×900	640	—
	То же	140×595×900	590	—
	» »	140×450×900	440	—
	» »	120×510×900	450	—
	» »	120×625×900	560	—

Продолжение табл. 38

Наименование и марка металла или сплава	Способ отливки слитка	Средние размеры слитка *мм*	Средний вес, слитка, *кг*	Подготовка перед прокаткой
Латунь Л62	Отливка в вертикальную водоохлаждаемую изложницу	85×625×800	355	—
Латуни Л62; ЛС59-1; Л70, Л90	Полунепрерывное литье	120×1045×5420	5420	Обрезка головной и донной части и резка
	То же	165×1305×5170	8800	
	» »	165×1310×5370	8800	
	» »	114×635×1500	910	
	» »	127×750×950	760	Без обработки
	» »	130×550×1430	870	
	» »	120×680×2000	1360	
Латунь Л68	Полунепрерывное литье	120×300×2000—3000	700—1100	Обрезка головной и донной части и резка
	Отливка в вертикальную водоохлаждаемую изложницу	120×580×900	530	—
	То же	120×510×900	470	—
	» »	120×340×900	325	—
	» »	85×625×800	355	—
Латунь Л90	Отливка в вертикальную водоохлаждаемую изложницу	120×580×900	540	—
	То же	120×510×900	480	—
	» »	85×625×800	355	—
	» »	120×620×900	560	—
Латунь ЛО62-1	Отливка в вертикальную водоохлаждаемую изложницу	120×625×900	560	—
	Отливка в горизонтальную изложницу	185×980×980	1500	—
Латуни ЛС59-1; ЛМц58-2; ЛЖМц59-1-1	Отливка в горизонтальную изложницу	185×980×980	1500	—
	Отливка в вертикальную водоохлаждаемую изложницу	85×625×800	355	—
Бронзы Бр.А5, Бр А7 Бр.АМц9-2	Полунепрерывное литье	150×330×2165	838	Обрезка головной и донной части и резка
Бронзы Бр А5 Бр.А7; куниаль МНА6-1,5	Отливка в вертикальную водоохлаждаемую изложницу	115×285×830	280	—
	То же	120×620×900	550	—

Продолжение табл. 38

Наименование и марка металла или сплава	Способ отливки слитка	Средние размеры слитка *мм*	Средний вес слитка, *кг*	Подготовка перед прокаткой
Бронзы Бр.АМц9-2; Бр.КМц3-1; монель-металл НМЖМц 28-2,5-1,5; манганин МНМц3-12	Отливка в вертикальную чугунную изложницу	70—90×315×530	120—130	—
	То же	130×300×950	270	—
	» »	35×320×550	50	—
Нейзильбер МНЦ15-20, Константан МНМц40-1,5; Бронза Бр.ОЦ4-3	Полунепрерывное литье	150×330×2165	950	Обрезка головной и донной части и резка
Нейзильбер МНЦ15-20	Отливка в вертикальную водоохлаждаемую изложницу	120×320×900	300	—
	То же	100×410×1000	400	—
Никель Н1; Н2; Н3; НК	Отливка в вертикальную чугунную изложницу	200×200×400	145	—
	То же	200×380×600	400	—
Мельхиор МН19	Отливка в вертикальную водоохлаждаемую изложницу	125×310×820	225	—
	То же	140×595×900	650	—
Бронзы Бр ОФ6,5-0,15, Бр ОЦС4-4-2,5, Бр Б2, Бр Б2,5; Бр.ОЦС4-4-4	Отливка в вертикальную чугунную изложницу	24×230×650	27	—
	То же	35—50×320×600	50	—
	Отливка в изложницу с открытой стенкой	50×300×2000—3000	50	—
Цинк	Отливка в горизонтальную изложницу	50×300×600	65	—
Двойные и специальные латуни с повышенным содержанием примесей, свинцовистые латуни	Полунепрерывное литье, отливка в изложницу с открытой стенкой или в вертикальную водоохлаждаемую	55—65×500×1200	330	
	То же	55—65×550×1430	440	Без обработки
	» »	55—65×640×2900	1040	

Слитки, поступающие на прокатку, должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Соответствовать химическому составу, предусмотренному стандартом. В некоторых случаях во внутризаводских нормалях допуски по химическому составу сужаются по сравнению с допусками по стандарту. Это делается для того, чтобы обеспечить бо́льшую устойчивость технологического процесса, главным образом по обрабатываемости в горячем состоянии, и для получения свойств (электросопротивления, прочности, пластичности, упругости и других), заданных техническими условиями.

2. Соответствовать размерам и весам, предусмотренным внутризаводскими нормалями. При отклонении размеров слитка по ширине в сторону бо́льших неизбежны дополнительные геометрические отходы из-за обрезки кромок. При ширине слитков, меньшей, чем задано по нормалям, установленный раскрой также нарушается; в некоторых случаях это может быть частично исправлено при заготовительной прокатке.

3. Не иметь на наружной поверхности и на кромках слитка глубоких раковин, засоров, неслитин, ярко выраженных следов усадки и рыхлости, ликвационных наплывов и глубоких следов, оставшихся от удаления дефектов. Отдельные мелкие дефекты слитков должны быть предварительно удалены.

4. Иметь минимальное газонасыщение сплава, которое является причиной образования поверхностных дефектов в виде плен и пузырей.

Слитки после отрезки литниковой части, обточки или фрезеровки, а при полунепрерывном литье — после разрезки на части, а иногда и после предварительной гомогенизации и удаления местных дефектов поступают на прокатку. Поверхность слитка подвергают сплошной механической обработке в том случае, если эта операция предусмотрена технологической схемой прокатки.

§ 4. СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ЛИСТОВ, ПОЛОС И ЛЕНТ ИЗ ТЯЖЕЛЫХ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Технологический процесс изготовления листов, полос и лент состоит из прокатки и ряда других операций, к числу которых относятся: механическая обработка поверхности слитка (фрезеровка, шабровка, обточка, строжка), термическая обработка (отжиг, закалка, отпуск и др.), электрохимическая, химическая, химико-механическая и механическая очистка поверхности от окислов и загрязнений (травление и отбел, крацовка, матирование), а также резка, правка, гибка, свертка и др. В зависимости от свойств прокатываемого металла, размеров и назначения готовых изделий, типа и мощности имеющегося оборудования одни операции могут повторяться несколько раз, другие, кроме собственно прокатки, — отсутствовать.

Прокатка может производиться с предварительным нагревом заготовки (горячая прокатка) и без нагрева. Нагрев заготовки перед прокаткой позволяет значительно уменьшить сопротивление деформации (в ряде случаев до 10—15 раз) и ведет к увеличению коэффициента внешнего трения. Отсюда возникает возможность значительного повышения величины обжатий и применения заготовок большого веса, что, как указывалось, резко улучшает технико-экономические показатели прокатного производства (повышение производительности и выхода годного, сокращение производственного цикла обработки). При правильно выбранном температурном интервале обработки и соблюдении заданного технологического режима во время горячей прокатки происходит так называемая горячая деформация (см. раздел II) и получающееся упрочнение незначительно. Поэтому при горячей прокатке промежуточных отжигов в целях снятия наклепа, как правило, не производят.

Применяемые в промышленности для изготовления листов, полос и лент тяжелые цветные металлы и сплавы можно разделить на две группы.

В первую группу входят металлы и сплавы, имеющие при нагревании определенный практически достаточно широкий температурный интервал с высокой пластичностью при прокатке. Сюда относятся медь, никель, двойные α-латуни и медноникелевые сплавы с ограниченным по стандарту количеством вредных примесей (висмута, свинца и др.), α + β-латуни, ряд специальных латуней и бронз. С достаточной для практики точностью наличие и пределы температурного интервала пластичности могут быть определены по так называемым диаграммам пластичности [9, 18]. К этой же группе относятся металлы, имеющие температуру рекристаллизации, близкую к комнатной или ниже, которые при прокатке без нагрева не упрочняются (механизм горячего деформирования). Такое явление имеет место при прокатке свинца, свинца, плакированного оловом, и др.

Во вторую группу входят металлы и сплавы, упрочняющиеся при деформации без нагрева и не имеющие в области высоких температур пластичности, достаточной для проведения прокатки. Эта группа сплавов по объему производства и выпуска, в сравнении с первой, незначительна. В нее входят оловяннофосфористые (Бр.ОФ6-5-0,15) и оловянносвинцовоцинковые (Бр.ОЦС4-4-2,5, БрОЦС4-4-4) бронзы, латуни с большим содержанием свинца (ЛС63-3), а также α-латуни, загрязненные примесями. Латуни, загрязненные примесями, в первую очередь свинцом, в ряде стран широко применяются в прокатанном виде (например, в США около 50% всего производства латунных листов и лент) и прокатываются в холодном состоянии. Совмещенная схема наиболее распространенных технологических процессов производства ли-

стов и лент из тяжелых цветных металлов и сплавов приведена на рис. 1.

При многотоннажном производстве сплавов для повышения производительности

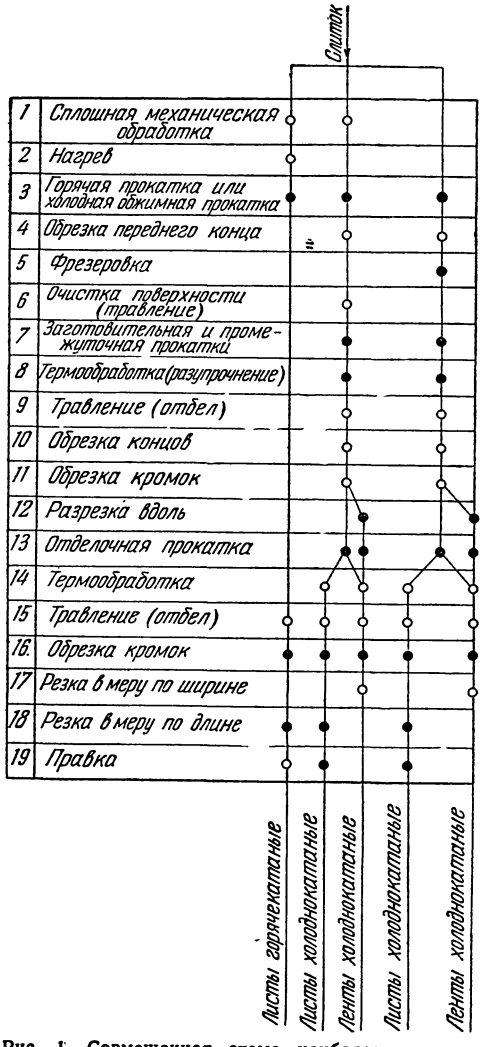


Рис. 1. Совмещенная схема наиболее распространенных технологических процессов производства листов и лент из цветных металлов и сплавов. Незачерненные кружки соответствуют операциям, которые могут в технологическом процессе отсутствовать. Операции *7* и *8—12* повторяются несколько раз

сваривают концы рулонов после первой заготовительной холодной прокатки при толщине ленты 2—3 *мм*. Это позволяет, не изменяя размера слитка и мощности головного оборудования, значительно повысить скорости холодной прокатки.

§ 5. НАГРЕВ ПЕРЕД ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКОЙ

Перед горячей прокаткой производят нагрев слитков. Основными технологическими параметрами этого процесса являются: температура и равномерность нагрева, атмосфера в печи и способ передачи тепла. Температуру нагрева принимают близкой к верхнему пределу температурного интервала пластичности сплава. При нагреве до более высоких температур сплав попадает в область хрупкости, связанную с перегревом и пережогом. Структура слитка в этом случае при нагреве может получить необратимые изменения, и металл для прокатки будет непригоден. Нагревать слитки значительно ниже верхнего предела интервала пластичности нецелесообразно, так как с понижением температуры резко увеличивается сопротивление деформации. Кроме того, большинство сплавов имеет сравнительно узкий интервал горячей обработки и потому температура подката в последних проходах может быть ниже нижнего предела интервала пластичности. В этом случае по кромкам появляются значительные трещины, структура металла становится неоднородной. Полученный подкат сильно упрочняется, и перед холодной прокаткой требуется отжиг. Нагрузка на стан горячей прокатки в последних проходах (полное давление металла на валки) сильно увеличивается. При контроле процесса нагрева необходимо, кроме того, учитывать перепад температур между стенками рабочего пространства печи и нагреваемыми слитками и определять истинную температуру слитков. Температура нагрева слитков из различных металлов и сплавов перед горячей прокаткой приведена в табл. 39.

Температуры нагрева слитков, указанные в скобках, являются с точки зрения пластичности допустимыми, но достижение их нежелательно. При нагревании цветных металлов и сплавов до этих температур происходит резкое увеличение окисления. Потери металла при нагреве за счет окисления сильно возрастают, а у медноцинковых сплавов усиливается возгонка цинка. Падение температуры при прокатке ниже температур окончания горячей прокатки, указанных в скобках, вызывает резкое упрочнение и ухудшение качества подката.

Слиток, подаваемый на прокатку, должен иметь равномерную температуру. При неравномерном нагреве вследствие значительного влияния температуры на сопротивление деформации вытяжка в различных частях слитка будет неодинакова. При высокой пластичности сплава подкат может иметь неравномерную толщину по длине и ширине, а также волнистость и серповидность. При недостаточной пластичности сплава и прочности слитка нередко появляются трещины, расслоения и раскрытие слитка вдоль и поперек сечения. Во всех случаях неравномерный нагрев и последующая прокатка приводят к неравномерному упрочнению и разупрочнению, к неоднородности структуры и ухудшению физико-механических свойств. Для выравнивания температуры слитка в некоторых случаях (алюминиевые бронзы, свинцовистые и марганцевые латуни) производят значительную выдержку (так называемое томле-

Таблица 39

Температурные интервалы горячей прокатки тяжелых цветных металлов и сплавов

Наименование и марка металла или сплава	Температура нагрева слитков перед горячей прокаткой (верхний предел интервала пластичности) град.	Температура окончания горячей прокатки (нижний предел интервала пластичности), град.
Медь М1; М2; и М3	800—900 (930)	650 (600)
Латунь:		
Л96; Л90; ЛО90-1	850—870 (900)	700 (650)
Л80, ЛН65-5	830—800 (870)	700 (650)
ЛК80-3, Л72; Л70, Л68; ЛА85-0,5	820—840 (860)	750 (700)
Л62, ЛО62-1	800—820 (840)	700 (650)
ЛКС65-1,5-3	760—780	700
ЛС59-1	750—780 (800)	700
ЛМц58-2	700—730	650
Бронза:		
Бр А5, Бр.А7	840—860 (870)	650
Бр АМц9-2	820—840 (850)	650
Бр Б2, Бр.Б2,5	780—800	650 (600)
Бр КМц3-1	820—840 (850)	650
Бр Х0,5	800—850 (900)	650
Бр.ОЦ4-3	730—750	650
Никель Н1, Н2 Н3; НК	1150—1200 (1250)	900 (850)
Монель-металл НМЖМц28-2,5-1,5	1100 (1150)	1000 (950)
Константан МНМц40-15	1080—1130	—
Мельхиор МН19	980—1000 (1030)	900 (700)
Нейзильбер МНЦ15-20	970 (1000)	900 (700)
Куниаль Б МНА6-1,5	850—870 (900)	700
Манганин МНМц3-12	820—850	—
Цинк	160—180	—

ние) металла в печи. В современных конструкциях печей равномерность прогрева достигается непосредственным обогревом каждого слитка в отдельности (укладка слитков по одному, циркуляция воздуха или продуктов сгорания топлива в печи).

Значительное влияние на процесс последующей горячей прокатки и качество получаемого проката оказывает характер и состав атмосферы в рабочем пространстве нагревательной печи [12, 16, 17, 26]. В зависимости от состава сплава и характера атмосферы при нагревании может происходить:

а) более или менее равномерное или избирательное окисление, т. е. одни компоненты сплава значительно сильнее окисляются, чем другие;

б) восстановление имеющихся в сплаве окислов, приводящее к так называемой водородной болезни;

в) возгонка (испарение) равномерное или избирательное.

Равномерное окисление и испарение ведут к увеличению (практически безвозвратных) потерь металла, но влияние их на качество металла сравнительно невелико.

Восстановление, избирательное окисление и испарение ведут к появлению различных поверхностных дефектов, а последние два явления изменяют, кроме того, химический состав поверхностного слоя сплава.

Медные и никелевые сплавы, содержащие цинк, а также марганец и кадмий, нагревают в слабоокислительной атмосфере. В этом случае достигается наименьшая возгонка цинка вследствие образующегося на поверхности слитков тонкого, но прочного слоя окислов, содержащего защитную пленку окиси цинка. При нагревании в вакууме или нейтральной и восстановительной атмосфере (водород, окись углерода, углеводороды и другие содержащие водород газы) цинк из поверхностных слоев сильно испаряется. В сплавах, содержащих 25—30% цинка и более (латуни Л62, Л68, ЛН65-5, ЛМц58-2 и др.), практически заметное испарение цинка наблюдается при нагревании до 400—450°. При дальнейшем увеличении температуры этот процесс ускоряется. Поверхностные слои, обедненные цинком, обладают высокой пористостью и низкой пластичностью. При горячей прокатке обесцинкование поверхностного слоя ведет к появлению плен и трещин на поверхности, а при дальнейшей обработке, кроме того, образуются пятна. В слабоокислительной атмосфере уменьшается процесс избирательного испарения (благодаря созданию плотной защитной пленки) и процесс окисления идет менее интенсивно из-за недостатка кислорода. Вследствие этого уменьшаются выгорание легко окисляющихся при нагреве компонентов, например марганца, и общие потери металла на окисление.

Медь, никель, медные, медноникелевые и никелевые сплавы, которые не содержат в своем составе раскислителей (фосфора, марганца, магния, цинка, кадмия и т. п.) и в которых возможно присутствие некоторого количества кислорода, нагревают также в слабоокислительной или окислительной атмосфере. Окислительная атмосфера исключает возможность возникновения так называемой водородной болезни, ведущей при дальнейшей обработке к появлению плен, трещин и пузырей. При нагреве сплавов, содержащих нелетучие раскислители (алюминий) или летучие раскислители в небольших количествах, применяется слабовосстановительная атмосфера в целях сокращения окисления. К числу таких сплавов относятся бронзы марок БрА5, БрА7, БрАМц9-2 и медноцинковые сплавы марок Л96, Л90.

В целях уменьшения окисления и связанных с этим потерь для металлов и сплавов с широким интервалом пластичности (медь, медноцинковые сплавы Л96, Л90, никель) несколько снижают температуру нагрева перед прокаткой (см. табл. 39).

Помимо характера атмосферы в печи (восстановительная, нейтральная, окислительная), в ряде случаев большое влияние оказывает состав атмосферы (основные компоненты и примеси). Окись углерода, водород, углеводороды могут явиться причиной водородной болезни. Активный (атомарный) водород может появиться при наличии паров воды, которые при 800° и выше в сильной степени диссоциируют. Практически весьма вероятно содержание в топливе, применяемом для обогрева нагревательных печей, примеси серы и сернистых соединений. В этом случае при нагреве медноникелевых сплавов и особенно чистого никеля сера диффундирует в поверхностные слои слитка и образует сульфид никеля. Это приводит к появлению трещин и плен при горячей прокатке.

Степень испарения, окисления и диффузии кислорода, водорода, серы и других газов в металл определяется не только температурой, но и временем нагрева. При резком сокращении времени нагрева указанные явления заметны в значительно меньшей степени и их последствия полностью удаляются при фрезеровке подката. Сокращение времени не должно исключать равномерности нагрева; последнее достигается газовым обогревом каждого слитка (заготовки) в отдельности без укладки их в стопку. Применяемые горелки обеспечивают полное и интенсивное сжигание газа с практическим равномерным распространением пламени на всю поверхность слитка.

Слитки перед горячей прокаткой нагревают в специальных нагревательных печах, устанавливаемых в непосредственной близости от стана горячей прокатки. Обычно устанавливают не менее двух нагревательных печей с тем, чтобы остановка печи на ремонт не приводила к простоям головного оборудования (стана горячей прокатки). Производительность нагревательных печей берут несколько больше производительности прокатного стана, чтобы надежно обеспечивать работу стана и не препятствовать росту производительности при усовершенствовании, механизации и автоматизации технологического процесса.

Слитки при массовом производстве сплавов нагревают в высокопроизводительных печах: методических толкательных, карусельных и с шагающим подом, слитки сложных сплавов, имеющие большую номенклатуру и разнообразие режимов нагрева, — в камерных печах. Слитки из медных (до температуры 750—900°) и медноникелевых и никелевых сплавов (до температуры 950—1200°) нагревают в печах, работающих на газе (природный или генераторный газ) или жидком топливе (мазут). В более редких случаях используется индукционный нагрев токами промышленной частоты. Нагрев слитков цинка производят в электрических печах сопротивления с металлическими нагревателями.

Наилучшими с технологической стороны печами, предназначенными для высокотемпературного нагрева (750—1200°), являются карусельные печи. Эти печи имеют кольцевую камеру с неподвижными стенками и вращающимся кольцевым подом. Нагрев слитка производится в течение одного полного оборота пода печи относительно загрузочно-разгрузочного окна (рис. 2). Горелки размещаются по наружной кольцевой стенке и делятся на 2 или 3 зоны регулирования: во входной зоне осуществляется наиболее интенсивный нагрев и там сосредоточено большее количество горелок, а в выходной зоне происходит выравнивание температуры и там установлено меньшее количество горелок.

По температурному режиму кольцевые печи являются, таким образом, методическими. Для предотвращения охлаждения металла загрузочно-разгрузочное окно разделено специальной занавеской и по внешнему и внутреннему кольцу имеются водяные затворы. Слитки загружают и выгружают с помощью специальных напольных или подвесных машин.

Карусельные печи по сравнению с толкательными имеют следующие преимущества: меньшее время нагрева при большой его равномерности, низкий угар металла, возможность полного освобождения печи при временных остановках, простота автоматического регулирования горения и меньшая стоимость ремонта по сравнению с толкательными печами. Стоимость установки и монтажа карусельных печей на 20—30% больше стоимости толкательных печей равноценной производительности, однако эти дополнительные расходы быстро окупаются благодаря указанным преимуществам.

Толкательные печи и печи с шагающим подом для нагрева слитков, как и карусельные, по температурному режиму являются

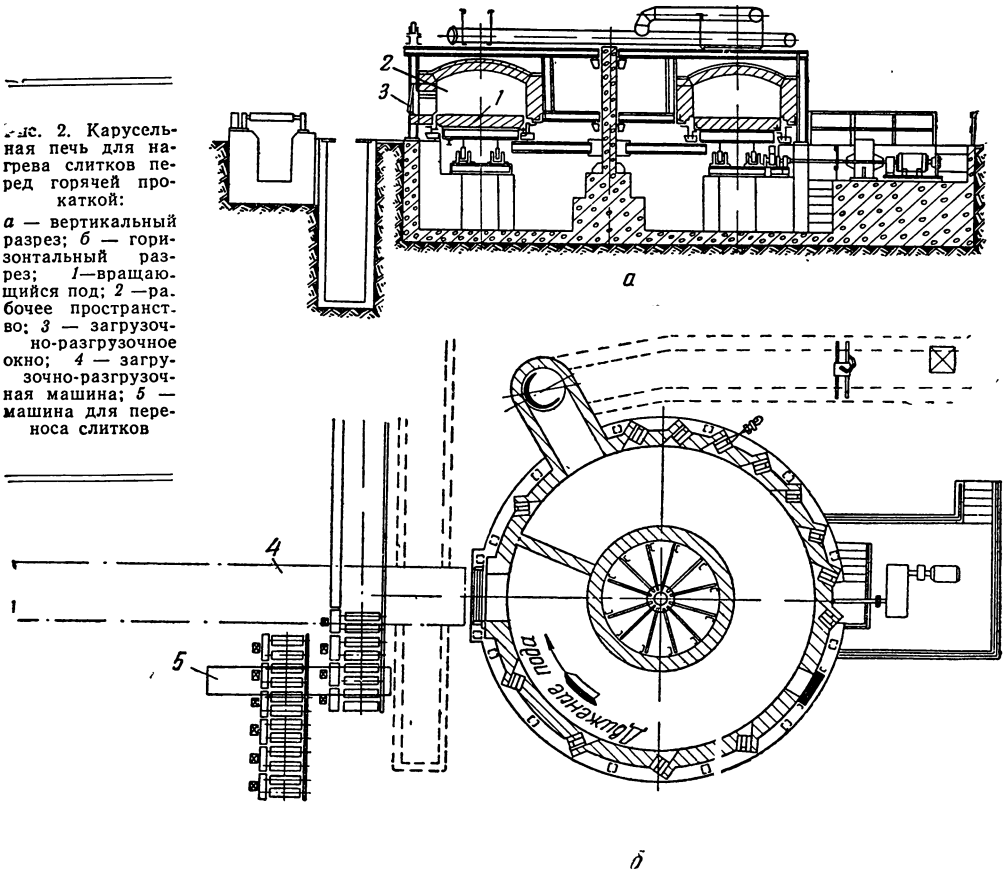


Рис. 2. Карусельная печь для нагрева слитков перед горячей прокаткой:
а — вертикальный разрез; *б* — горизонтальный разрез; *1*—вращающийся под; *2* —рабочее пространство; *3* — загрузочно-разгрузочное окно; *4* — загрузочно-разгрузочная машина; *5* — машина для переноса слитков

методическими и делятся обычно на 2 или 3 зоны нагрева. В первой (входной) зоне устанавливается 70—75% горелок, а в последней — наименьшее их количество. По сравнению с карусельными, в толкательных печах достигается меньшая равномерность прогрева металла при большей длительности пребывания его в печи. Этот недостаток до некоторой степени устраняется при укладке слитков в один ряд по высоте печи и при применении инжекционных горелок. В толкательных печах слитки укладывают на поддоны. При нормальной работе таких печей в обороте находится большой парк поддонов, требующих замены, также как и направляющих, по которым движутся поддоны и которые требуют периодической смены их. На нагрев поддонов непроизводительно затрачивается тепло. Печи с шагающим подом, по сравнению с толкательными и карусельными, более сложны и менее экономичны и применяются для нагрева крупногабаритных заготовок и полуфабрикатов. Иногда, в зависимости от характера производства, печи используются и для нагрева заготовок и для отжига крупногабаритного подката и листов; при нагреве слитков печь работает как методическая, а при отжиге — как камерная.

Для обогрева методических печей с рабочей температурой 750° и выше применяется газ (генераторный и природный) и жидкое топливо (мазут). Для сжигания газа в печах устанавливают инжекционные горелки, обладающие рядом преимуществ (полнота сжигания газа, автоматическое поддержание коэффициента избытка воздуха, отсутствие вентилятора и др).

Характеристика методической газовой печи карусельного типа для нагрева слитков перед горячей прокаткой следующая:

Назначение	Нагрев латунных и медных слитков
Вес слитков, *кг*:	
латунных	До 910
медных	До 450
Производительность, *т/час*, при нагреве слитков:	
латунных	23
медных	13
Топливо	Природный газ
Калорийность газа, *ккал/м*³	10200
Расход газа, *м*³*/час* . .	510

Индукционный нагрев слитков, в частности токами промышленной частоты, имеет следующие значительные технологические преимущества:

1. Сокращение времени нагрева (в 4—10 раз), а соответственно и уменьшение степени окисления, выгорания и испарения летучих составляющих сплавов.

2. Простота и точность регулирования режима нагрева слитков различных сплавов. Большие возможности автоматизации процесса.

3. Отсутствие потерь времени и энергии на предварительный подогрев. Простота перехода от одних размеров слитков к другим путем смены индукторов. Сокращение производственных площадей.

Распространение этого прогрессивного метода нагрева заготовок под прокатку ограничивается большими значениями установочных мощностей и большим потреблением электроэнергии при сравнительно высоком ее удельном расходе (табл. 40).

Таблица 40

Характеристика индукционных установок промышленной частоты для нагрева плоских слитков из цветных металлов и сплавов

Мощность *квт*	Производительность, *т/час*		
	медь	латунь	мельхиор
150	0,55	0,65	0,6
250	0,95	1,1	1,0
400	1,5	1,75	1,6
600	2,2	2,5	2,2
900	3,25	4,0	3,6
1200	5,0	5,25	4,8

Мощность, потребная для нагрева медных слитков, составляет 240 *квт/т*, латунных — 230 *квт/т*. Коэффициент полезного действия при нагреве медных слитков составляет 50, латунных — 60 и медноникелевых — 75%.

§ 6. ГОРЯЧАЯ ПРОКАТКА

Нагретые до заданной температуры слитки или кованые заготовки поступают на стан горячей прокатки. Перед первым проходом производится очистка поверхности на специальных машинах с железными щетками или действием струи пара или воды под большим давлением. Эта операция имеет целью предохранить металл от закатки окалины и остатков футеровки, попавших на слиток или заготовку в нагревательной печи. Падение температуры металла за время, прошедшее от выемки слитков из печи до захвата валками стана в первом проходе, незначительно; это достигается применением специальных устройств (шаржирных кранов и тележек) для выемки слитков и укладки их на рольганг, имеющий высокие скорости.

Маршрут прокатки устанавливают таким образом, чтобы максимально использовать мощность стана (по загрузке привода в первых и по полному давлению металла на валки в последних проходах) и пластичность металла. В первых проходах, когда металл нагрет до максимальной температуры, загрузка привода, как правило, невелика и величина обжатия ограничивается углом естественного захвата и пластичностью металла. Угол захвата искусственно увеличивается за счет грубой шлифовки валков и наличия скосов на передней кромке слитка. Слитки, получаемые полунепрерывным литьем, обычно прокатывают поперек оси литья. Благодаря этому на кромки, наиболее подверженные действию растягивающих напряжений и растрескиванию, при горячей прокатке попадают внутренние плотные слои слитка. Ширину отливаемого слитка унифицируют и рассчитывают таким образом, чтобы при прокатке в поперечном направлении после последнего прохода получить длину подката, наиболее полно использующую длину выходного рольганга стана горячей прокатки Длину слитка после разрезки (ширина при прокатке) выбирают в соответствии с заданным раскроем. Для уменьшения остаточных напряжений при литье концы слитка (передний и задний), задаваемые в валки, имеют закругления. Закругления улучшают захват металла в валки и уменьшают уширение переднего и заднего концов полосы.

При прокатке малопластичных сплавов (монель-металла, манганина, нейзильбера, бронзы марки Бр.ОЦ4-3 и др.) величина обжатия в первых проходах лимитируется пластичностью сплава в литом состоянии. В первых двух-трех проходах необходимо разрушить литую структуру, так как это в большинстве случаев повышает интервал пластичности и величину допустимых обжатий.

Прокатка с максимальными обжатиями (в пределах мощности привода и прочности рабочей клети) дает возможность не только повысить производительность и другие технико-экономические показатели стана горячей прокатки, но и полнее использовать технологические свойства прокатываемого металла. Чем меньше проходов и меньше длительность прокатки, тем меньше остывание прокатываемой заготовки, полнее использование тепла, образующегося при пластической деформации, и меньше температурный интервал прокатки. Особенно важно уменьшение температурного интервала прокатки, так как большинство тяжелых цветных металлов и сплавов имеет ограниченный интервал пластичности (см. табл. 39). Падение температуры ниже нижнего предела интервала пластичности ведет к появлению трещин, неоднородности структуры и снижению физико-механических свойств полуфабрикатов.

На поведение металлов и сплавов при горячей прокатке большое влияние оказывают

Таблица 41

Примерные маршруты горячей прокатки цветных металлов и сплавов

Металл или сплав	Характеристика стана	Размеры слитка *мм*	Вес слитка, *кг*	Размер подката *мм*	Число проходов	Маршрут прокатки
Медь	2×970×4000	200×950×950	1600	23×2000	28	180 → 162 → 146 → 131 → 117 → 103 → 91 → кантовка 85 → 79 → 73,5 → → 68,5 → 63,5 → 58,5 → 54 → 50 → 46 → 42,5 → 39,5 → 37 → 34,5 → → 32,5 → кантовка → 30,5 → 29 → 27,5 → 26 → 25 → 24 → 23
	2×750×1500	140×595×900	625	12×630	6	140 → 108 → 81 → 57 → 36 → 22 → 12
Латунь Л90	2×600×940	70×450×750	175	8×460	9	70 → 55 → 41 → 31 → 23 → 17 → 13 → 11 → 8,5 → 8,0
Латунь Л68	3×600×520×1000	110×300×850	210	15×360	9	110 → 95 → 80 → 66 → 53 → 41 → 31 → 23 → 18 → 15
	2×600×940	110×310×720	205	12×370	9	110 → 97 → 78 → 60 → 45 → 35 → 26 → 18,5 → 15 → 12
	2×750×1500	120×580×900	540	6×630	8	120 → 85 → 55 → 37 → 25 → 17 → 12 → 8 → 6
	2×750×1500	145×305×845	320	12×330	6	145 → 105 → 70 → 45 → 28 → 16 → 12
Латунь Л62	3×600×520×1000	95×500×820	305	4×520	9	95 → 75 → 55 → 40 → 28 → 18 → 11 → 7 → 5 → 4
	2×750×1500	140×595×900	590	4,5×650	6	140 → 78 → 43 → 20 → 10,5 → 7,0 → 4,5
	2×750×1000	140×450×900	480	10,5×500	4	140 → 80 → 38 → 19 → 10,5
	3×650×1530	100×620×900	475	4,5×660	9	100 → 80 → 60 → 45 → 30 → 20 → 13 → 9 → 6,5 → 4,5
Латунь ЛС59	2×750×1500	140×959×900	575	10×650	5	140 → 105 → 70 → 40 → 19 → 10
Алюминиевая бронза Бр. А5	3×650×1530	110×280×750	200	14×305	6	110 → 75 → 60 → 45 → 30 → 18 → 14
Оловянноцинковая бронза Бр. ОЦ4-3	2×600	110×310×750	210	20×330	11	110 → 96 → 83 → 73 → 63 → 54 → 45 → 37 → 30 → 25 → 22 → 20
Кремнемарганцовистая бронза Бр. КМц3-1	2×750×1500	130×300×950	275	12×340	7	130 → 90 → 65 → 45 → 28 → 18 → 14 → 12
Бериллиевая бронза Бр. Б2	2×600	50×320×600	58	12×360	5	50 → 34 → 26 → 19 → 15
Никель	2×750×1500	200×380×600	400	10×400	11	200 → 160 → 125 → 100 → 80 → 60 → 45 → 33 → 23 → 16 → 12 → 10
	2×600	175×600	95	17×310	9	175 → 126 → 100 → 80 → 63 → 50 → 39 → 30 → 23 → 17
Мельхиор МН19	2×600	120×310×750	245	14×370	9	120 → 102 → 85 → 70 → 57 → 45 → 34 → 26 → 18 → 14
Нейзильбер НМЦ65-20	2×600	110×310×750	220	14×356	8	110 → 85 → 70 → 55 → 42 → 30 → 23 → 17,5 → 14
	2×750×1000	140×450×900	500	12×520	5	140 → 100 → 60 → 35 → 18 → 12

Таблица 42

Характеристика некоторых станов для горячей прокатки (7,8)

Показатели	Станы			
	двухвалковый реверсивный	двухвалковый реверсивный	трехвалковый	двухвалковый нереверсивный
Диаметр валка, *мм*	600	600	750/470	750
Длина бочки валка, *мм*	750	1170	1200	1500
Мощность главного привода	800 *л. с.*	1000 *л. с.*	880—2650 *квт*, 110—160 об/мин	1000 *квт*
Скорость прокатки, *м/сек*	До 1	0,85—1,1	2,3—3,3	1
Назначение	Для прокатки латуни	Для прокатки латуни и меди	Для прокатки латуни и меди	Для прокатки медных и никелевых сплавов
Размер слитка, *мм*	125×550×1400	114×635×1500 (латуни Л70) 102×610×838 (медь)	—	—
Вес слитка, *кг*	900	910 (Л70)	До 600	До 600
Толщина готового подката, *мм*	10	9,65	—	—
Число проходов	9	13 (Л70)	—	—
Производительность, *т/час*	27	25 (Л70)	—	—
Состав бригады, чел.	4	4—8	—	—
Вспомогательное оборудование	Рольганги, эджерная клеть, гильотинные ножницы	Рольганги, эджерная клеть	—	—

примеси [4, 17, 18]. Наиболее вредной примесью при прокатке медных и особенно медноцинковых сплавов является свинец, так как он расширяет зону хрупкости, имеющуюся у α-латуней в области 400—650°. При горячей прокатке металлов и сплавов, загрязненных примесями, в частности латуней с содержанием свинца, особенно важно провести прокатку в узком интервале температур, не допустив при этом перегрева металла. Наиболее сильное влияние оказывает свинец на прокатку α-латуни (латуней марок Л68 и Л70), которое уменьшается при переходе к двухфазным α + β-латуням.

В ряде случаев при плавке для раскисления и улучшения литейных свойств в медные и медноникелевые сплавы вводят фосфор, примесь которого резко снижает пластичность при горячей прокатке.

На прокатку никеля особо вредное влияние оказывает сера [11, 17], находящаяся в металле в виде примеси или диффундирующая в металл при нагреве слитков в сжигаемом топливе (газе и мазуте), содержащем сернистые соединения.

Для горячей прокатки меди, никеля, медных и никелевых сплавов обычно применяются двухвалковые нереверсивные и реверсивные и трехвалковые прокатные станы с диаметром валков от 500 до 1000 *мм*.

Современные станы для горячей прокатки (обычно реверсивные двухвалковые) имеют привод от электродвигателя постоянного тока. Станы имеют ряд вспомогательных устройств: щетки для очистки слитков, рольганги, гильотинные ножницы, свертывающие машины, листоукладчики, сбрасыватели, холодильники и др. Управление станом осуществляется автоматически включением программы обжатий по проходам, а работа рабочей клети, главного привода и всех вспомогательных механизмов синхронизирована. Применение этих станов позволяет сократить величину пауз между проходами до 3—4 сек., уменьшить время и температурный интервал прокатки. Регулирование скорости позволяет снизить ее в первых проходах, улучшить захват металла валками и довести скорость ее до максимума в последних проходах. При прокатке крупных слитков станы снабжаются эджерной клетью.

Примеры горячей прокатки цветных металлов и сплавов и характеристики станов горячей прокатки приведены в табл. 41 и 42 [6, 8, 15, 22].

Схема линий горячей и заготовительной прокатки приведена на рис. 3. Техническая характеристика линий горячей и заготовительной прокатки следующая:

Машина для очистки слитков

Размер очищаемых слитков, *мм*:	
длина	900
ширина	500—1200
толщина	50—230
Диаметр щеток, *мм*	250—270
Скорость щеток, *м/сек*	14

Вертикальная клеть

Скорость прокатки, *м/сек*	0,5—1,75
Диаметр рабочих валков, *мм*	600
Ширина прокатываемой полосы, *мм*	500—1200

Рольганг линии горячей прокатки

Скорость рольганга, *м/сек*	0,5—1,75
Размеры роликов, *мм*	300×1300

Направляющие линейки. Гильотинные ножницы с нижним резом

Ширина полосы, *мм*	1050
Толщина полосы, *мм*	12
Ход нижнего ножа, *мм*	100
Усилие резания, *кг*	30000

Передвижной качающийся упор

Длина пореза листа, *мм*	1350—2750

Тянущие ролики

Окружная скорость роликов, *м/мин*	2,5

Листоукладчик

Вес пакета, *т*	2—7,5
Размеры пакета, *мм*:	
длина	1400—2600
ширина	600—1100
высота	200—350
Производительность кармана, шт/час	840

Свертывающая машина

Толщина ленты, *мм*	6
Ширина ленты, *мм*	600—1050
Скорость свертывания, *м/сек*	1,0
Диаметр рулона, *мм*:	
внутренний	600
наружный	800

Конвейер для уборки рулонов

Скорость конвейера, *м/сек*	0,354

Сбрасыватель

Максимальная длина полосы, *мм*	15600
Максимальная ширина полосы, *мм*	625
Толщина полосы, *мм*	12

Цепной холодильник

Максимальное число полос в стопке, шт.	13—14
Максимальный вес передвигаемого холодильником груза, *кг*	200000
Скорость движения цепей холодильника, *м/сек*	0,134

Подъемные столы

Число столов в установке, шт.	8

Сталкиватель

Время одного цикла работы, сек.	28
Число сталкиваемых полос, шт.	1

Рольганг за холодильником с охлаждением

Скорость рольганга, *м/мин*	5
Диаметр роликов, *мм*	155
Число роликов, шт.	20

Девятивалковая листоправильная машина

Число правильных валков, шт.	9
Диаметр валков, *мм*	160
Скорость правки, *м/мин*	5

Рольганг за правильной машиной

Число роликов, шт.	5

Фрезерная машина марки ГФ-179

Наибольшая ширина обрабатываемой полосы, *мм*	650
Минимальная длина обрабатываемой полосы, *мм*	1050
Допустимая толщина обрабатываемой полосы, *мм*	6—20
Емкость контейнера для стружки, $м^3$	1—3
Пределы чисел оборотов фрезерного шпинделя	264—1180

Рольганг за первым и вторым фрезерными станками

Скорость рольганга, *м/мин*	5
Число роликов, шт.	22

Рольганг перед вторым фрезерным станком

Число роликов, шт.	22

Перекладыватель листов

Время перекладывания, сек.	10

Цепной шлеппер перед станом холодной прокатки

Число полос на шлеппер, шт.	15

Рольганг перед станом холодной прокатки

Число роликов, шт.	39

Рольганг за станом холодной прокатки

Число роликов, шт.	21

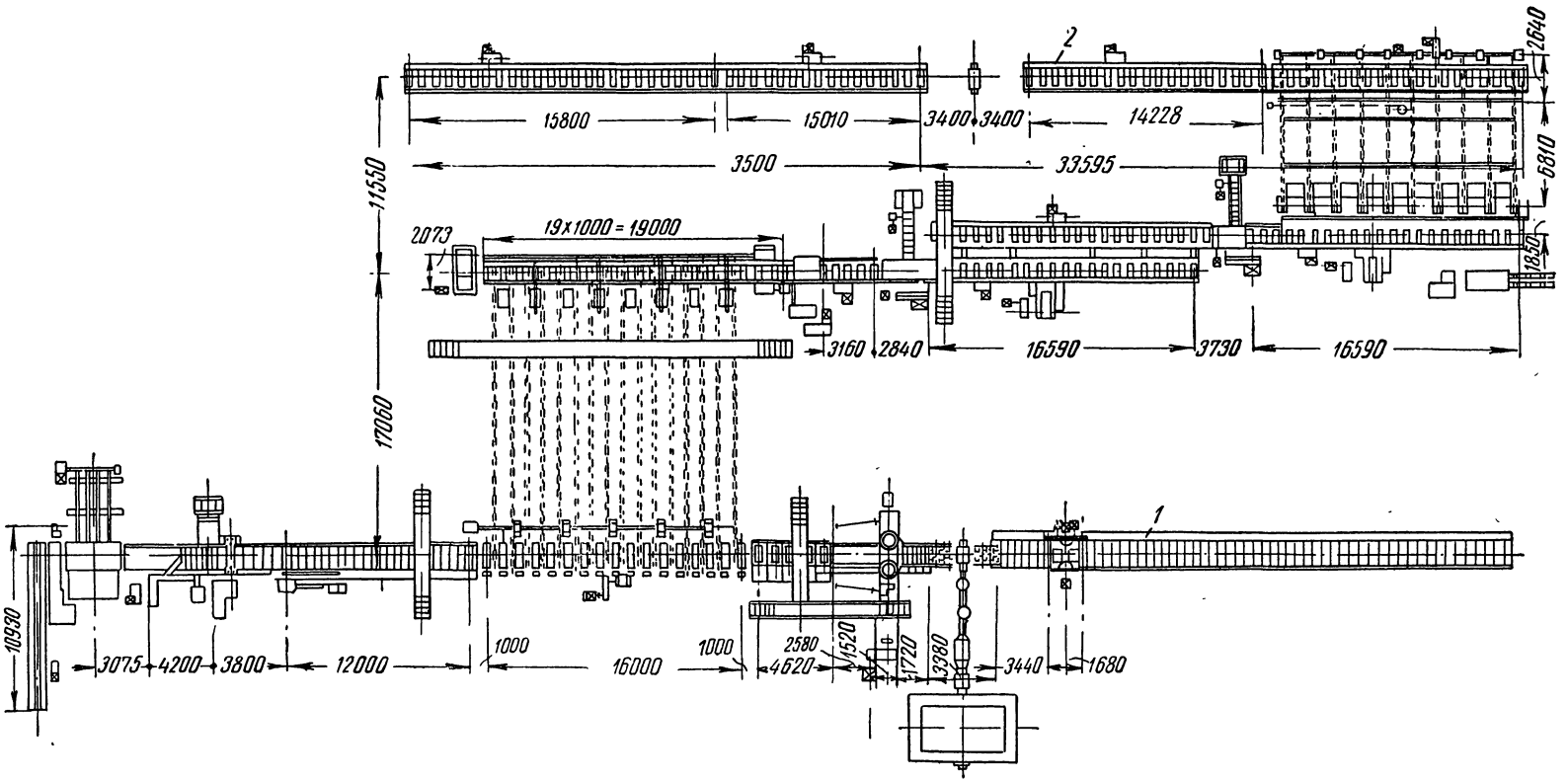


Рис. 3. Линия горячей и заготовительной прокатки:
1 — стан горячей прокатки; *2* — стан холодной прокатки

§ 7. ФРЕЗЕРОВКА

После литья слитков на их поверхности и поверхностном слое остаются продукты ликвации, следы невыгоревшей смазки, шлак, засоры, окисные пленки, раковины, пустоты и другие литейные дефекты. Чтобы избежать появления этих дефектов на поверхности листов, полос и лент, слитки перед прокаткой подвергают механической обработке (строжке, шабровке, фрезеровке).

Сплошная механическая обработка поверхности слитка производится на глубину не более 2,5—3 *мм*, так как дальнейшее увеличение толщины снимаемого слоя не дает заметного улучшения качества поверхности готового проката и значительно снижает выход годного. Однако несмотря на сплошную механическую обработку слитка при дальнейших операциях (горячей прокатке, термообработке и др.) на поверхности проката выявляются различные дефекты литейного происхождения (плены, раковины, пузыри), главным образом из-за большей или меньшей газонасыщенности слитка. Кроме того, в процессе обжимной прокатки, особенно горячей, появляются дополнительные поверхностные дефекты(избирательное окисление, обесцинкование, закатка окалины, следы от налипшего на валки металла и от грубой поверхности валков). Все эти дефекты при большом соотношении толщины исходной заготовки и готового проката практически становятся незаметными. Но для листов и лент толщиной 0,4—0,5 *мм* и более, составляющих по весу и объему производства основную часть ассортимента, это соотношение недостаточно. Обработка поверхности слитка хотя и значительно уменьшает количество поверхностных дефектов на полуфабрикатах, но не обеспечивает возможности получения высокого качества поверхности и достаточно полного отсутствия плен, раковин, пузырей, следов закатки посторонних включений, различных пятен и других дефектов.

Если необходимо получить высокое качество поверхности, в особенности при склонности металла или сплава к газонасыщению и образованию окисных пленок (бронзы марок Бр.А5; Бр.А7; Бр.ОЦС4-4-2,5; Бр.ОЦС4-4-4; никель, мельхиор МН19, монель-металл НМЖМц28-2,5-1,5; манганин МНМц3-12, латунь ЛА85-0,5 и др.), при изготовлении полуфабрикатов толщиной 0,4—0,5 *мм* и более производят фрезеровку подката после горячей или обжимной холодной прокатки. На отечественных заводах обычно фрезеруют подкат для полуфабрикатов ответственного назначения. На заводах США и новых заводах Западной Европы фрезеровке подвергается весь или почти весь подкат. Толщина подката перед фрезеровкой 9—15 *мм*. Толщина снимаемого слоя 0,25—0,40 *мм* с каждой стороны. При низком качестве поверхности подката и особых требованиях к качеству готовых полуфабрикатов съем увеличивается до 0,7—0,75 *мм* с каждой стороны. После фрезеровки отдельные мелкие дефекты могут удаляться при контроле качества полос шабером вручную, электрическими или пневматическими машинами.

Металлы и сплавы, трудно обрабатываемые резанием (никель, никелевые сплавы, медные сплавы с никелем и марганцем), после горячей прокатки перед фрезеровкой в ряде случаев подвергают холодной прокатке со степенью деформации 10—15% для улучшения условий резания.

Фрезеровку подката производят на специальных фрезерных станках с цилиндрическими наборными фрезами. За один проход фрезеруется одна сторона полосы. В зависимости от обрабатываемости металла или сплава, качества фрез, величины съема и ширины полосы скорость фрезеровки равна 4,5—14 *м/сек*. Ширина наборной фрезы не превышает обычно 800 *мм* из-за возникающего в ней значительного изгибающего момента. Станки допускают фрезеровку полос толщиной 8—25 *мм*, шириной не более 750 *мм* и длиной не менее 1000 *мм*.

Стойкость инструмента обеспечивает одностороннюю фрезеровку от 3000 до 9000 *пог. м* полос из двойных латуней. При фрезеровке более труднообрабатываемых металлов и сплавов стойкость соответственно уменьшается. Для повышения стойкости инструмента на полосы наносят смазку (75% керосина, 20% машинного масла, 5% лярда). Привод фрез осуществляется обычно от двигателей постоянного тока мощностью 75—110 *квт*.

Линия фрезеровки состоит из одного или двух фрезерных станков, многороликовой правильной машины для правки полос перед задачей на фрезеровку и ряда вспомогательных устройств (шлепперы, соединительные рольганги, стопоукладчики, стопораскладчики и др.). Технические данные к линии фрезеровке даны на стр. 393.

§ 8. ХОЛОДНАЯ ПРОКАТКА

Холодная прокатка делится по ходу технологического процесса на обжимную, заготовительную (промежуточную) и отделочную [33—41].

Обжимной холодной прокатке подвергают слитки сплавов, не обрабатывающихся в горячем состоянии из-за малой пластичности. К числу таких сплавов относятся бронзы марок Бр.ОФ6,5-0,15; Бр.ОЦС4-4-2,5; Бр.ОЦС4-4-4, латунь ЛС63-3 и др. Не обрабатываются в горячем состоянии α-латуни с повышенным содержанием свинца. Слитки этих сплавов обычно отливают толщиной не более 65 *мм* и прокатывают в холодном состоянии с промежуточными отжигами. Для холодной обжимной прокатки применяют те же станы, что и для горячей прокатки; при специализированном производстве — реверсивные или нереверсивные двухвалковые станы. Работа на нереверсивных станах в этом случае весьма производительна. Это достигается прокаткой слитков партиями по 10—15 штук с «завозом» их и механизацией процессов прокатки.

Паузы между следующими друг за другом заготовками составляют не более 5 сек., а между партиями — не более 1 мин. Станы имеют вспомогательные механизмы: рольганги, передающие транспортеры, стопораскладчики и стопоукладчики, гидравлические толкатели для задачи металла в валки. Скорость прокатки составляет 0,45—0,9 *м/сек*.

Для облегчения захвата металла на поверхность бочки валков наносятся насечки. Нижний валок должен быть немного меньше по диаметру, чем верхний, чтобы полосы по выходе из валков прижимались к рольгангу. Подкат по мере его упрочнения подвергается промежуточному отжигу. Примеры маршрутов обжимной холодной прокатки приведены в табл. 43. Характеристики некоторых обжимных станов приведены в табл. 44. Схемы линий обжимной холодной прокатки — на рис. 4 и 5.

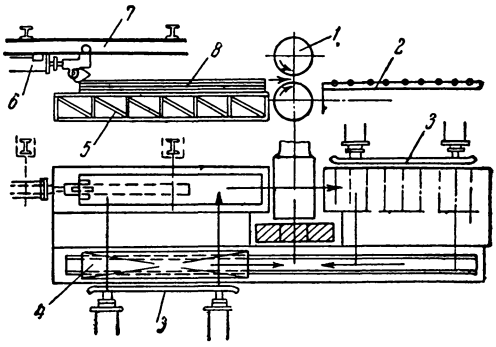


Рис. 4 Нереверсивный стан обжимной холодной прокатки с тележкой для передачи полос:
1 — рабочая клеть; *2* — роликовый стол; *3* — гидравлическое сталкивающее устройство для полос; *4* — тележка для перевозки стопки полос; *5* — подъемный стол; *6* — гидравлический толкатель; *7* — поддерживающий рельс для толкателя; *8* — стопка полос

Примеры маршрутов обжимной холодной прокатки Таблица 43

Металл или сплав	Характеристика стана	Размер слитка *мм*	Вес слитка, *кг*	Размер подката *мм*	Число проходов	Маршрут прокатки, *мм*
Бронза Бр.ОФ6,5-0,15	Реверсивный 2/525×850	27×220×750	36	12×225	5	27→25→23→21→19,5→18
						Прокатка после отжига:
					5	18→16,5→15→13,7→12,7→12
Свинцовистая латунь	Реверсивный 2/650×900	57×630×1500	450	10×640	5	57→50→43→37→31→27
						Прокатка после отжига:
					5	27→24→21→18,5→16,5→15

Характеристика обжимных станов холодной прокатки Таблица 44

Показатели	Станы		
	нереверсивный двухвалковый	нереверсивный двухвалковый	реверсивный двухвалковый
Диаметр валка, *мм*	650	750	600
Длина бочки, *мм*	900	900	750
Мощность главного привода, *квт*	920	1470	—
Скорость прокатки, *м/сек*	0,55	0,45 и 0,9	—
Размер слитка, *мм*	57×630×1500	—	50×395×1760
Назначение	—	—	Для прокатки нейзильбера и свинцовистых латуней
Вес слитка, *кг*	450	—	250
Пределы при прокатке от отжига до отжига[1], *мм*	57—25 (5)	63—34 (3)	50—25 (5)
	25—10 (5—6)	34—18 (3)	25—12,7 (5)
			Фрезеровка
		18—10 (2)	12—4,5 (3)
Производительность стана, *т/час*	—	—	2,3

[1] Цифры в скобках показывает число проходов.

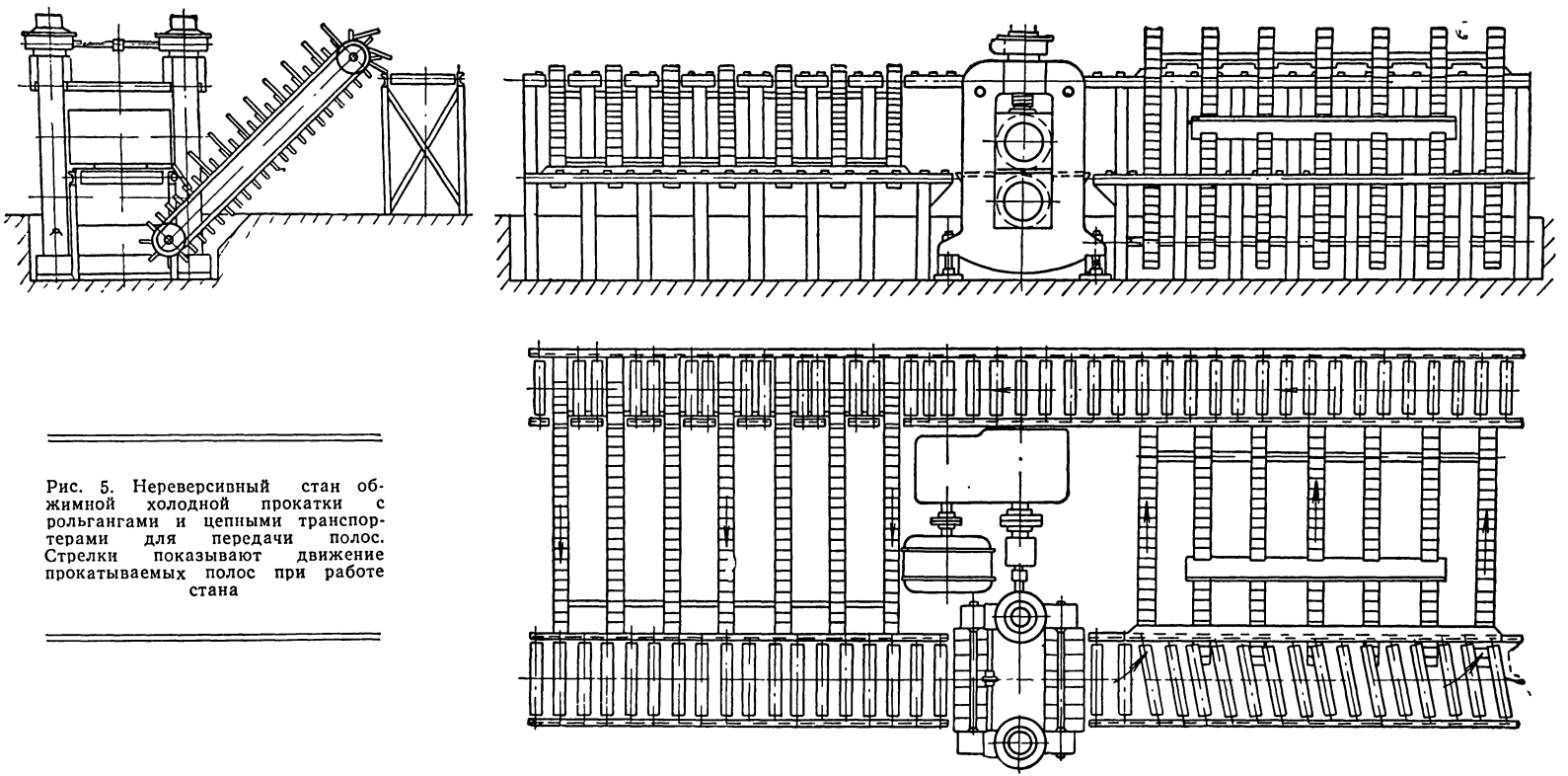


Рис. 5. Нереверсивный стан обжимной холодной прокатки с рольгангами и цепными транспортерами для передачи полос. Стрелки показывают движение прокатываемых полос при работе стана

Таблица 45

Примеры маршрутов заготовительной и промежуточной прокатки

Металл или сплав	Характеристика стана	Размер заготовки *мм*	Вес заготовки *кг*	Размер подката *мм*	Число проходов	Маршрут прокатки, *мм*
Медь	4/375/1000×1000	6×630	1000	2,0×630	3 3	12 → 9,5 → 7,5 → 6 Прокатка после отжига: 6 → 4,5 → 2,4 → 2,0
Латунь Л62 и Л68	Тандем 4/375/1000×1000	6×630	1000	1,0×630	3 3	6 → 4 → 3,1 → 2,7 Прокатка после отжига: 2,7 → 1,5 → 1,2 → 1,0
Латунь Л62	Нереверсивный 4/375/1000	4,5×650	570	1,7×650	3	4,5 → 3,1 → 2,1 → 1,7
Латунь Л62 и Л68	4/400/900	14,5×650	1500	2×650	3 3	14,5 → 11,5 → 9 → 7 Прокатка после отжига: 7 → 4,5 → 3 → 2
Мельхиор МН19	4/400×900	14,5×650	1000	2×650	4 3 3	14,5 → 11,5 → 9,5 → 8,5 → 8,0 Прокатка после отжига: 8 → 5,5 → 4,5 → 4,0 Прокатка после отжига: 4 → 3 → 2,4 → 2
Бронза Бр. ОФ6,5-0,15	2/525×850	11×220	32	2×220	5 5	11 → 9,4 → 8,1 → 6,2 → 5,5 → 5,0 Прокатка после отжига: 5 → 4 → 3,3 → 2,7 → 2,3 → 2,0
Бронза Бр. Б2	2/475×940	11×360	52	1,9×360	5 3 3 5 4	11 → 10 → 9,15 → 8,65 → 8,10 → 8 Прокатка после отжига: 8 → 7 → 6,2 → 5,7 Прокатка после отжига: 5,7 → 4,7 → 4,2 → 4 Прокатка после отжига: 4 → 3,4 → 3 → 2,75 → 2,6 → 2,5 Прокатка после отжига: 2,5 → 2,3 → 2,1 → 1,95 → 1,9
Бронза Бр. КМц3-1	Реверсивный 2/525×850	11×340	250	4×340	13 5	11 → 9,7 → 8,6 → 7,7 → 7,0 → 6,4 → 5,9 → 5,5 → 5,1 → 4,8 → 4,5 → → 4,25 → 4,1 → 4,0 Прокатка после отжига: 4,0 → 3,2 → 2,7 → 2,35 → 2,15 → 2,0
Никель	2/475×940	13,5×310	90	3×310	5 13	13,5 → 12,7 → 11,5 → 10,5 → 9,5 → 9,2 Прокатка после отжига: 9,2 → 8,2 → 7,4 → 6,7 → 6,0 → 5,4 → 4,8 → → 4,3 → 3,9 → 3,7 → 3,5 → 3,3 → 3,15 → 3,0
Никель	2/350×450	3×300	85	1×300	5	3 → 2,2 → 1,6 → 1,25 → 1,1 → 1,0

Подкат после горячей или обжимной холодной прокатки поступает далее на заготовительную, промежуточную и отделочную прокатку. В ряде случаев заготовительная и промежуточная прокатки для более тонких размеров одновременно являются промежуточной прокаткой и отделочной для более толстых размеров полуфабрикатов.

Подкат в виде полос после фрезеровки имеет толщину 9—15 *мм*, а после обжимной прокатки — 6—3,5 *мм*. Получать подкат меньшей толщины при обычных способах горячей прокатки нецелесообразно из-за неравномерного и быстрого охлаждения в последних проходах, ведущего к неоднородности структуры и сильной разнотолщинности. Получение горячего подката меньшей толщины (1,5—2 *мм*), достаточно равномерного по толщине, возможно путем применения горячей прокатки лент с моталок, установленных в печах.

Полосы после фрезеровки (толщиной 9—15 *мм*) прокатывают на четырехвалковых станах с диаметром рабочих валков 375—400 *мм*. По режиму работы эти станы подразделяются на реверсивные и нереверсивные станы.

Заготовительная прокатка подката толщиной 6—3,5 *мм* производится на полунепрерывных (тандем) и одноклетьевых станах. Полунепрерывные станы применяются при большом объеме производства и высокой специализации, главным образом при многотоннажной прокатке двойных латуней марок Л90, Л68, Л62.

Наибольшее распространение в США имеют реверсивные и нереверсивные станы конвейерного типа. Вследствие сравнительно небольших масштабов выпуска проката из цветных металлов и сплавов при широком ассортименте и частых переходах с одного сплава на другой многоклетевые непрерывные станы (тандем) не имеют особых преимуществ перед быстроходными и хорошо оборудованными реверсивными станами.

Для современной заготовительной прокатки цветных металлов и сплавов характерна обработка широкой заготовки (650—1000 *мм*) весом от 600—1000 *кг* до 6—8 *т* с большими обжатиями. Вес заготовки 600—1000 *кг* достигается путем использования слитков весом до 1500 *кг*, а вес заготовки до 6—8 *т* — путем применения сварки ленточного подката в стык.

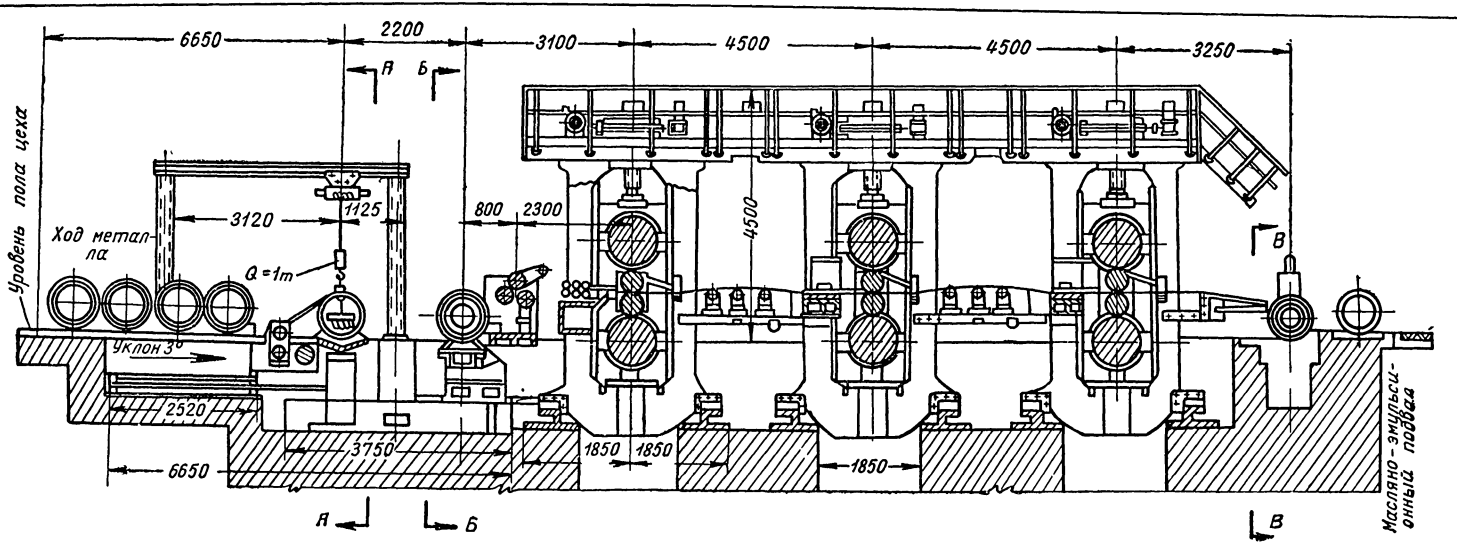
Для обеспечения возможности получения больших обжатий при прокатке применяют станы с высокой жесткостью и прочностью станин и валков, которые допускают давление металла на валки до 800—1000 *т* при длине бочки валков 850—900 *мм*. Станы имеют привод от двигателей постоянного тока, обеспечивающий регулировку скорости прокатки. В состав заготовительного стана, помимо главной линии и рабочей клети, входит комплект вспомогательного оборудования: устройств для раскладки и укладки фрезерованных полос, для подготовки фрезерованной полосы и рулона к заправке, сверточные и разверточные машины, барабанные моталки, различные транспортеры (рольганги, конвейеры) и др. Для обеспечения стабильных температурных условий валков (35—50°) при высоких скоростях прокатки и давлениях станы оборудованы специальной системой охлаждения и смазки. Отсутствие стабильности температурных условий валков приводит к нарушению заданного профиля валков, а вследствие этого — и всего процесса прокатки. Наряду с быстроходными четырехвалковыми станами для заготовительной и промежуточной прокатки применяются двухвалковые станы. На двухвалковых станах производят прокатку главным образом сложных сплавов и сплавов с малым производством, обработку которых ведут с использованием слитков малого веса (500—200 *кг* и менее).

Примеры маршрутов заготовительной прокатки различных цветных металлов и сплавов приведены в табл. 45. Расположение оборудования в линии заготовительной прокатки представлено на рис. 3. Основные характеристики заготовительных станов приведены в табл. 46. Техническая характеристика стана тандем 4/375/1000X1000 (см. рис. 6 и 7) следующая:

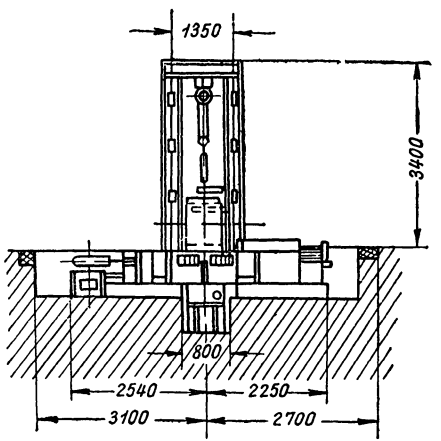
Таблица 46

Основные характеристики некоторых заготовительных станов

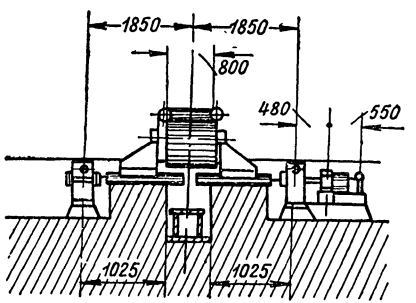
Режим работы	Число и размеры валков, *мм*	Мощность главного привода *квт*	Скорость прокатки *м/сек*	Диапазон прокатываемых размеров *мм*
Нереверсивный	4/406/864×864	920	0—2—5	9,5—2,5×740
	4/375/750×800	740	1,25	9—3×630
Двухклетевой (тандем) .	4/310/680×800	2×515	0—5	3—1×630
	4/370/780×900	2×590	0—0, 7—1,35	9,5—1,5×550
Нереверсивный	4/400/860×860	770	0—1,7—5	12—0,5×750
	4/375/1000×1000	550	0,75—1,5	6—1,7×650
Реверсивный	2/425×890	150	0,36	15—2×650


6650
2200
3100
4500
4500
3250
А
Б
В
Уровень пола цеха
Ход металла
3120
1125
800
2300
4500
Q=1т
уклон 3°
2520
3750
6650
1850
1850
1850
Масляно-эмульсионный подвал

По А-А


1350
3400
800
2540
2250
3100
2700

По Б-Б


1850
1850
800
480
550
1025
1025

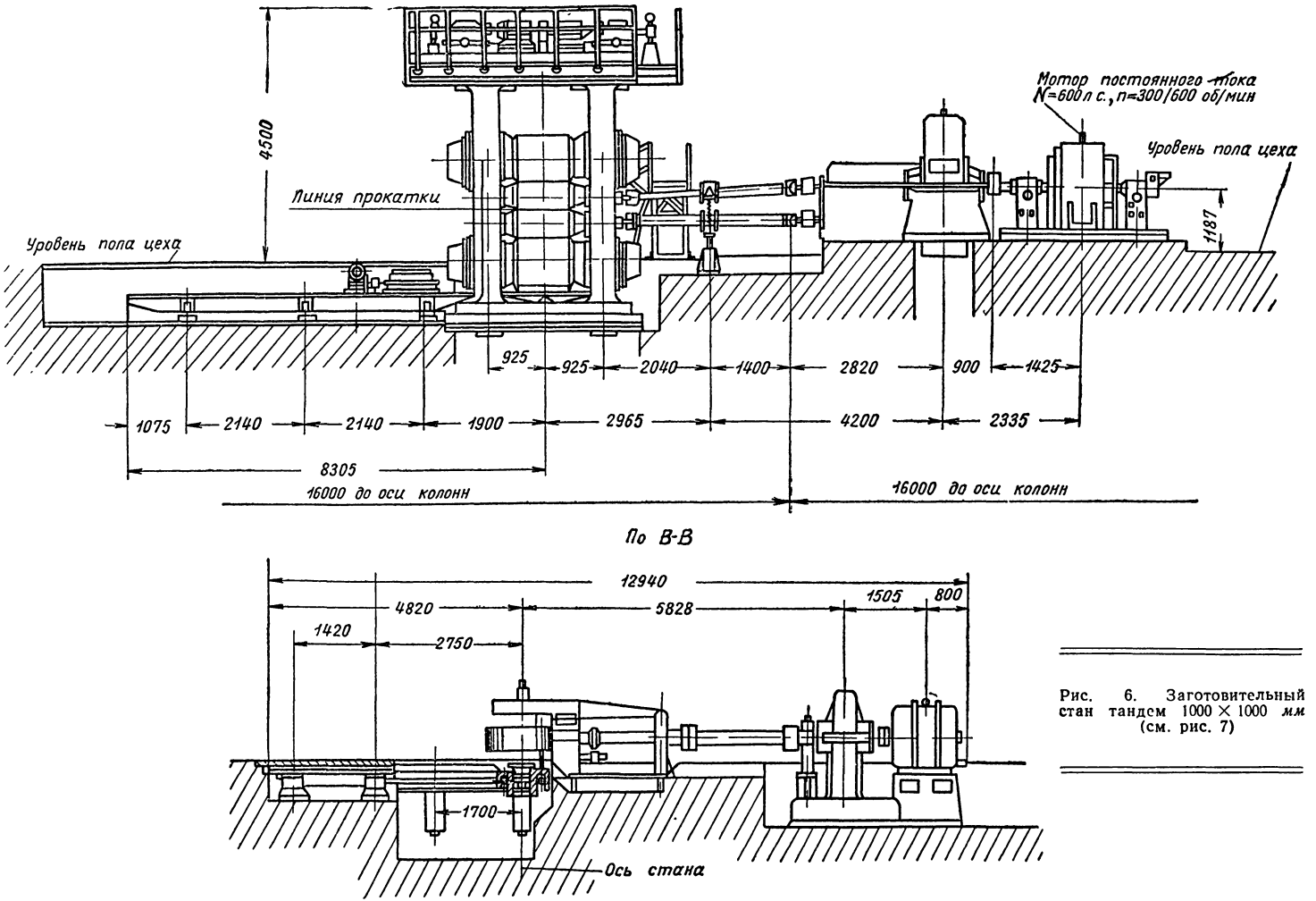


Рис. 6. Заготовительный стан тандем 1000 × 1000 *мм* (см. рис. 7)

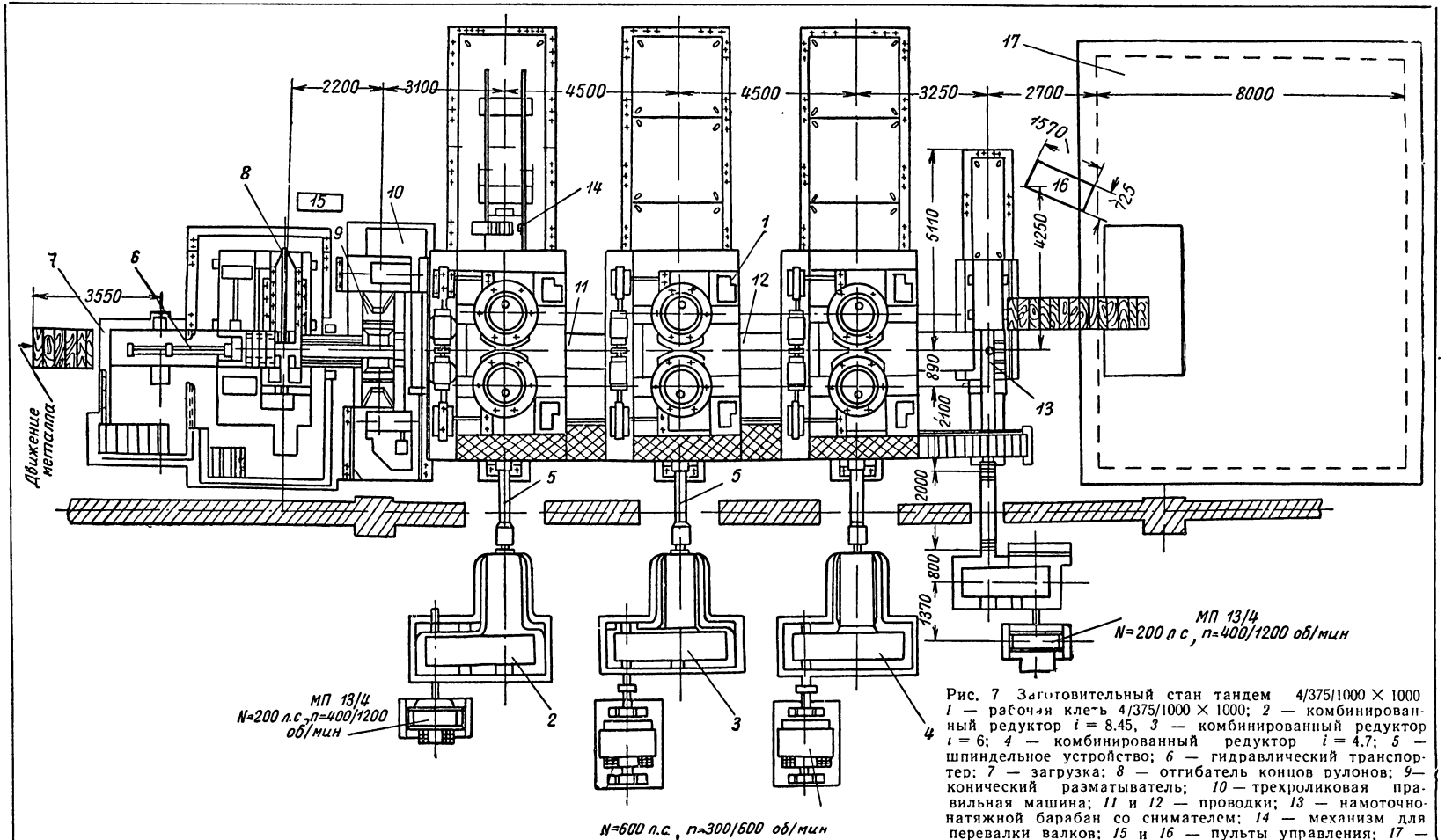


Рис. 7 Заготовительный стан тандем 4/375/1000 × 1000
1 — рабочая клеть 4/375/1000 × 1000; *2* — комбинированный редуктор $i = 8.45$, *3* — комбинированный редуктор $i = 6$; *4* — комбинированный редуктор $i = 4.7$; *5* — шпиндельное устройство; *6* — гидравлический транспортер; *7* — загрузка; *8* — отгибатель концов рулонов; *9* — конический разматыватель; *10* — трехроликовая правильная машина; *11* и *12* — проводки; *13* — намоточно-натяжной барабан со снимателем; *14* — механизм для перевалки валков; *15* и *16* — пульты управления; *17* — подвал эмульсионной и центральной смазки

Рабочая клеть

Диаметр новых рабочих валков, *мм*	375
Диаметр новых опорных валков, *мм*	1000
Диаметр перешлифованных рабочих валков, *мм*	350
Диаметр перешлифованных опорных валков, *мм*	950
Длина бочки валков, *мм*	1000
Диаметр головки универсального шпинделя, *мм*	345
Максимальный подъем верхних валков, *мм*	200
Скорость установки винтов, *мм/мин*	5,4
Электродвигатель привода:	
мощность, *л. с.*	200
число оборотов в минуту	400—1200
Скорость прокатки, *м/сек*	1—3
Максимальное давление на винт, *т*	500
Диаметр нажимного винта, *мм*	300
Шаг нажимного винта, *мм*	16

Шпиндельное устройство

Максимальный подъем верхнего валка, *мм*	150
Максимальный рабочий угол наклона верхнего шпинделя	0°47′
Максимальный рабочий подъем верхнего валка, *мм*	10
Длина шпинделя по осям шарнира, *мм*	2750
Диаметр тела шпинделя, *мм*	180
Диаметр головки шарнира, *мм*:	
у шестеренной клети	360
у рабочей клети	345
Максимальный момент, передаваемый одним шпинделем, *тм*	9,65
Максимальное число оборотов шпинделя в минуту	180

Гидравлический транспортер с подъемником

Максимальный и минимальный вес рулона, *кг*	960—816
Максимальный и минимальный диаметр рулона, *мм*	1000—900
Максимальная и минимальная ширина рулона, *мм*	800—400
Скорость подъема, *мм/сек*	93
Высота подъема, *мм*	300
Скорость перемещения тележки, *м/сек*	0,10
Ход тележки, *мм*	2200
Давление жидкости, *ат*	4,5—6

Отгибатель концов рулонов

Диаметр рулона, *мм*:	
наружный	1000—900
внутренний	750—650
Ширина рулона, *мм*	800—400
Максимальный вес рулона, *кг*	960
Начальная толщина ленты, *мм*	5,4—6,0
Материал ленты	Медь, латуни Л62 и Л68
Предел текучести металла, *кг/мм²*	12—28
Диаметр поворотных роликов, *мм*	240
Окружная скорость поворотного ролика, *м/сек*	0,565
Максимальное усилие от гибки на рамке, *кг*	400
Средняя скорость ремня, *м/сек*	0,25
Усилие прижима, *кг*	605
Скорость перемещения прижимного механизма, *м/сек*	0,25
Диаметр цилиндра прижима, *мм*	150
Давление жидкости, *ат*	4,5—6,0

Конический разматыватель

Толщина полосы, *мм*	6,0. 5,4: 2,5
Ширина полосы, *мм*	400—800
Скорость разматывания при задаче, *м/сек*	0,3—0,5
Скорость разматывания, *м/сек*	0,7—0,9
Скорость передвижения конусов, *мм/сек*	150
Максимальный и минимальный раствор концов, *мм*	1000—400
Внутренний и наружный диаметр рулонов, *мм*	650—1000
Электродвигатель МТ-12-6:	
мощность, *квт*	13,5
число оборотов в минуту	900

Трехроликовая правильно-тянущая машина

Толщина полосы, *мм*	6,0—5,4
Ширина полосы, *мм*	400—800
Скорость прокатки, *м/сек*	1,2—1,5
Скорость вращения роликов от привода, *мм*	200
Ход штока, *мм*	200
Давление, *ат*	15
Электродвигатель МТ-41-8:	
мощность, *квт*	11
число оборотов в минуту	725

Намоточно-натяжной барабан со снимателем

Внутренний диаметр рулона, *мм*	500
Наружный диаметр рулона, *мм*	900—700
Наибольший вес рулона, *кг*	960
Ширина полосы, *мм*	800—400

Скорость наматывателя полосы, *м/сек*	2,5—1,25
Рабочее давление в гидравлическом цилиндре, *ат*	15
Скорость перемещения снимателя, *м/сек*	0,25
Скорость подъема люльки, *м/сек*	0,1
Натяжение полосы, *кг*	7250

Механизм задачи ленты в валки

Толщина полосы, *мм*	6; 5,4; 2,5
Ширина полосы, *мм*	800—400
Скорость задачи в рабочие валки, *м/сек*	0,3—0,5
Скорость прокатки, *м/сек*	1,2—1,5
Давление воздуха в цепи, *ат*	4—6
Давление прижимного стола при $P = 4$ *ат*, *кг*	5000
Ход прижимного стола, *мм*	300
Диаметр пневматического цилиндра механизма передвижения прижимного стола, *мм*	125
Ход поршня в цилиндре, *мм*	200
Подъем верхнего прижима, *мм*	100
Диаметр пневматического цилиндра механизма прижима, *мм*	200
Ход поршня в цилиндре, *мм*	155

Механизм перевалки валков

Вес валков с подушками, *т*	40
Расчетное усилие, *т*	15
Скорость передвижения тележки, *м/мин*	2,1
Максимальное перемещение тележки, *мм*	3750
Габаритные размеры, *мм*:	
длина	9650
ширина	2730
высота	1290
Электродвигатель МТК-22-6:	
мощность, *квт*	7,5
число оборотов в минуту	900

Промежуточная прокатка более тонких размеров лент и отделочная прокатка производятся на двухвалковых и многовалковых (четырех-, шести-, двенадцати- и двадцативалковых) станах. Двухвалковые станы малопроизводительны и в ряде случаев не могут обеспечить необходимой точности прокатки. Применение таких станов целесообразно при прокатке металлов и сплавов с малым сопротивлением деформации или при малотоннажном производстве сплавов с применением заготовки небольшого веса (200 *кг* и менее).

Наибольшее распространение получили четырехвалковые станы (станы кварто). Станы с большим количеством валков (12 и 20) применяются главным образом для отделочной прокатки тонких лент толщиной 0,1—0,2 *мм*. По режиму работы эти станы реверсивные или нереверсивные с конвейерной передачей рулонов со стороны выхода к стороне входа. Привод стана осуществляется от двигателя постоянного тока. Скорость прокатки регулируется и достигает 2—3 *м/сек* при работе с использованием несварного рулона и 5—15 *м/сек* при прокатке тяжелого сварного рулона.

Адъюстаж реверсивных станов состоит из двух барабанных моталок, правильно-задающих приспособлений и сталкивателей; конвейерных станов — барабанной моталки, правильно-задающих устройств, магазина для подачи рулона и системы конвейеров, рассчитанной на передачу и хранение 25—30 рулонов. Современные станы снабжаются летучими микрометрами контактного и бесконтактного действия и приборами для определения усилия при прокатке (месдозами). Применяемая аппаратура обеспечивает автоматическое регулирование толщины в процессе прокатки. Стабильность температурного режима валков и сохранение их профиля достигаются благодаря применению охлаждения и смазки.

Заготовка перед прокаткой на тонкие размеры (толщиной 0,5 *мм* и менее) режется вдоль на несколько ремней. Это позволяет получить прокат высокой точности и значительно упрощает конструктивное решение прокатного стана. Кроме того, прокат шириной более 300 *мм* и толщиной менее 0,5 *мм* требуется сравнительно редко.

Схемы промежуточных и отделочных прокатных станов приведены на рис. 8—11. Характеристики прокатных станов даны в табл. 47 и 49, а примеры маршрутов промежуточной и отделочной прокаток — в табл. 48.

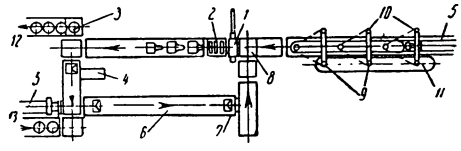


Рис. 8. Нереверсивный промежуточный стан холодной прокатки: *1* — рабочая клеть; *2* — свертывающее устройство; *3* — переворачиватель рулонов; *4* — устройство для подготовки рулона к заправке в валки; *5* — толкатель; *6* — конвейер для подачи рулонов на вторую и последующие прокатки (проходы); *7* — упор для остановки рулонов, *8* — разматывающее устройство; *9* — вакуумные диски; *10* — стопораскладчик для полос; *11* — стопка полос после фрезеровки; *12* — рулоны, направляемые на отжиг; *13* — рулоны, поступающие после отжига для дальнейшей прокатки

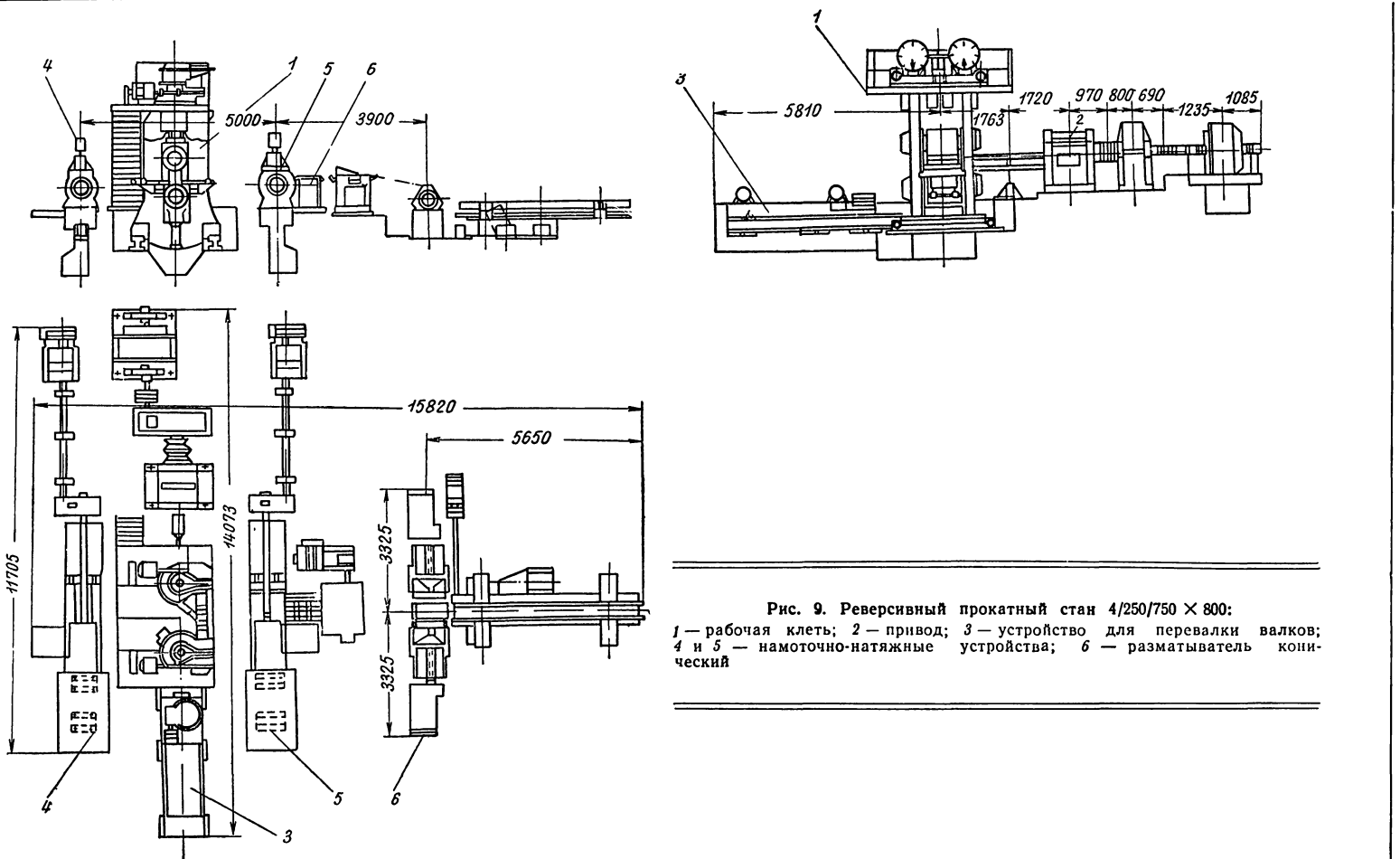


Рис. 9. Реверсивный прокатный стан 4/250/750 × 800:

1 — рабочая клеть; *2* — привод; *3* — устройство для перевалки валков; *4* и *5* — намоточно-натяжные устройства; *6* — разматыватель конический

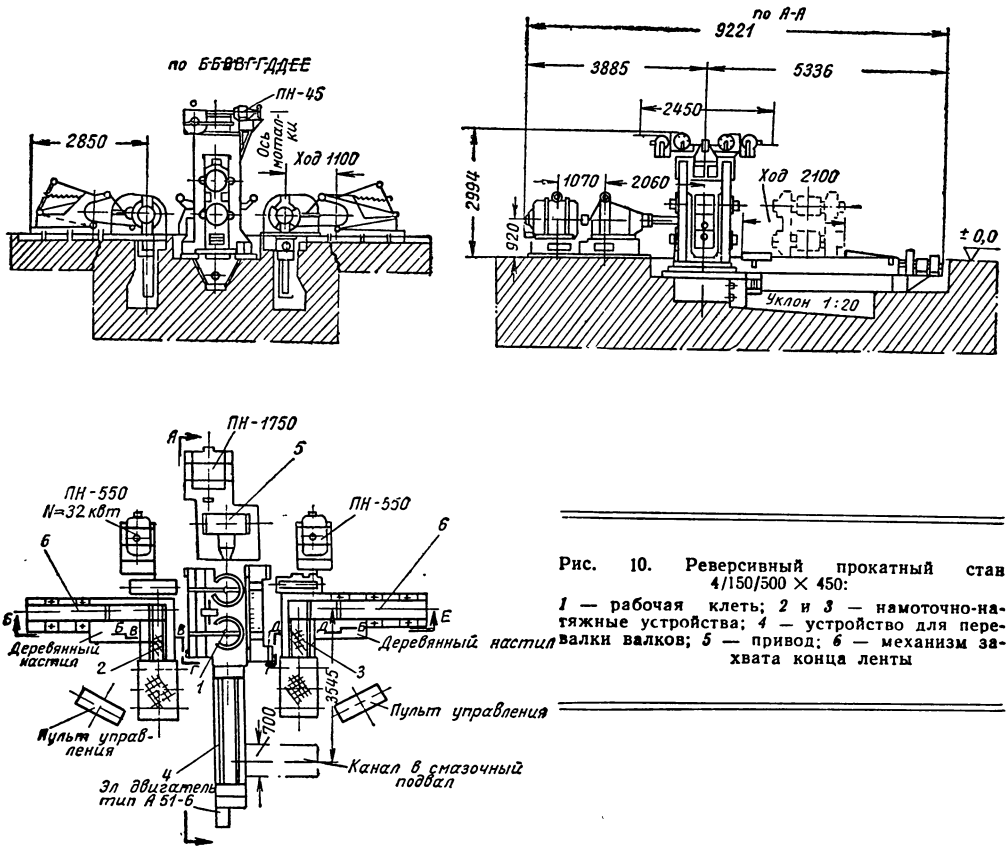


Рис. 10. Реверсивный прокатный стан 4/150/500 × 450:

1 — рабочая клеть; *2* и *3* — намоточно-натяжные устройства; *4* — устройство для перевалки валков; *5* — привод; *6* — механизм захвата конца ленты

Таблица 47

Основные характеристики некоторых промежуточных и отделочных станов

Режим работы	Число и размеры валков *мм*	Мощность главного привода *квт*	Скорость прокатки *м/сек*	Диапазон прокатываемых размеров *мм*
Реверсивный	4/400/850×850	920	0—2—5	1,5—0,25×640
	4/250/735×900	440	0—2—6,1	3,1—0,25×825
	4/250/750×800	300	0—0,5—3,3	2—0,2×620
Нереверсивный	4/163/450×550	—	0—1—3	1—0,12×330
	4/160/450×600	730	0—3,2	1,5—0,12×500
Реверсивный	4/160/470×450	140	0,75—2	1—0,1×315
	4/150/500×450	150	0,5—4,0	0,5—0,065×315
Нереверсивный	4/210/680×800	370	0,5—5,0	1—0,25×630
	4/63/230×250	30	0—4,0	До 0,12×175
	6/130/250×325	29	0,5—1,0	1—0,1×250
Реверсивный	12/21,5	45	0—2,0	1,4—0,12×356
	20/55×1200	—	9,4	До 0,1×1000
	2/300×500	—	—	2—0,3×310
Нереверсивный	2/125×300	—	0,5	1—0,1×210
	2/230×300	—	0,5	1—0,2×210

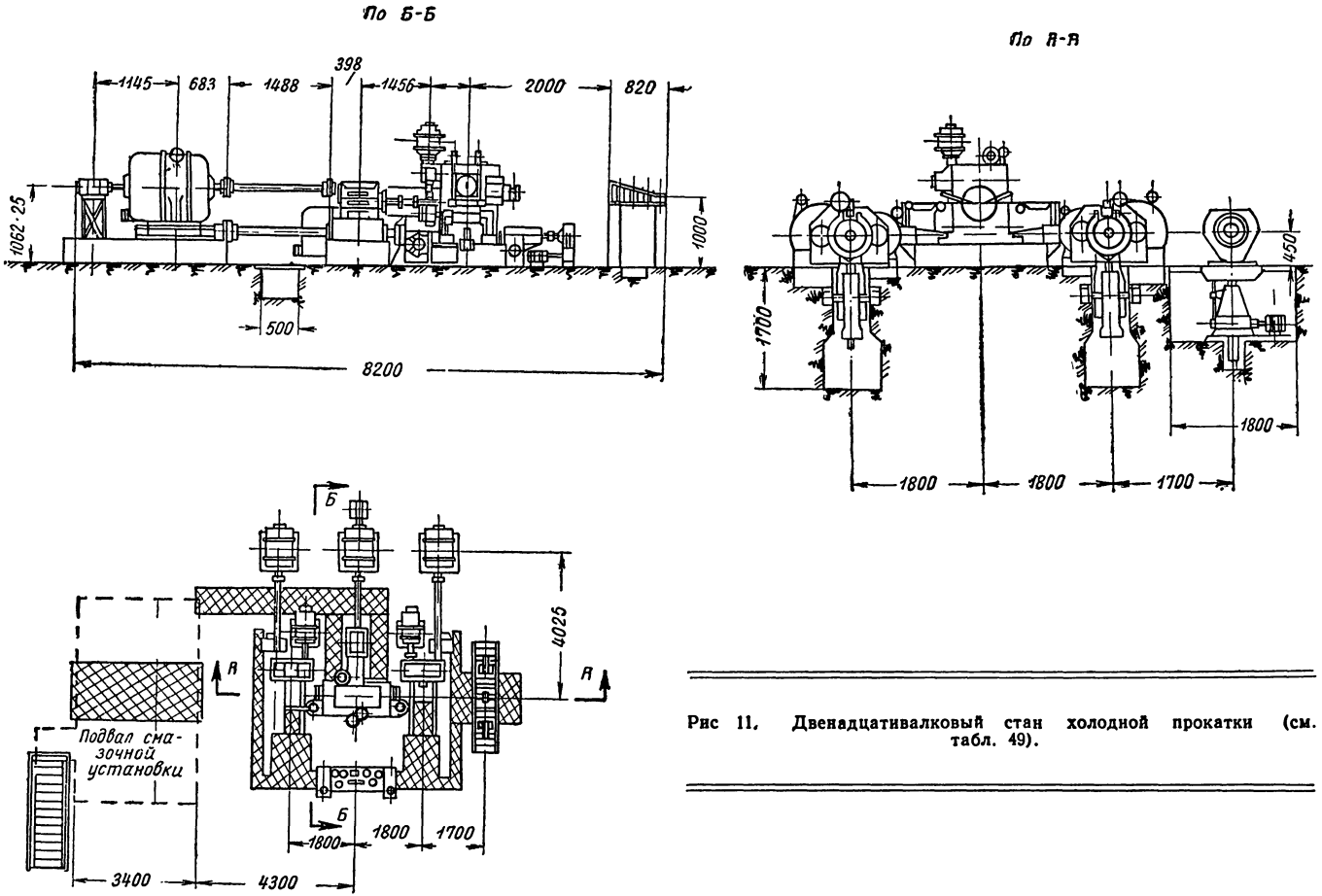


Рис 11. Двенадцативалковый стан холодной прокатки (см. табл. 49).

Таблица 48

Примеры маршрутов промежуточной и отделочной прокатки

Металл или сплав	Характеристика стана	Размер до прокатки, *мм*	Размер после прокатки, *мм*	Число проходов	Маршрут прокатки, *мм*
Медь	4/250/750×850	2×630	0,4×630	3	2,0 → 1,4 → 1,0 → 0,8
				3	Прокатка после отжига: — 0,8 → 0,6 → 0,45 → 0,4
	4/160/470×450	0,4×310	0,1×310	3	0,4 → 0,20 → 0,12 → 0,10
Латунь Л62 и Л68	4/250/750×850	1,7×630	0,5×630	5	1,7 → 1,2 → 0,9 → 0,7 → 0,55 → 0,5
	4/160/470×450	0,5×310	0,2×310	3	0,5 → 0,30 → 0,23 → 0,20
				3	Прокатка после отжига: — 0,20 → 0,15 → 0,12 → 0,10
	4/160/470×450	0,5×200	0,17×200	2	0,5 → 0,23 → 0,17
	6/130/250×325	0,17×200	0,10×200	2	0,17 → 0,12 → 0,10
Бронза Бр.ОФ6,5-0,15	2/300×500	2×200	0,45×220	5	2 → 1,6 → 1,3 → 1,1 → 0,95 → 0,80
				3	Прокатка после отжига: — 0,80 → 0,6 → 0,48 → 0,45
	6/130/250×325	0,45×220	0,1×220	5	0,45 → 0,30 → 0,20 → 0,15 → 0,12 → 0,10
Бронза Бр.КМц3-1	2/300×500	2×340	0,5×340	3	2 → 1,6 → 1,4 → 1,3
				3	Прокатка после отжига: — 1,3 → 1,05 → 0,9 → 0,8
				5	Прокатка после отжига: — 0,8 → 0,67 → 0,6 → 0,55 → 0,52 → 0,50
Бронза Бр.А5, Бр А7	4/160/470×450	1×310	0,5×310	4	1 → 0,75 → 0,65 → 0,55 → 0,50
Никель	4/160/470×450	1×310	0,1×310	3	1 → 0,6 → 0,45 → 0,40
				3	Прокатка после отжига: — 0,40 → 0,30 → 0,22 → 0,20
				3	Прокатка после отжига: — 0,20 → 0,15 → 0,12 → 0,10

Таблица 49

Характеристика некоторых промежуточных и отделочных станов

Показатели	Станы		
	четырехвалковый 4/250/750×800	четырехвалковый 4/150/500×450	двенадцативалковый холодной прокатки (ЦКБММ-16А)
Рабочая клеть			
Диаметр рабочих валков, *мм*	250	150	38
Диаметр опорных валков, *мм*	750	500	Промежуточных 45
Диаметр опорных роликов, *мм*	—	—	110
Длина бочки валков, *мм*	800	450	300
Количество валков, шт.	4	4	12
Максимальное давление на валки, *т*	400	200	35
Исходная толщина заготовки (максимальной), *мм*	1—2,2	0,5—1,0	0,4—0,5
Окончательная толщина минимальная, *мм*	0,2—1,0	0,065—0,5	0,05—0,2
Ширина ленты, *мм*	615	312	До 270
Скорость прокатки, *м/сек*	0,5—3,3	0,5—4,0	1—4
Скорость подъема нажимного винта, *мм/мин*	18	9,8	—
Скорость опускания нажимного винта, *мм/мин*	9	3,7	—
Двигатель нажимного устройства:			
тип	МП-32	ПН-45 (2 шт)	—
мощность, *квт*	9	4,4	—
число оборотов в минуту	450—900	1500	—
Двигатель главного привода:			
тип	ДП 74/44-6	ПН-1750	МН-1750
мощность, *квт*	300	150	150
число оборотов в минуту	450—900	990	990—1150
Расход воды, *л/час*	—	—	250
Расход сжатого воздуха давлением 4 *ат*, $м^3/час$	—	—	0,3
Намоточно-натяжное устройство			
Диаметр барабана, *мм*	500	400	400
Диаметр рулона, *мм*:			
внутренний	500	615	—
наружный	700	650	800
Вес рулона, *кг*	900	500	До 800
Наибольшее натяжение ленты, *кг*	1500	1500	3600
Скорость наматывания, *м/сек*:			
наибольшая	3,8	4	4
наименьшая	0,5	0,5	0,2
Двигатель:			
тип	ПН-1000	МН-550	ПН-500 ПН-1750
мощность, *квт*	57	32	18 | 60
число оборотов в минуту	620—1175	610/1220	550—1500
Передаточное число:			
шестеренной клети	—	—	0,666
редуктора моталок	—	—	4,5
Разматыватель конический			
Ширина рулона, *мм*	615—350	—	270
Толщина ленты, *мм*	0,2—1,0	—	0,05—0,2
Раскрытие центрированных головок, *мм*	550—1200	—	—
Скорость перемещения головки, *мм/сек*	45	—	—
Скорость подъема люльки, *мм/сек*	10	—	—
Ход люльки, *мм*	120	—	—

Продолжение табл. 49

Показатели	Станы		
	четырехвалковый 4/250/750×800	четырехвалковый 4/150/500×450	двенадцативалковый холодной прокатки (ЦКБММ-16А)
Двигатель:			
тип	ПН-400	—	—
мощность, *квт*	14,5	—	—
число оборотов в минуту	500—1500	—	—
Разгибочно-тянущая машина			
Скорость разматываемой ленты, *м/сек.*	0,41—1,23	—	—
Длина бочки валков, *мм*	800	—	—
Количество валков, шт.	3	—	—
Количество приводных (нижних) валков, шт.	2	—	—
Диаметр приводных валков, *мм*	130	—	—
Диаметр верхнего валка, *мм*	250	—	—
Двигатель:			
тип	МТК 12-6	—	—
мощность, *квт*	4,2	—	—
число оборотов в минуту	830	—	—
Пневматический цилиндр подъема верхнего валка:			
диаметр цилиндра, *мм*	150	—	—
ход поршня, *мм*	150	—	—
рабочее давление в цилиндре, *ат*	4—6	—	—
Устройство для перевалки валков			
Скорость перемещения каретки, *мм/мин.*	1002	1140	—
Ход каретки, *мм*	2800	2100	—
Вес передвигаемых деталей, *кг*	—	6500	—
Двигатель:			
тип	А-616	А51-6	—
мощность, *квт*	7	2,8	—
число оборотов в минуту	970	950	—

§ 9. ТЕРМООБРАБОТКА

Подкат и готовые полуфабрикаты в виде листов, полос и лент из тяжелых цветных металлов и сплавов подвергаются следующим видам термообработки: отжигу, закалке и отпуску. Основным из них является отжиг, которому подвергают большинство прокатываемых металлов и сплавов. Отжиг производят с целью разупрочнения для повышения пластичности металла и снижения сопротивления деформации. Отжиг может быть промежуточным для снятия упрочнения после предыдущей холодной прокатки и возможности дальнейшей обработки и окончательным для полуфабрикатов, выпускаемых в мягком состоянии.

Сравнительно редко производится низкотемпературный отжиг, в результате которого получают необходимые механические свойства. Кроме того, низкотемпературный отжиг снимает остаточные напряжения первого рода (зональные), полученные при холодной прокатке. Остаточные напряжения первого рода могут быть причиной коробления изделий, а также коррозионного растрескивания. Известно, что латуни и другие сплавы с большим содержанием цинка и марганца в нагруженном состоянии (внешнеприложенной силой или за счет остаточных напряжений) в зонах действия растягивающих напряжений подвержены коррозионному растрескиванию, в частности в средах, содержащих аммиак или сернистые соединения. Однако следует заметить, что плоский прокат при отсутствии сил, приложенных извне, подвержен коррозионному растрескиванию в незначительной степени, в особенности при высокой степени деформации (40% и более), так как в этом случае запас остаточных напряжений первого рода незначителен [29].

Закалке подвергают бериллиевые и хромистые бронзы для повышения их пластичности и уменьшения прочностных характеристик перед дальнейшей холодной прокаткой.

Режим отжига определяется температу-

рой, временем, характером и составом атмосферы. Температуру отжига принимают в зависимости от природы отжигаемого металла и требуемых механических свойств. Для меньшей толщины проката температуру отжига берут ниже. Обычно применяемые температуры отжига различных цветных металлов и сплавов приведены в табл. 50

стижения обычной температуры отжига для разупрочнения большинства металлов и сплавов (медь, никель, двойные латуни, мельхиор, алюминиевая бронза БрА5, нейзильбер НМЦ65-20) требуется не более 3—5 сек.

По характеру воздействия на поверхность проката отжиг может быть окислительным,

Таблица 50

Температуры отжига подката и готовых полуфабрикатов из цветных металлов и сплавов, °С

Металл или сплав	Толщина, *мм*				
	5 и более	1—5	0,5—1 (подкат)	0,5—1,0 (готовый полуфабрикат)	0,5 и менее
Медь М1; М2; М3 . . .	650—700	620—670	520—620	480—550	380—480
Латунь:					
Л90	650—720	600—680	580—650	580—620	580—620
Л68	580—650	540—600	520—580	500—550	480—530
Л62	650—700	600—680	560—620	520—600	520—580
ЛА85-0,5	650—700	650—700	650—700	620—680	620—680
ЛМц58-2 и ЛН65-5 .	620—680	600—650	600—650	600—650	600—650
ЛО62-1	600—650	650—600	550—600	420—520	400—500
ЛС59-1	600—650	580—640	570—620	570—620	570—620
ЛС64-2 и ЛС63-3 . .	600—650	600—700	580—480	580—480	550—480
Бронза:					
Бр А5; Бр. А7; Бр АМц9-2 . . .	700—740	680—720	620—680	620—680	620—680
Бр ОФ6,5-0,5 . . .	630—650	600—630	500—620	500—600	500—600
Бр КМц3-1	650—680	600—650	580—630	580—630	580—630
Бр ОЦ4-3; Бр. ОЦС4-4-2,5; Бр. ОЦС4-4-4 . . .	580—620	580—620	580—620	580—620	580—620
Никель	700—800	700—800	700—800	700—800	700—780
Монель-металл НМЖМц 28-2,5-1,5	800—850	800—850	800—850	800—850	780—790
Мельхиор МН19	700—780	650—750	650—750	600—700	600—700
Нейзильбер НМЦ65-20 .	700—750	700—750	680—750	680—730	680—730
Константан МНМц40-1,5	800—850	800—850	740—800	680—780	680—780
Куниаль	720—750	700—730	700—730	500—530	—
Манганин МНМц3-12 . .	700—750	700—750	700—750	680—730	680—730

Бериллиевые бронзы перед закалкой нагревают до 760—780°; облагораживание производят путем нагрева до 320±10° при времени выдержки, равном 2 час. Хромистые бронзы нагревают перед закалкой до 950—1000°; облагораживание этих бронз производят при 400° при времени выдержки 6 час.

Режим отжига готовых полуфабрикатов специального назначения зависит от требуемых механических и других физических свойств.

Время нагрева и выдержка в печи, перепад температур между металлом и печью определяется конструктивными особенностями печи (способ передачи тепла, количество нагреваемого металла), компактностью и теплопроводностью полуфабрикатов. Обычно отжиг длится 1,5—4 часа. Это время затрачивается на передачу тепла, необходимого для равномерного нагрева. Практически же, как показывают опыты, после достижения

слабоокислительным и безокислительным (светлым). Окислительный отжиг — отжиг в обычных условиях при свободном доступе кислорода воздуха. Отжиг окислительный во всех случаях нежелателен, так как связан с потерей металла от окисления, выгоранием отдельных компонентов сплава и необходимостью удаления образовавшихся окислов.

Для большинства цветных металлов и сплавов, в том числе меди, никеля, медных, медноникелевых и никелевых сплавов, кроме сплавов, содержащих значительное количество цинка (латуни, нейзильбер), наилучшие результаты дает применение безокислительного (светлого) отжига. Светлый отжиг всех металлов и сплавов достигается в вакууме, а также при применении защитных атмосфер. Характер защитной атмосферы зависит от природы сплава. Наиболее универсальными, предохраняющими

от окисления и нейтральными по отношению к металлам и сплавам, являются диссоциированный и неполностью сожженный аммиак, а также частично сожженный генераторный или природный газы, очищенные от кислорода, паров воды, углекислого газа и сернистых соединений. Защитная атмосфера не должна содержать более 3—5% водорода (при отжиге меди, никеля, медноникелевых и медноцинковых сплавов).

При кратковременном нагреве в протяжных печах в парах воды достигается светлый отжиг проката из меди, бронз Бр.ОЦ4-3, Бр.ОФ6, 5-0,15 Бр.КМц3-1, Бр.Б2, Бр.Б2,5, КМц3-1, Бр.А5. Обязательным условием достижения светлого отжига является постоянное избыточное давление защитной атмосферы, отсутствие подсоса воздуха в рабочее пространство печи во время нагрева, выдержки и охлаждения.

Для отжига латуней и других сплавов, содержащих большое количество цинка, рекомендуется слабоокислительный отжиг. Получаемая при этом пленка окислов является защитной против возгонки цинка. В то же время (по сравнению с обычным окислительным отжигом) резко сокращаются потери на окалину и трудоемкость травильных операций по удалению образовавшихся окислов.

Светлый отжиг латуней и других сплавов с большим содержанием цинка и марганца можно получить при резком сокращении времени отжига (1 мин. и менее) путем индукционного нагрева, непосредственного пропускания электрического тока и т. п. В этом случае применение защитной атмосферы (диссоциированный аммиак, генераторный или природный газ) предохраняет от окисления, а взаимодействие атмосферы с металлом не оказывает практического влияния на качество полуфабрикатов.

Для отжига подката и готовых полуфабрикатов применяются печи следующих типов:

Методические толкательные с рекуперацией и без рекуперации. Обогрев печей электрический, газовый или жидким топливом. Наибольшее распространение имеют печи электрические (СССР) и газовые (США). Устройство печей допускает применение защитных атмосфер и состоит в этом случае из двух последовательных или параллельных камер для нагревания и охлаждения. Печи применяются для отжига металла в рулонах при большом объеме производства, главным образом для отжига меди и латуни. Печи производительны, экономичны по расходу энергии и обеспечивают высокое качество отжига.

Методические печи с шагающим подом Обогрев печей газовый. Печи применяются главным образом для отжига подката и готовых полуфабрикатов в виде листов и полос значительных размеров. В некоторых случаях эти печи используются попеременно для нагрева перед горячей прокаткой и для отжига.

Печи садочные электросопротивления или газовые применяются для окислительного отжига подката для полуфабрикатов общего назначения.

Печи муфельные электросопротивления или газовые применяются для отжига полуфабрикатов общего и специального назначения. Эти печи допускают применение защитных атмосфер. Печи малопроизводительны, неэкономичны по расходу энергии, не обеспечивают достаточной защиты от окисления.

Колпаковые и колокольные газовые или электрические печи. Колпаковая печь состоит из собственно печи, стендов и внутренних колпаков. В комплект обычно входит по 4 стенда и внутренних колпака. Металл для отжига загружают на под стенда и прикрывают герметически внутренним колпаком (из хромоникелевой стали, содержащей 25% хрома и 12% никеля). По периметру стенд имеет гидравлический (масляный) затвор. Во внутренний колпак вводят защитную атмосферу и после удаления воздуха надевают внешний колпак (собственно печь). По достижении необходимой температуры и выдержки печь переносится на другой стенд, а нагретый металл, закрытый внутренним колпаком, переводится на режим охлаждения. В целях равномерности и интенсификации нагрева и быстрейшего охлаждения печи снабжаются вентиляторами, направляющими поток нагретых газов с высокой скоростью (до 30 *м/сек* и более) через конвективные кольца и торцы рулонов.

Колокольные шахтные печи состоят из собственно печи, колокола и охладительных колодцев. Металл, подлежащий отжигу, загружают внутрь колокола на поддон, подвешенный к крышке колокола. Герметизация достигается с помощью резиновой прокладки, проложенной между верхним фланцем колокола и крышкой. По режиму работы колокольные печи не отличаются от колпаковых. Шахтные печи обычно строят небольшого размера с учетом плотной свертки рулонов производительностью до 200—250 *кг/час*. Колпаковые печи конструктивно менее ограниченны в размерах и производительность их может достигать 750—1000 *кг/час* и иногда более.

Колпаковые и колокольные печи предназначены для светлого отжига подката и готовых полуфабрикатов из медных, никелевых и других сложных сплавов специального назначения. В этих печах отжигают подкат и готовые полуфабрикаты из меди, специальных латуней, бронз марок Бр.ОЦ4-3, Бр.ОФ6,5-0,15; Бр.ОФ6,5-0,4; Бр.ОЦС4-4-2,5; Бр.ОЦС4 4-4; никеля, нейзильбера НМЦ65-20, мельхиора МН19, манганина МНМц3-12, константана МНМц40-1,5, монель-металла НМЖМц28-0,5-1,5 и др.

В некоторых случаях для изделий специального назначения применяют отжиг в вакууме. Для отжига в вакууме обычно применяют специально изготовленные печи колокольного или колпакового типа.

Протяжные печи. Нагрев ленты до заданной температуры осуществляется в этих печах путем протягивания ее с определенной скоростью через рабочее пространство печи. Печи строят горизонтальные, а большей частью вертикальные, соединяя их в один агрегат с травильным устройством. Перед поступлением в рабочее пространство печи лента из цветных металлов и сплавов обычно проходит через систему газовых горелок для сжигания масляной пленки, оставшейся после прокатки.

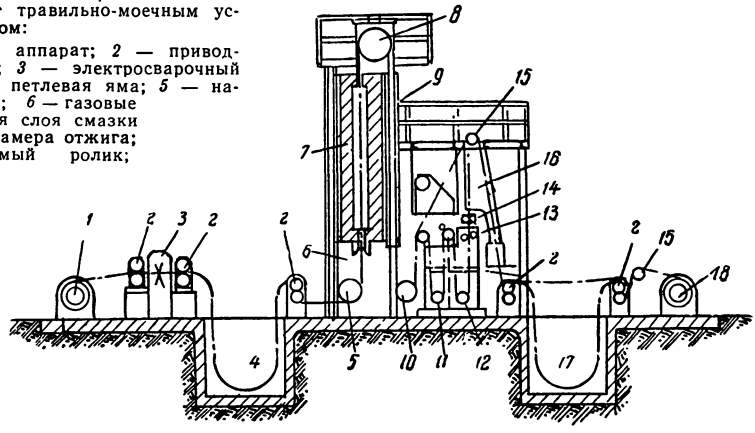


Рис. 12. Разрез вертикальной протяжной печи мощностью 135 *квт* с травильно-моечным устройством:

1 — разматывающий аппарат; *2* — приводные тянущие ролики; *3* — электросварочный аппарат; *4* — первая петлевая яма; *5* — направляющий барабан; *6* — газовые горелки для сжигания слоя смазки после прокатки; *7* — камера отжига; *8* — водоохлаждаемый ролик; *9* — камера охлаждения; *10* — направляющий ролик; *11* — травильный бак; *12* — промывной бак; *13* — вращающиеся щетки; *14* — отжимные ролики; *15* — направляющий ролик; *16* — сушильная камера; *17* — вторая петлевая яма; *18* — сматывающий барабан

Протяжные печи для меди и латуней с малым содержанием цинка (Л96, Л90) иногда имеют водяные затворы, которые обеспечивают светлый отжиг металла в атмосфе-

Таблица 51

Характеристика печей для отжига цветных металлов и сплавов

Показатели	Методическая толкательная печь ОКБ-4003	Протяжные вертикальные электропечи	
Производительность, *кг/час*	4500	5000	500
Мощность, *квт*	400	—	135
Мощность электродвигателей вентиляторов, *квт*	72	—	—
Число зон	5	—	—
Мощность зон, *квт*	80	—	—
Максимальная рабочая температура, °С	700	—	—
Мощность холостого хода, *квт*	42,5	—	—
Время рекуперативного нагрева, час.	4,4	—	—
Время нагрева и выдержки, час.	9,6	—	—
Время охлаждения в зоне рекуперации час.	4,4	—	—
Удельный расход электроэнергии, *квт/час*	17	—	—
Вес рулона, максимальный, *кг*	2000	—	—
Продолжительность 1-го цикла, час.	24	—	—
Рабочая среда	Диссоциированный и неполностью сожженный аммиак	—	—
Расход воды, *м³/час*	12	—	—
Размеры отжигаемой ленты, *мм*	—	(0,1—1,0)×630	До 0,8×600
Вспомогательные устройства	—	Разматыватель, сварочная машина, петлевые ролики, травильный бак и промывной бак-смыватель	Разматыватель, сварочная машина, петлевая яма, травильно-моечное устройство, смыватель

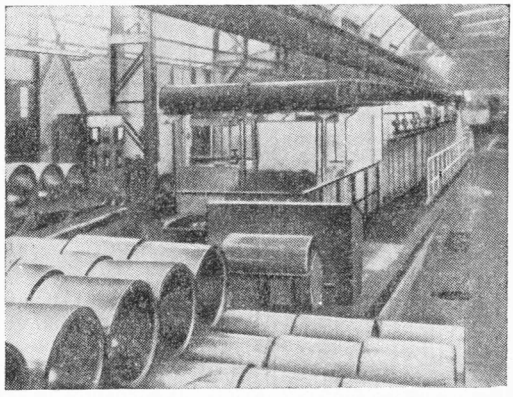


Рис. 13. Рекуперативная методическая печь для отжига с защитной атмосферой

Это приводит к тому, что лента, теряя блеск, становится матовой и условия теплопередачи улучшаются. Для уменьшения окисления в рабочее пространство печи вводят защитный газ (диссоциированный аммиак).

Техническая характеристика некоторых печей для отжига проката приведена в табл. 51. Схемы печей даны на рис. 12 и 13.

§ 10. ТРАВЛЕНИЕ

При горячей прокатке, а в ряде случаев и при отжиге и других видах термообработки, поверхность проката из цветных металлов и сплавов окисляется. Окислы в большинстве случаев должны удаляться. В некоторых случаях, когда окалина хрупкая, а коэффициенты линейного расширения окалины и металла или сплава резко различаются, грубое удаление окалины, в частности после горячей прокатки меди, мельхиора, нейзильбера, марганцевых латуней, достигается замочкой в воде вследствие резкого охлаждения.

Наиболее распространенным является химическое травление. При химическом травлении прокат погружают в травитель, который быстро растворяет окислы на поверхности и практически за время травления не воздействует на металл или сплав, подвергающийся травлению. Травление большинства медных сплавов производится в растворе серной кислоты. Составы травильных растворов приведены в табл. 52.

Для химического травления применяются:

1. Баки. Полосы или листы укладывают в специальные корзины, чтобы обеспечить доступ кислоты к обеим поверхностям. Травление в баках малопроизводительно (время травления 30—60 мин.), не обеспечивает высокого качества поверхности и применяется при толщине проката 2—6 *мм* и более. Равномерное и интенсивное травление может быть достигнуто принудительной циркуляцией травильного раствора в направлении ребер полос и листов.

2. Протяжные лентотравильные машины, работающие методом погружения. В этом случае концы лент толщиной 2 *мм* и менее соединяют между собой и ленту протягивают через бак с травильным раствором. Скорость движения ленты составляет 15—30 *м/мин* в зависимости от состава сплава и длины травильного бака.

3. Протяжные лентотравильные машины струйного типа. В этих машинах протягиваемая лента подвергается действию травильного раствора, поступающего на обе поверхности из сопел (форсунок) под давлением. В этом случае, как и в протяжных машинах, работающих методом погружения, достигается высокое качество поверхности, но при значительном ускорении процесса. Скорость движения ленты повышается до 30—180 *м/мин*. Ускорение процесса травле-

Таблица 52

Составы травителей для подката и готовых листов, полос и лент из цветных металлов и сплавов

Металл или сплав	Состав травителя	Температура нагрева травителя °С
Латуни ЛС59-1; ЛС63-3; ЛС64-2; ЛО62-1; Л68	3—10% H_2SO_4	20—40
Медь М1; М2; М3; латунь Л90; Л96; бронзы Бр. ОФ6,5-0,15; Бр. ОФ6,5-0,4; Бр. А5; Бр. А7; Бр. АМц9-2	7—12% H_2SO_4	40—70
Мельхиор НМ19, манганин МНМц3-12	10—15% H_2SO_4	40—70
Нейзильбер МНЦС17-18-1,8	10—15% H_2SO_4 + + 1% $K_2Cr_2O_7$	40—70
Константан МНМц50-1,5; нейзильбер МНЦ15-20 . . .	10—15% H_2SO_4 + + 2% $K_2Cr_2O_7$	40—70
Бронзы Бр. Б2; Бр. Б2,5; Бр. КМц3-1	10—15% H_2SO_4 + + 5% $K_2Cr_2O_7$	40—70

ния достигается за счет химико-механического воздействия травителя. Кислота на ленты подается насосами, забирающими раствор из нижней части бака. Там же расположены змеевики для подогрева раствора паром.

§ 11. РЕЗКА

К операциям резки при изготовлении плоского проката относятся: обрезка концов, обрезка кромок, разрезка вдоль и поперек. Обрезку концов производят для соз-

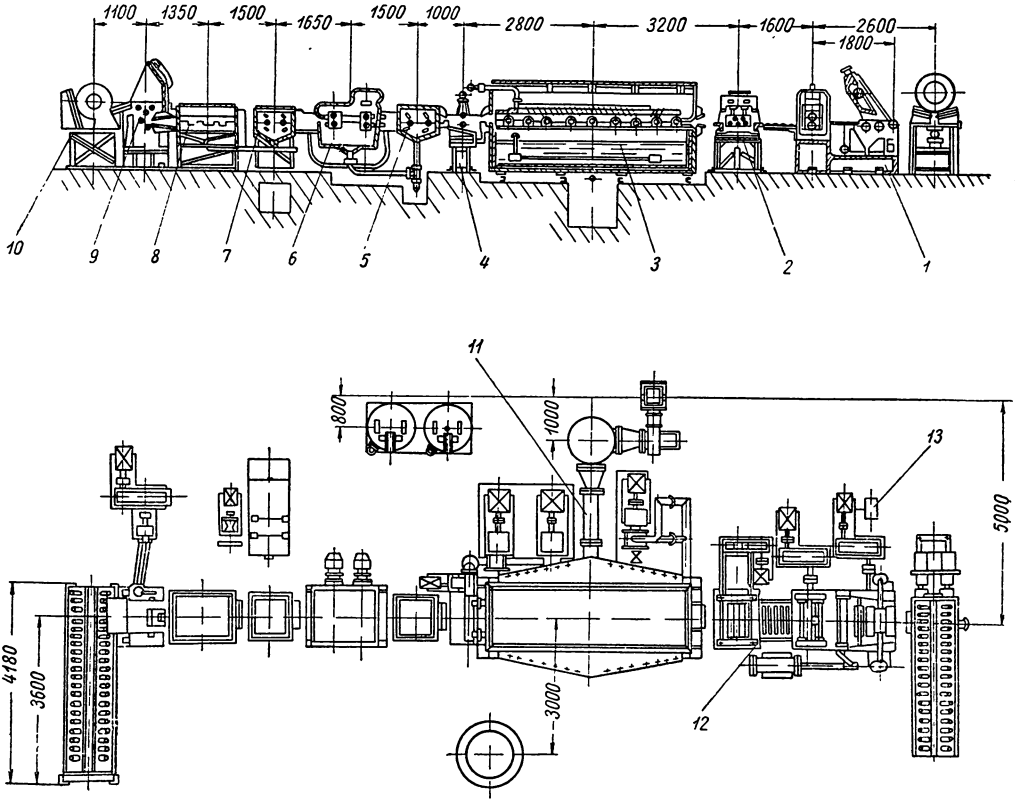


Рис. 14. Установка для струйного травления лент:

1 — устройство для подачи рулонов; *2* — роликоправильная машина; *3* — ванна струйного травления; *4* — отжимные ролики; *5* — ванна душирования холодной водой; *6* — моечно-чистильная машина; *7* — ванна душирования горячей водой, *8* — сушило; *9* — свертывающая машина; *10* — рольганг у свертывающей машины; *11* — вытяжная вентиляция ванн; *12* — роликовый стол; *13* — ручная станция густой смазки

После травления прокат поступает на промывку и сушку. Схема одной из установок струйного травления приведена на рис. 14, а основные технические данные приведены ниже:

Скорость движения ленты, *м/мин*	3—30
Ширина ленты, *мм*	650
Толщина ленты, *мм*	6
Наружный диаметр рулона, *мм*	850
Внутренний диаметр рулона, *мм*	500

Интенсификация и улучшение качества травления могут быть достигнуты также применением электрохимического метода, при котором лента, протягиваемая через раствор, служит анодом или попеременно анодом (анодное травление) и катодом (катодное травление).

дания определенных условий задачи в валки после горячей прокатки (обычно режется один конец), а также на промежуточных стадиях. Кромки обрезаются после заготовительной и отделочной прокатки. Обрезку кромок после заготовительной прокатки производят для удаления дефектов (например, трещин) по краям рулона, полученных при горячей и заготовительной прокатке.

Обрезка кромок предохраняет ленту от обрывов при дальнейшей прокатке и закатки частиц металла, которые отрываются от неровных кромок и попадают между металлом и валком.

В ряде случаев заготовку шириной 600—1000 *мм* перед дальнейшей прокаткой на тонкие размеры (0,5 *мм* и менее) режут на ремни шириной 200—300 *мм*. На такую ширину часто рассчитаны прокатные станы, выпускающие ленту толщиной менее 0,5 *мм*.

Резку ленты вдоль на заданную ширину

Таблица 53

Основные характеристики трех видов дисковых ножниц для резки ленты из цветных металлов и сплавов

Показатели	I	II	III
Диаметр ножей, *мм*	400	230	150
Толщина разрезаемой ленты, *мм*	5,0—9,5	1,0—5,0	0,12—0,8
Ширина разрезаемой ленты, *мм*	До 640	До 640	До 640
Наибольшее число резов	5	5	25
Скорость резания приводными ножами, *м/сек*	0,75	2,2	1,5
Скорость резания при протаскивании ленты через ножи сматывателем, *м/сек*	—	5,0	7,5
Мощность привода ножей, *квт*	110	37	5—15

производят после отделочной прокатки. Резка вдоль на несколько ремней, как правило, сопровождается одновременной обрезкой кромок. Обрезку кромок и разрезку вдоль на необходимую ширину производят на дисковых ножницах. Характеристика дисковых ножниц приведена в табл. 53.

Обрезку кромок на промежуточных стадиях прокатки в некоторых случаях производят на дисковых ножницах, встроенных в прокатный стан. Ножи ножниц неприводные и резка осуществляется за счет протягивания ее сматывателем. Для резки поперек применяются гильотинные ножницы. Для резки листов мерной длины из лент, свернутых в рулон, используются летучие ножницы.

§ 12. ВАЛКИ И СМАЗКА ПРИ ПРОКАТКЕ

Валки по химическому составу разделяются на чугунные и стальные, а по твердости — на мягкие, полутвердые и твердые. Размеры, химический состав и твердость валков приведены в табл. 54—61.

Опорами валков служат подшипники скольжения (табл. 62—63) или качения (роликовые).

Для обеспечения равномерной выкатки, в особенности полос и лент большой ширины (600—1000 *мм*), бочку валков шлифуют с определенным профилем: вогнутым (с «лощинкой»), цилиндрическим и выпуклым (с «горбинкой»).

Опорные валки многовалковых станов обычно имеют цилиндрическую бочку. Валки станов горячей прокатки вогнутые. Вогнутость — «лощинка» — необходима для компенсации разогрева средней части бочки валка, непосредственно соприкасающейся с горячим металлом при прокатке. Кроме того, некоторая вогнутость может не компенсироваться в целях лучшей направленности полосы в валках и уменьшения растягивающих напряжений по кромкам, что особенно важно при отсутствии вертикальных валков (эджеров).

Таблица 54

Размеры валков двух- и трехвалковых прокатных станов [2,3]

Диаметр бочки валка при длине бочки, *мм*												
300	400	500	600	800	1000	1200	1500	1700	2000	2300	2500	2800
250	250	250	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
300	300	300	300	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	350	350	350	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	400	400	400	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	450	450	450	450	450	450	450	—	—	—	—
—	—	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	—
—	—	—	—	550	550	550	550	550	550	550	550	550
—	—	—	—	600	600	600	600	600	600	600	600	600
—	—	—	—	650	650	650	650	—	—	—	—	—
—	—	—	—	700	700	700	700	700	—	—	—	—
—	—	—	—	750	750	750	750	750	750	750	750	750
—	—	—	—	—	800	800	800	800	800	800	800	800
—	—	—	—	—	850	850	850	850	850	850	850	850
—	—	—	—	—	—	900	900	900	900	900	900	900
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	950	950	950
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1000
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1150

Таблица 55

Размеры валков листовых четырехвалковых прокатных станов [2,3]

Диаметр бочки валка при длине бочки, *мм*												
300	400	500	600	800	1000	1200	1500	1700	2000	2300	2500	2800
100	100	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
150	150	150	150	150	—	—	—	—	—	—	—	—
200	200	200	200	200	200	—	—	—	—	—	—	—
250	250	250	250	250	250	250	—	—	—	—	—	—
300	300	300	300	300	300	300	—	—	—	—	—	—
350	350	350	350	350	350	350	350	—	—	—	—	—
—	400	400	400	400	400	400	400	400	—	—	—	—
—	450	450	450	450	450	450	450	450	450	—	—	—
—	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	—	—
—	—	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550
—	—	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
—	—	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650
—	—	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
—	—	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
—	—	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
—	—	—	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900
—	—	—	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
—	—	—	—	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
—	—	—	—	—	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
—	—	—	—	—	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300
—	—	—	—	—	—	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400
—	—	—	—	—	—	—	—	—	1500	1500	1500	1500
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1600	1600

Таблица 56

Марки стали для валков прокатных станов в зависимости от назначения их

Назначение	Марки стали
Валки рабочие . . .	9Х, 9ХФ, 9Х2, 9Х2СФ, 9Х2В
Валки опорные . . .	9Х, 9ХФ
Оси составных опорных валков . .	70. 55Х, 50ХГ

Таблица 57

Марки стали для рабочих валков прокатных станов в зависимости от диаметра бочки и метода закалки

Диаметр бочки валка, *мм*	Марки стали	
	при поверхностной закалке	при объемной закалке
До 250 .	9Х	9Х, 9ХФ
250—500	9Х2, 9Х2МФ	9Х2, 9Х2СФ, 9Х2МФ
Свыше 500	9Х2, 9Х2МФ	9Х2МФ, 9Х2В, 9Х2СФ

Таблица 58

Твердость поверхности валков прокатных станов

Валки	Твердость по Бринелю *кг/мм²*	Твердость по Шору	Материал
Мягкие	150—250	30—40	Стальное литье, кованая углеродистая сталь и серый чугун (при небольших нагрузках)
Полутвердые	250—350	40—60	Полузакаленный чугун, стальное литье и кованая сталь
Твердые	350—550	60—85	Закаленный чугун и легированная сталь
Особотвердые	550—650	85—100	Кованная легированная сталь (обычно с добавкой хрома)
	Rc=80	—	Карбид вольфрама

Таблица 59

Химический состав и твердость чугунных валков [2,3] для прокатных станов

Валки	Химический состав, %				
	углерод	марганец	кремний	фосфор (не более)	сера (не более)
Листовые	2,7—3,3	0,2—0,5	0,4—0,7	0,50	0,10
Листовые молибденовые	2,7—3,3	0,2—0,5	0,4—0,7	0,50	0,10
Листовые хромоникелевые для холодной прокатки	2,8—3,7	0,5—0,9	0,4—0,6	0,50	0,50
Валки отбеленные высокой твердости двухслойные:					
наружный слой	2,8—3,6	0,4—1,0	0,4—0,7	0,50	0,10
сердцевина	3,2—3,4	0,3—0,7	0,5—0,8	0,50	0,14

Продолжение табл. 59

Валки	Химический состав, %			Твердость по Шору	Глубина отбеленного слоя, *мм*
	хром	никель	молибден		
Листовые	—	—	—	58—68	10—23
Листовые молибденовые	—	—	0,2—0,4	58—65	8—23
Листовые хромоникелевые для холодной прокатки	0,4—0,7	1,0—1,6	—	60—70	10—23
Валки отбеленные высокой твердости двухслойные:					
наружный слой	0,5—0,7	3,5—4,5	0,3—0,4	70—85	10—30
сердцевина	0,2—0,4	1,5—2,5	0,10—0,2	—	—

Таблица 60

Характеристика рабочих и опорных валков четырехвалковых станов холодной прокатки и вес стана [8]

Диаметр рабочего валка *мм*	Диаметр опорного валка, *мм*	Длина бочки *мм*	Давление *т*	Вес двух рабочих валков, *кг*	Вес опорных валков, *кг*	Вес стана и привода без валков *кг*	Общий вес стана с валками *кг*
100	300	350	72,5	57	670	8000	8750
150	400	430	104	225	1340	13000	14570
175	450	480	126	450	1870	32000	34320
150	400	600	430	360	3120	56000	39480
250	600	650	500	1130	5400	67000	73530
300	700	750	635	1750	7600	89000	98350
350	750	1100	770	2040	9800	103000	114440
400	850	1400	910	3900	16500	142000	162400
500	1000	1650	1100	12000	40000	155000	205000
600	1300	2000	1360	20000	60000	140000	270000

Таблица 61

Твердость рабочей поверхности бочки стальных валков для холодной прокатки металлов после окончательной термической обработки

Типы валков	Классы	Твердость по Шору
Рабочие	А	95—102
	Б	90—94
	В	70—85
Опорные	Г	60—75

Таблица 62

Физические свойства материалов для подшипников прокатных станов [8]

Показатели	Материа подшипника			
	бронза[1]	текстолит[2]	лигностон[3]	лигнофоль[4]
Сопротивление сжатию, *кг/см²*:				
вдоль волокна	4500	1300—1350	1000—1200	1250—1750
поперек волокна	—	2300—2450	600—700	—
Сопротивление изгибу, *кг/см²*	—	1200—1700	2300—2800	2700—2900
Предел прочности при растяжении, *кг/см²*	1700	1000—1100	—	—
Твердость по Бринелю, *кг/мм²*:				
вдоль волокна	55	30	11—14	15—20
поперек волокна	—	42	11—12	20—30
Упругая деформация при удельном давлении 100 *кг/см²* на толщине материала 10 *мм*: *мм*/100 *кг/см²* на 10 *мм*:				
вдоль волокна	0,04—0,045	0,06	0,08	0,06
поперек волокна	0,05	0,002—0,005	0,003—0,005	0,003—0,05
Коэффициент трения	0,05	0,002—0,005	0,003—0,005	0,003—0,05

Продолжение табл. 62

Показатели	Материал подшипника			
	бронза[1]	текстолит[2]	лигностон[3]	лигнофоль
Коэффициент расширения	$1{,}751 \cdot 10^{-5}$	$45 \cdot 10^{-5}$	—	—
Теплоемкость, *кал/°С*	0,36	0,3—0,4	—	0,3—0,4
Теплопроводность, *кал/см · сек · °С*	0,456	0,004	—	0,004
Теплостойкость (начало обугливания или оплавления), °С	700	140—150	~300	130—140
Водопоглощение при 15° за сутки, %	0	0,2—0,4	6—10	1—
Разбухание объемное при 15° за сутки, %	0	—	5—7	1—
Удельный вес, *г/см³*	8,8	1,36—1,40	1,25—1,30	1,30—1,35

[1] Состав бронзы: 80% меди, 10% олова, 10% свинца.
[2] Текстолит — спрессованные полотно, бязь и др., пропитанные до 50% бакелитовым лаком
[3] Лигностон — пластифицированная береза, пропитанная 20% глюкозы.
[4] Лигнофоль — спрессованный фанерный шпон, пропитанный на 20% бакелитовым лаком

Таблица 63

Смазка для заменителей бронзовых подшипников (лигностон и лигнофоль)

Удельное давление на подшипник *кг/см²*	Вид смазки
До 2	Без смазки
2,5—8	Солидол или консталин
9—20	Машинное масло
20—200	Вода[1]
200—400	Вода и солидол[2]

[1] Расход воды при нагрузке, *кг/см²*

	л/мин
15—30	0,02—0,05
50—200	0,1—0,15
Более 200	До 30 (плюс густая смазка в количестве 50%)

[2] При пуске механизмов под нагрузкой применяют солидол, а при больших давлениях — графитную мазь (90% солидола и 10% графитного порошка).

Валки (рабочие) для холодной прокатки имеют выпуклый профиль с «горбинкой». Величина необходимой «горбинки»

$$h = h_1 - h_2,$$

где h_1 — величина прогиба валка при прокатке;

h_2 — величина изменения профиля при нагреве валка от температуры шлифовки до температуры разогрева его при прокатке.

В общем случае величина изменения профиля валка при прокатке (а соответственно и профиль, который должен получаться после шлифовки для компенсации этого изменения) зависит от размеров, прочности валков, их количества, величины полного давления, ширины и температуры проката, температуры разогрева валков (скорости прокатки, величины обжатия и температурного эффекта при деформации). Характеристика профиля валков приведена в табл. 64.

Определенный профиль прокатных валков достигается на специальных вальцешлифовальных станках. Основные характеристики станков, режимы обработки и применяемые материалы приведены в табл. 65—67 [25].

Таблица 64

Примерная характеристика профиля валков для горячей и холодной прокатки медных и никелевых сплавов

Характеристика стана	Диаметр валка *мм*	Диапазон размеров проката *мм*	Профиль валка: максимальная выпуклость (+) или вогнутость (—) *мм*
		Горячая прокатка	
2/750×1500	750	6—150×600—750	—0,4
		Холодная прокатка	
4/375/1000	375	6—2×650	+0,04
—	1000	—	0,00
4/250/700×850	250	2—0,5×650	+0,08
—	700	—	0,00
4/160/470×450	160	0,5—0,1×310	+0,02
—	470	—	0,00
6/130/250×300	130	0,3—0,1×210	+0,02
—	250	—	0,00
2/525×850	525	15—5×650	+0,04
2/210×250	210	0,5—0,3×200	+0,01
2/300×400	300	2—1×310	+0,07

Таблица 65

Паспортные данные вальцешлифовальных станков трех моделей

Показатели	Модель станка		
	3415Е	3415К	3417В
Наибольший диаметр изделия, *мм*	1 000	1 000	1 500
Наибольшая длина изделия, *мм*	4 500	7 500	6 000
Наибольший вес изделия, *кг*	20 000	20 000	40 000
Число оборотов изделия в минуту	5—50	5—50	6—60
Число оборотов круга в минуту	500—1 000	500—1 000	500—1 000
Диаметр круга, *мм*	450—900	450—900	450—900
Суммарная мощность двигателей, *квт*	75	75	125
Скорость перемещения продольных саней, *мм/мин*	50—2 500	50—2 500	50—2 500
Наибольшая глубина вогнутости или выпуклости на сторону, *мм*	1	1	1
Габаритные размеры, *мм*:			
длина	9 680	12 680	16 500
ширина	4 320	4 320	5 200
высота	2 500	2 500	2 500
Вес, *т*	60	70	90

Таблица 66

Абразивные материалы

Наименование и обозначение абразивного материала	Назначение абразивного материала	Цвет и химический состав абразивного материала
Электрокорунд нормальный Э	Для грубого шлифования вязких материалов с высоким сопротивлением разрыву (термически обработанные стали и т п.)	Зерна от серо-коричневого до темно-красного цвета. Содержат 86—91% Al_2O_3
Электрокорунд белый ЭБ	Наиболее пригоден для чистового шлифования твердых, вязких материалов и закаленной стали; твердость более высокая, чем у нормального электрокорунда, но более хрупок и не так прочно соединяется со связкой	Зерна от серого до розового цвета. Содержат 96—99% Al_2O_3
Карбокорунд черный КЧ	Наиболее пригоден для обработки чугунов, в том числе белого чугуна; имеет острые кромки зерен; тверже, чем корунд, но менее прочен, легко разрушается под давлением прочной и вязкой стружки	Зерна от темно-синего до черного цвета. Содержат не менее 95% карбида кремния
Карборунд зеленый КЗ	Применяется для чистового шлифования наиболее твердых хрупких материалов, тверже, чем черный карборунд, но более хрупок	Зерна от зеленого до серого цвета. Содержат не менее 97% карбида кремния
Графит	Полировка валков для отделочной прокатки	—

Таблица 67

Режимы обработки валков на вальцешлифовальном станке модели 3415Е

Наименование операции	Скорость вращения круга *м/сек*	Скорость вращения валка *м/мин*	Продольная подача *мм/мин*	Глубина шлифования *мм*	Сила тока *а*
Обдирка	30	25—30	750	0,04	150
Обточка	20	50—60	1400	0,02	120
Доводка	30	60—75	1800	0,01	50

Для снижения удельного давления при прокатке применяются так называемые технологические смазки (табл. 68).

У станов горячей прокатки, а также станов холодной прокатки, работающих с высокими скоростями и обжатиями (многовалковые станы), происходит сильный разогрев бочки валков, ведущий к неравномерному изменению профиля и ухудшению условий работы валка. Для поддержания температуры бочки валков в определенных пределах (20—35° и не более 50° для станов холодной прокатки) и ее равномерного распределения применяют охлаждение. Наиболее совершенным является внешнее охлаждение.

Современные станы для прокатки тяжелых металлов оборудуются специальными системами охлаждения и смазки (рис. 15). Система охлаждения и смазки состоит из следующих основных элементов [26]:

1) подающий коллектор с распылителями по обе стороны рабочих валков;

2) сетчатый фильтр грубой очистки для фильтрации охлаждающей смазки, откаченной из приямка стана;

3) отстойник для отстоя и фильтрации отработанной эмульсии со змеевиком для варки эмульсии;

4) главный бак для эмульсии, в котором эмульсия разводится до нужной концентрации;

5) трубчатый фильтр-холодильник для тонкой очистки и охлаждения смазки;

6) пресс-бак для поддержания постоянства давления эмульсии в сети.

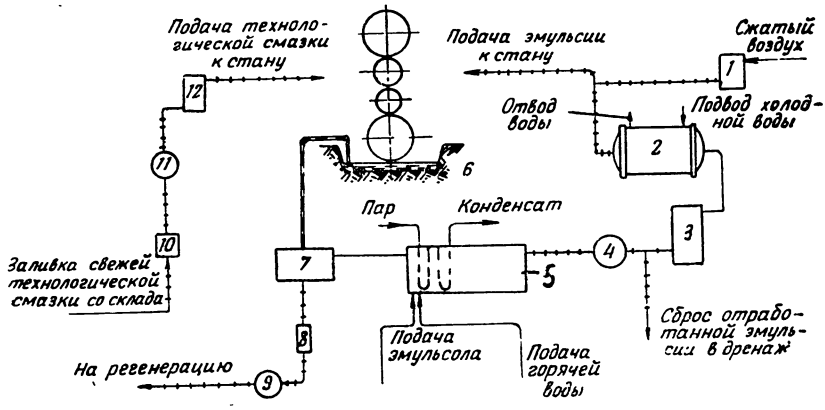


Рис 15 Принципиальная схема эмульсионной установки для смазки и охлаждения валков при холодной прокатке

1 — пресс-бак; *2* — холодильник; *3* — сетчатый фильтр; *4* — насос; *5* — отстойник и теплообменник; *6* — приямок стана; *7* — отстойник для разделения технологической смазки и эмульсии; *8* — сборник отработанной смазки; *9* — насос; *10* — отстойник; *11* — насос; *12* — фильтр

Расход эмульсии равен (0,4—0,5) *B л/мин*, где *B* — ширина прокатываемой полосы, *мм*

Эмульсия для холодной прокатки содержит 2—3% смазки СП-3 (59-С), имеющей следующий состав: 86—88% трансформаторного масла, 8—10% олеиновой кислоты и 3—4% триэтаноламина. Эмульсия, оставаясь на ленте в больших количествах, вызывает потемнение поверхности. Эмульсию сдувают с ленты сжатым воздухом (4—5 *ат*), а с обоих сторон стана устанавливают отжимные ролики. Смазка — эмульсия — подается с помощью форсунок в необходимом количестве в требуемое место бочки. Количество эмульсии должно быть таково, чтобы обеспечить минимальный перепад температур по длине бочки, длине и ширине проката.

Таблица 68

Составы смазок, применяемых при прокатке цветных металлов и сплавов [26]

Состав смазки	Применяется для прокатки цветных металлов и сплавов
Минеральные масла типа трансформаторного, веретенные и машинные	Меди и медноцинковых сплавов
Машинное масло 50%, керосин 50%	Медноцинковых сплавов
Керосин	Меди, латуни, бронзы Бр.ОЦ4-3, никеля, никелевых сплавов, свинца
Керосин 96%, олеиновая кислота 4%	Латуни, бронзы Бр.А5
Парафин 95%, стеарин 5%	Меди, цинка, латуни
Машинное масло 90—95%, техническое сало 5—10%	Никеля и никелевых сплавов
Канифоль 70—90%, технический воск 10—30%	Меди, цинка
Канифоль 90%, стеарин 10%	Меди, цинка
Касторовое масло	Оловяннофосфористых и алюминиевых бронз, золота

ЛИТЕРАТУРА

1. Иг. М Павлов. Теория прокатки, Металлургиздат, 1950.
2. А. И. Целиков. Прокатные станы, Металлургиздат, 1946.
3 А. И. Целиков, В В. Смирнов. Прокатные станы, Металлургиздат, 1958.
4. А. П. Смирягин Промышленные металлы и сплавы, Металлургиздат, 1956.
5. Н. З. Днестровский и С. Н. Померанцев. Краткий справочник по обработке цветных металлов, Металлургиздат, 1958.
6. В. В. Жолобов, К. Н. Богоявленский, М. Е. Зубцов, А. Д. Ландихов, Е. М. Лекаренко, Н. Н. Постников Обработка цветных металлов и сплавов давлением, Металлургиздат, 1955.
7. Г. Н. Кручер. Технология производства лент и листов из меди и медноцинковых сплавов, Металлургиздат, 1958.
8. С. С. Крашенинников, Л. Е. Миллер, С. Н. Черняк Краткий справочник по обработке цветных металлов, Металлургиздат, 1945
9. Е М. Савицкий Влияние температуры на механические свойства металлов и сплавов Изд. АН СССР, 1957.
10. И. Л. Рогельберг, Е. С. Шпичинецкий. Диаграммы рекристаллизации металлов и сплавов. Справочник, Металлургиздат, 1950.
11. А А. Пресняков, Л. М. Новикова Цветные металлы, 1956, № 11.
12 А А. Пресняков, Л. М. Новикова Цветные металлы, 1957, № 2.
13. С С Зуев, В. В Крапухин. Цветные металлы, 1958, № 2.
14. М. А Перышкин. Цветные металлы, 1956, № 12
15 И Л. Перлин, А Д. Никулин Цветные металлы, 1956, № 12.
16. А. К. Чертавских. Влияние SO_2 на угар и механические свойства меди, никеля и латуни. Обработка цветных металлов, Металлургиздат, 1953.
17. И. Л. Рогельберг, Е. С. Шпичинецкий Цветные металлы, 1958, № 7.
18. Деформируемость металлов (под ред С. И. Губкина), Металлургиздат, 1953.
19. Листы, полосы, ленты и прутки из цветных металлов и сплавов, Стандартгиз, 1952.
20. И. Ф. Беляев, С. Г. Гущин, П. Д. Казанцев. Цветные металлы, 1953, № 2.
21. С. А. Кушакевич, М. М. Лазарев. Опыт эксплуатации машин для непрерывного отжига лент цветных металлов методом электросопротивления, Металлургиздат, 1956, № 10.
22. И. Л. Перлин, К К. Годерзиани. Цветные металлы, 1954, № 5.
23. Д. И. Лайнер. Сб. «Обработка цветных металлов и сплавов», Гипроцветметобработка, вып. XI, Металлургиздат, 1950.
24. Д. И. Суяров. Профилировка и шлифовка листопрокатных валков, Металлургиздат, 1958
25. А. К. Чертавский. Трение и смазка при обработке металла, Металлургиздат, 1955
26. М. М. Бердников. Цветные металлы, 1952, № 5.
27 Д. Г. Бутомо и П. С. Соломина. Цветные металлы, 1952, № 6.
28. А. В. Бобылев. Коррозионное растрескивание латуни, Металлургиздат, 1956.
29. Zeitchrift für Metallkunde, 1955, Bd. 46, № 4
30. Zeitchrift für Metallkunde, 1955, Bd. 46, № 7.
31. Metall Progress, 1952, v. 2, № 5
32 Iron and Steel Engineer, 1954, v. 31, № 10.
33. Stahl und Eisen, 1955, Bd. 75.
34 Metal Progress, 1950, v 57, № 2
35. Iron and Steel Engineer, 1949, v. 26, № 6.
36 Institute of Metals Division, 1948, v 2
37. Engineer, 1951, v. CXCII, № 4985 и 4986.
38. Engineer, 1956, v. CCI, № 5224.
39. The jornal of Institute of Metals, 1954, v. 82, № 7.
40. Iron and Steel Engineer, 1953, v. 30, № 7.
41. Sheet metal Industry, 1952, v. 29, № 308.
42. Sheet metal Industry, 1956, v. 33, № 350.
43. Sheet metal Industry, 1954, v. 31, № 324
44. Sheet metal Industry, 1950, v. 76, № 3.
45. Industrial Heating, 1958, v. 25, № 6.

ГЛАВА II

ПРОИЗВОДСТВО ЛИСТОВ И ЛЕНТ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

§ 1. СОРТАМЕНТ И НОМЕНКЛАТУРА ИЗДЕЛИЙ

Химический состав и обозначения (марки) деформируемых алюминиевых сплавов регламентированы ГОСТ 4784—49. Сортамент листов из алюминия и его сплавов — размеры, допускаемые отклонения и состояние поставки — обусловлены ГОСТ 1946—50.

В табл. 69 приведены стандартные размеры листов из алюминиевых сплавов, в табл. 70 указаны допускаемые отклонения по толщине, длине и ширине листов.

Технические условия на дуралюминовые плакированные листы — минимальные гарантируемые механические свойства, правила приемки и методы испытания, упаковка и т. д. — регламентированы. ГОСТ. 4977—49.

Механические свойства других изделий регламентированы техническими условиями заводов.

В табл. 71 приведены минимальные гарантируемые механические свойства листов в зависимости от условий поставки.

Таблица 69

Стандартные размеры листов из алюминиевых сплавов (по ГОСТ 1946—50)

Состояние поставки листов	Марка сплава	Толщина листов, *мм*	Ширина, *мм*
Горячекатаные (без термообработки)	АД, АД1, АМцА, АВ, АМгА, Д16А, Д16, АВ, Д1А, В95А	5—10	400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500
Отожженные	АД-М, АД1-М, АВАМ, АМцА-М, АМгА-М, Д1АМ, Д16А-М, Д16, АВ-М, В95А-М	0,3—3 0,5—10 0,5—4 0,8—4	500 600, 800, 1000 1200 1400, 1500
	АД-М, АД1-М, Д1А-М	0,3—10 0,8—10	400, 500, 600, 800 500, 600, 800, 1400, 1500
Полунагартованные и нагартованные	АД-Н, АД1-Н, АМцА-Н, АМгА-Н, АМцА-П, АМгА-П	0,3—3 0,5—3 0,8—3	500 600, 800, 1000, 1200 1400, 1500
	АД-Н, АД1-Н	0,3—10	400, 500, 600, 800
Закаленные	Д16А-Т, Д1А-Т, Д16А-Б-Т, В95А-Т, АВАТ, АВА-$Т_1$	0,3—3 0,5—10 0,5—4 0,6—4 1,5—4	500 600, 800, 1000 1200 1400, 1500 2000
Закаленные повышенного качества прокатки	Д16А-ТВ, Д16А-Б-ТВ, Д1А-ТВ, В95-А-ТВ	0,3—3 0,6—4 1,5—4	500 1200, 1400, 1500 2000
Нагартованные после закалки	Д16А-ТН, Д16А-ТНВ, Д16А-Б-ТН, Д16-А-Б-ТНВ	1—1,5 1,5—6	500 1200

Примечание. Длина листов устанавливается 2000, 3000 и 4000 *мм*.

Таблица 70

Допускаемые отклонения размеров листов из алюминиевых сплавов (по ГОСТ 1946—50) *мм*

Толщина *мм*	Ширина, *мм*							
	400 и 500	600	800	1000	1200	1400	1500	2000
Допускаемые отклонения по толщине								
0,3	—0,05	—	—	—	—	—	—	—
0,4	—0,05	—	—	—	—	—	—	—
0,5	—0,05	—0,05	—0,08	—0,10	—0,12	—	—	—
0,6	—0,05	—0,06	—0,10	—0,12	—0,12	—	—	—
0,8	—0,08	—0,08	—0,12	—0,12	—0,13	—0,14	—0,14	—
1,0	—0,10	—0,10	—0,15	—0,15	—0,16	—0,17	—0,17	—
1,2	—0,10	—0,10	—0,15	—0,15	—0,16	—0,17	—0,17	—
1,5	—0,15	—0,15	—0,20	—0,20	—0,22	—0,25	—0,25	—0,27
1,8	—0,15	—0,15	—0,20	—0,20	—0,22	—0,25	—0,25	—0,27
2,0	—0,15	—0,15	—0,20	—0,20	—0,24	—0,26	—0,26	—0,28
2,5	—0,20	—0,20	—0,25	—0,25	—0,28	—0,29	—0,29	—0,30
3,0	—0,25	—0,25	—0,30	—0,30	—0,33	—0,34	—0,34	—0,35
3,5	—0,25	—0,25	—0,30	—0,30	—0,34	—0,35	—0,35	—0,36
4,0	—0,25	—0,25	—0,30	—0,30	—0,35	—0,36	—0,36	—0,37
5,0	—0,30	—0,30	—0,35	—0,35	—0,36	—	—0,37	—
6,0	—0,30	—0,30	—0,40	—0,40	—0,41	—	—0,42	—
7,0	—0,30	—0,30	—0,40	—0,40	—0,42	—	—0,43	—
8,0	—0,35	—0,35	—0,45	—0,45	—0,46	—	—0,47	—
9,0	—0,35	—0,35	—0,45	—0,45	—0,47	—	—0,48	—
10,0	—0,40	—0,40	—0,50	—0,50	—0,50	—	—0,50	—
Допускаемые отклонения по ширине								
0,3— 10,0	+5 —3	+5 —3	+5 —3	+10 —3	+10 —5	+10 —5	+10 —5	+10 —5
Допускаемые отклонения по длине								
0,3— 10,0	+25 —5	+25 —5	+25 —5	+25 —5	+25 —5	+25 —5	+25 —5	+25 —5

Таблица 71

Механические свойства образцов, вырезанных в любом направлении волокна

Марка сплава	Состояние поставки листов	Шифр, учитывающий марку сплава и состояние поставки	Толщина листов *мм*	Предел прочности при растяжении σ_b, *кг/мм²*	Предел текучести σ_s *кг/мм²*	Относительное удлинение δ, % ($l=11{,}3\sqrt{F}$)
				не менее		
Листы из алюминия и пластичных алюминиевых сплавов						
АДА	Отожженные	АДА-М	0,3—0,8	Не более 11	—	20
			0,8—10,0	» » 11	—	25
	Нагартованные	АДА-Н	0,3—10,0	11	—	6
АД1А	Отожженные	АД1А-М	0,3—0,8	Не более 11	—	20
			0,8—10,0	» » 11	—	25
	Нагартованные	АД1А-Н	0,3—10,0	11	—	6

Продолжение табл. 71

Марка сплава	Состояние поставки листов	Шифр, учитывающий марку сплава и состояние поставки	Толщина листов *мм*	Предел прочности при растяжении σ_b, *кг/мм²*	Предел текучести σ_s *кг/мм²*	Относительное удлинение δ, % ($l=11{,}3\sqrt{F}$)
				не менее		
АМцА	Отожженные	АМцА-М	0,3—3,0	11—15,0	—	20
			3,0—6,0	11—15,0	—	18
	Полунагартованные	АМцА-П	0,3—3,0	15—22	—	6
	Нагартованные	АМцА-Н	0,3—0,5	19	—	1
			0,5—0,8	19	—	2
			0,8—1,2	19	—	3
			1,2—4,0	19	—	4
АМгА	Отожженные	АМгА-М	0,3—3,0	Не более 23	—	16
	Полунагартованные	АМгА-П	0,3—3,0	24	—	4
	Нагартованные	АМгА-Н	0,3—0,8	27	—	3
			0,8—4,0	27	—	4
АВА	Отожженные	АВА-М	0,3—5,0	Не более 15	—	20
	Закаленные и естественно состаренные	АВА-Т	0,3—0,6	20	—	18
			0,6—3,0	20	—	20
			3,0—5,0	20	—	18
			5,0—10	18	—	16
	Закаленные и искусственно состаренные	АВА-Т1	0,3—5,0	30	—	10
			5,0—10	30	—	8
Листы из сплава типа дуралюмин, неплакированные						
Д16А	Отожженные	Д16А-БМ	0,3—3,0	Не более 24	—	12
			3,1—10	» » 24	—	11
	Закаленные и естественно состаренные	Д16А-БТ	0,3—1,5	45	29,5	14
			1,6—6,0	45	29,5	13
			6,1—10	45	29,5	12
	Закаленные и нагартованные путем холодной прокатки	Д16А-БТ4	0,8—1,5	48,5	36,5	11
			1,6—3,0	48,5	36,5	10
			3,1—6,5	48,5	36,5	9
Листы из сплава типа дуралюмин, плакированные[1]						
Д16А	Отожженные	Д16А-М	0,3—2,5	Не более 23	—	12
			2,6—10	» » 24	—	12
	Закаленные и естественно состаренные	Д16А-Т	0,3—2,5	41,5	27,5	13
			2,6—10	43,5	28	11
	Нагартованные после закалки и естественного старения	Д16А-ТН	0,3—2,5	43,5	34	10
			2,6—6,5	46,5	35	8

Продолжение табл. 71

Марка сплава	Состояние поставки листов	Шифр, учитывающий марку сплава и состояние поставки	Толщина листов *мм*	Предел прочности при растяжении σ_b, *кг/мм²*	Предел текучести σ_s *кг/мм²*	Относительное удлинение δ, % ($l=11{,}3\sqrt{F}$)
				не менее		
Д1А	Отожженные	Д1А-М	0,3—3,0	Не более 23	—	12
			3,1—10	» » 24	—	12
	Закаленные и естественно состаренные	Д1А-Т	0,3—2,5	37,0	19,0	15
			2,6—10	38,0	20,0	15
	Листы из сплава В95, плакированные					
В95А	Отожженные	В95А-М	0,3—10	Не более 25	—	10
	Закаленные и искусственно состаренные	В95А-Т	0,3—2,5	49	41	7
			2,6—10	50	42	7
	Закаленные и искусственно состаренные с повышенной выкаткой	В95А-ТВ	0,3—2,5	49	41	7
			2,6—10	50	42	7

[1] Для образцов, вырезанных в направлении поперек прокатки.

§ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА И РАЗМЕРЫ СЛИТКОВ

В настоящее время основным в производстве слитков алюминиевых сплавов является метод полунепрерывного литья (ПН).

Главным преимуществом этого метода, по сравнению с литьем в водоохлаждаемые изложницы, является резкое увеличение скорости охлаждения металла, которая является основным фактором, определяющим качество слитка.

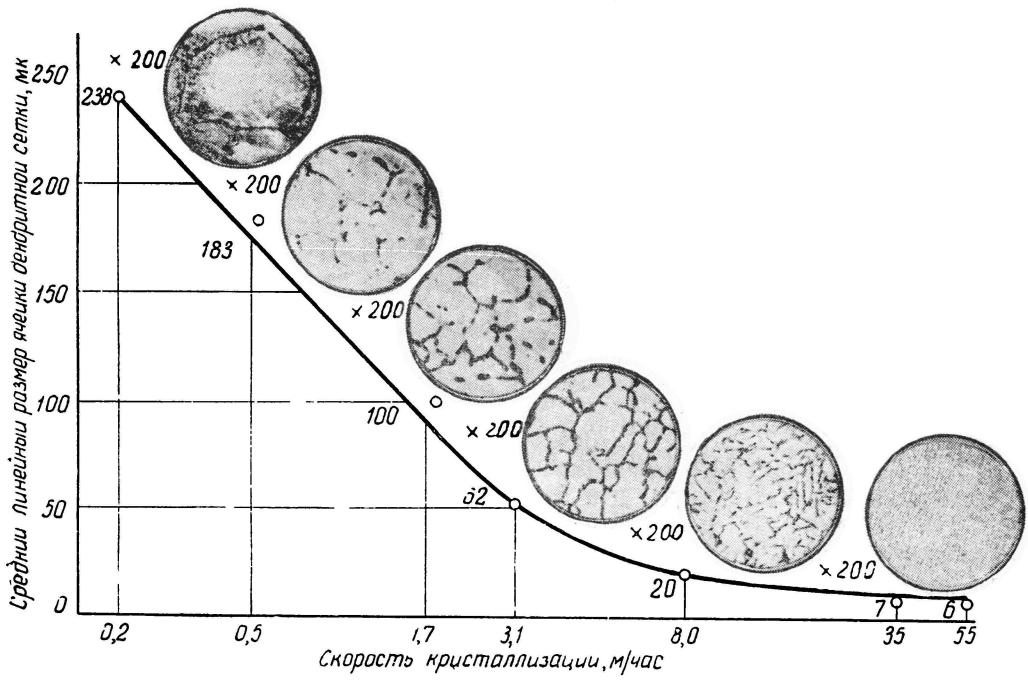


Рис 16 Зависимость степени измельчения структуры от скорости кристаллизации (В. И Добаткин)

Предел прочности на разрыв слитков, отлитых методом полунепрерывного литья, в среднем на 10% выше, чем слитков, отлитых в водоохлаждаемые изложницы, исключительно за счет более высокой скорости охлаждения и кристаллизации металла (рис. 16).

Увеличение скорости кристаллизации улучшает структуру слитка вследствие более равномерного распределения в ней интерметаллических фаз, большей общей поверхности их соприкосновения с твердым раствором, более тонкого строения зерна слитка. Результатом этого является улучшение механических свойств не только литого металла, но также и готового закаленного листа, прошедшего прокатку и все отделочные операции (рис. 17).

Трещинообразование при литье ставит определенный предел как толщине слитка в зависимости от скорости литья, так и соотношению размеров ширины к толщине плоского слитка при данной скорости литья.

Оптимальная скорость литья сплавов типа дуралюмин и В95 определяет наиболее выгодную толщину слитка в пределах 200—300 *мм*, которая и является общепринятой. При литье пластичных сплавов (АД1, АМг, АМц) толщина слитка может достигать 400 *мм*. Ширина слитка имеет тенденцию к непрерывному росту.

Если в начале внедрения метода полунепрерывного литья отношение ширины к толщине составляло 3—4, то теперь это со-

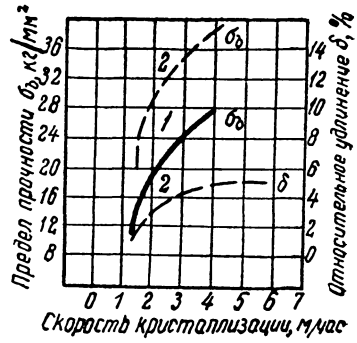


Рис. 17. Влияние скорости кристаллизации на механические свойства (средние значения) слитков (*1*) сплава Д16 и листов (*2*) из этих сплавов

отношение достигает 5—6 и даже 7,6, т. е. для прочных сплавов (Д1, Д16, В95) ширина слитков равняется 900—1500 *мм*. Длина слитков составляет 2,5—7 *м*. Некоторые типичные размеры современных слитков приведены в табл. 72.

Таблица 72

Размеры и вес слитков алюминиевых сплавов, отливаемых методом полунепрерывного литья [1]

Местонахождение завода	Группа сплавов[1]	Размеры слитка, *мм*				Вес слитка m	Количество одновременно отливаемых слитков
		толщина, h	ширина b	$\frac{b}{h}$	длина l		
СССР	Д1. Д16; АМг3; АМг5	205	1400	6,84	6000	4,83	2
	АМц; АД1; АМг; АВ	200	1280	6,4	6000	4,3	2
Иссуар (Франция)	Д1; Д16; В95	220	1100	5,0	7000	4,72	2
	АД1; АМг	325	1100	3,4	7000	7,0	2
	Д1; Д16; В95	500	500	1,0	2000	1,4	2
Роджерстоун (Англия)	Д1; АК8; АМц; АД1	203	1220	6,03	3050	2,12	2
		238	1220	5,13	2240	1,82	2
		305	1520	5,0	3100	4,00	1
Луизвилл (США)	Д1; Д16; В95	300	1000	3,33	2650	2,23	2
	АД1; АМц и др.	400	1150	2,88	2650	3,42	2
	АМг5 и др.	200	900	4,5	2650	1,35	2
Давенпорт (США)	Д1; Д16, В95	300	1200	4,0	3300	3,32	3
	АД1; АМц и др.	400	1750	4,37	3800	7,45	2
Трентвуд (США)	Д1; Д16	203	1540	7,6	2750	2,4	3
	Д1: Д16	250	1100	4,4	2800	2,16	3
Фингспонг (Швеция)	Д1; Д16	200	1050	5,25	3400	2,0	—
Равенсвуд (США)	АД1; АМц; АМг и др.	406	1120	2,76	3660	4,54	2

[1] Для зарубежных заводов указаны марки, близкие по составу сплавам, изготовляемым в СССР.
[2] Для всех сплавов условно принят удельный вес $\gamma = 2{,}8$ *кг/дм*³.

При литье плоских слитков наблюдается неравномерная усадка: середина больших граней получает большую усадку, чем края. Для компенсации этого явления с целью получения параллельности больших граней слитка большие стороны кристаллизатора делают выпуклыми: примерно на 3—5 *мм* на сторону. Малые грани слябов с целью снижения концентрации напряжений выполняют закругленными.

3. ПОДГОТОВКА СЛИТКОВ ПРОЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ К ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ

Технология горячей обработки прочных алюминиевых сплавов (типа дуралюмин и В95) в значительной степени определяется сложностью их фазового состава. При их затвердевании образуется большое количество интерметаллических соединений, причем компоненты и примеси соединяются не только с основой сплава — алюминием, но и друг с другом.

Кристаллизация этих сплавов происходит в широком диапазоне температур, при этом первым из расплава выпадает обедненный твердый раствор, а низкоплавкие хрупкие интерметаллические соединения, нарушающие однородность слитка, выпадают в последнюю очередь и располагаются между ветвями дендритов.

В областях, затвердевающих последними, т. е. на границах кристаллитов, иногда появляются поры и пустоты. Если при этом расплав содержал газы, то поры могут заполниться водородом. Поры могут оказаться закрытыми со всех сторон, выход газа из них будет невозможен, тогда в процессе деформации они не заварятся и при термической обработке из них может вырасти пузырь.

Сложностью фазового состава сплавов объясняются следующие, свойственные этим сплавам, особенности обработки:

1. Гомогенизирующий отжиг слитков, необходимый для снятия напряжений, возникающих во время литья, и устранения очень сильной внутрикристаллической ликвации, появляющейся при затвердевании.

2. Фрезерование поверхности слитков для удаления ликвационных наплывов, развивающихся при затвердевании вследствие наличия в составе сплавов легкоплавких фаз и эвтектик.

3. Плакирование чистым алюминием, необходимое вследствие того, что сложный фазовый состав создает в сплавах большое количество гальванических микроэлементов. Под действием агрессивных сред (влаги, морской атмосферы) начинается коррозия, сопровождающаяся быстрым снижением прочности. С целью защиты от действия коррозии и применяется плакирование слитков чистым алюминием.

4. Необходимость строгого температурного контроля при нагреве вследствие высокой чувствительности сплавов к перегреву. Перегрев вызывает оплавление низкоплавких эвтектик, расположенных по границам зерен, что сопровождается образованием горячих трещин и резким падением механических свойств изделий.

5. Отжиг с очень медленным охлаждением перед холодной прокаткой, необходи-

Таблица 73

Различные варианты технологии подготовки слитков прочных сплавов алюминия к прокатке

Варианты технологии		
первый	второй	третий
1. Фрезерование 2. Наложение плакирующих планшет 3. Гомогенизирующий отжиг совместно с нагревом перед прокаткой 4. Первая горячая прокатка на обжимном стане с толщины 200 *мм* до толщины 90 *мм* 5. Обрезка переднего и заднего концов полосы и резка на части 6. Подогрев сляба 7. Вторая горячая прокатка до толщины около 3 *мм* на черновом стане и отделочной многоклетевой линии	1. Холодная резка литого слитка на части с обрезкой концов 2. Фрезерование 3. Наложение плакирующих планшет 4. Гомогенизирующий отжиг совместно с нагревом перед прокаткой 5. Горячая прокатка до конечной толщины 6 *мм*	1. Гомогенизирующий отжиг 2. Прогладка горячая на двухвалковом стане с незначительными обжатиями с целью выравнивания больших граней перед фрезеровкой 3. Правка горячая на роликовой правильной машине 4. Горячая резка слитка на части с обрезкой концов 5. Фрезерование 6. Наложение плакирующих планшет 7. Нагрев перед прокаткой 8. Горячая прокатка до конечной толщины 6 *мм* и тоньше при наличии непрерывной линии

мый для укрупнения мелкодисперсных упрочняющих фаз, не полностью выпадающих в процессе горячей обработки и вызывающих частичную закалку.

Как следует из этого, операции горячей прокатки слитков прочных алюминиевых сплавов, отлитых полунепрерывным методом, должен предшествовать ряд подготовительных операций.

Существует несколько вариантов технологии, предусматривающих различную последовательность выполнения этих операций.

В табл. 73 приведено три варианта технологии подготовки слитков из прочных сплавов алюминия, наиболее часто применяемых на практике.

Из трех вариантов технологии второй требует минимума подготовительных операций. Для его осуществления необходим, однако, слиток, свободный от больших литейных напряжений, могущий выдержать сразу после литья холодную резку. Если такой слиток не удается получить, то эта технология дает повышенное количество отходов.

Последний из трех вариантов по сравнению с предыдущими включает дополнительные операции: прогладку гомогенизированного слитка, последующую роликовую правку и обязательное разделение операций гомогенизации и нагрева перед прокаткой.

Операция прогладки необходима для раскатывания ликвационных наплывов, имеющихся на поверхности слитков, и для устранения последствий неравномерной усадки слитков, когда их большие грани становятся непараллельными одна другой. Основное назначение этой операции — уменьшение съема металла при последующей фрезеровке.

Обычно прогладку слитков дуралюмина Д1 и Д16 производят на реверсивных двухвалковых станах (специальных прогладочных) или четырехвалковых (для горячей прокатки) за 5—7 проходов с обжатием по 1—2 *мм* за каждый проход. Практика показала, что операцию прогладки можно с успехом выполнить на правильной машине с усиленными роликами.

Несмотря на некоторое увеличение производственных площадей и установку дополнительного оборудования, третий вариант во многих случаях является экономически оправданным, так как он приводит к увеличению выхода годного.

1. Фрезерование

Поверхность литых слитков алюминиевых сплавов содержит ликвационные наплывы, иногда включения шлака, плены и холодные трещины. Однофазные сплавы или чистые металлы при полунепрерывном литье, как правило, не дают ликвационных наплывов. Например, у алюминия чистоты 99,99% ликвационных наплывов не образуется. Наоборот, многофазные сплавы, имеющие в составе легкоплавкие фазы, ликвируют в сильной степени.

Ликвационные наплывы могут содержать повышенное количество одних элементов и пониженное других. Непосредственно под наплывами, которые обогащаются ликвирующими элементами, иногда возникают зоны, обедненные этими элементами. В дуралюминах наиболее ликвирующими элементами являются медь и магний, в то время как марганец почти совершенно не ликвирует. В сплаве АД1 ликваты могут содержать до 1,8% железа при содержании 1—2% кремния; в сплавах, содержащих медь,— до 30% меди.

При температурах горячей прокатки пластичность ликвационных наплывов мала, и во время деформации они растрескиваются и разваливаются. Ликваты на поверхности слитка служат помехой для качественной приварки планшет, а при последующей обработке могут вызвать диффузионный переход ликвирующих компонентов в плакирующий слой, что понизит коррозионную стойкость листа.

Поэтому ликвационные наплывы должны быть целиком удалены с поверхности слитков, для чего слитки подвергают сплошной двусторонней фрезеровке со снятием с каждой стороны слоя 3—10 *мм* в зависимости от химического состава сплава.

Слитки прочных плакируемых сплавов обычно фрезеруют на глубину 5—10 *мм*, слитки пластичных неплакируемых сплавов — на глубину 3—5 *мм*.

Алюминиевые сплавы с точки зрения обрабатываемости резанием по сравнению с тяжелыми цветными и черными металлами обладают следующими преимуществами:

1. Высокой стойкостью режущего инструмента при фрезеровке алюминиевых сплавов (стойкость твердосплавных резцов при скоростном фрезеровании составляет 5—7 час. для твердого сплава марки Т15К6У).

2. Возможностью фрезерования при высоких скоростях, достигающих 1000—2000 *м/мин*, с подачей 0,1—0,4 *мм/зуб*.

3. Получением чистой поверхности. Фрезерованные слитки имеют обычно гребешки — следы от инструмента, не превышающие 0,1 *мм*, что вполне достаточно для последующего качественного плакирования.

Эти особенности алюминиевых сплавов объясняются их сравнительно невысокой прочностью и твердостью, а также большой теплопроводностью, в результате чего режущий инструмент мало нагревается при работе.

При фрезеровке неплакируемых сплавов фрезу охлаждают водяной эмульсией, тогда как твердые сплавы, подвергающиеся плакированию, обычно фрезеруют всухую.

Для фрезеровки слитков используют специальные торцефрезерные станки с горизонтальным или вертикальным шпинделем.

Наиболее широкое распространение в промышленности получили горизонтально-шпиндельные станки. Горизонтально-шпиндельные станки снабжаются гидроцилиндрами для закрепления слитка на столе, авто-

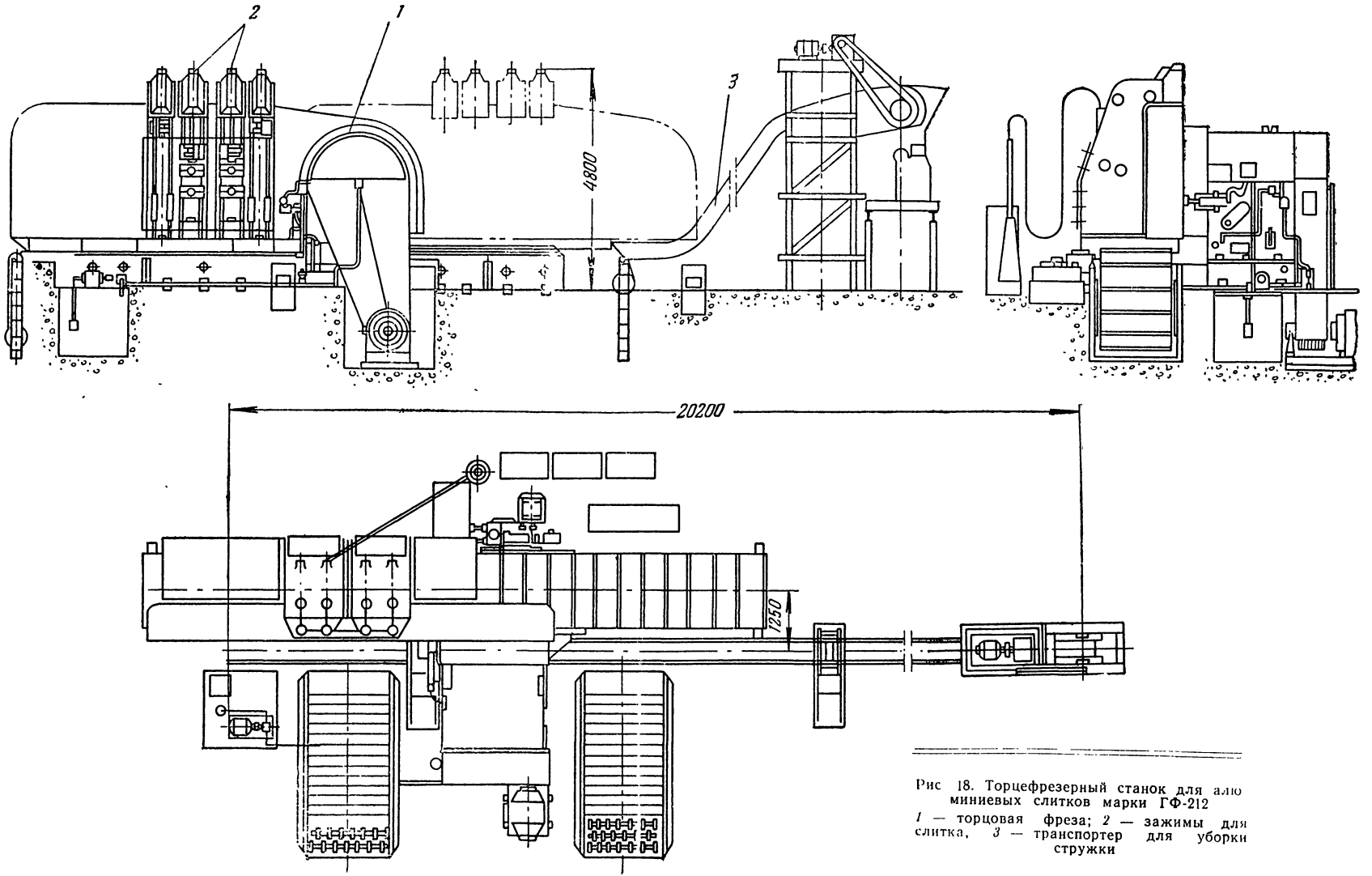


Рис 18. Торцефрезерный станок для алюминиевых слитков марки ГФ-212

1 — торцовая фреза; *2* — зажимы для слитка, *3* — транспортер для уборки стружки

Таблица 74

Характеристика торце-фрезерных станков для обработки слитков алюминиевых сплавов

Тип станка	Горизонтально-шпиндельный	Горизонтально-шпиндельный	Вертикально-шпиндельный
Марка станка	ГФ—212 (СССР)	«Ингерсол» (США)	«Холройд» (Англия)
Диаметр фрезы, *мм*	2100	1730	1316
Скорость вращения фрезы, об/мин	230	187	150 и 300 или 225 и 450
Скорость резания, *м/мин*	1500	1000	600 и 1200 или 900 и 1800
Пределы рабочих подач, *мм/мин*	510—2900	39—1850	254—1520
Скорость холостого хода стола, *мм/мин*	6050	—	3492
Глубина резания максимальная, *мм*	8	8	—
Мощность привода фрезы, *квт*	180	147	26/51
Мощность привода подачи, *квт*	20	1—5,1 1—14,7	1—2,2 1—4,4
Размеры слитка, *мм*:			
толщина	100—300	50,8—400	177—254
ширина	1000—2000	910—1620	660—1220
длина	1000—2700	900—2540	1270—1830
Вес слитка, *кг*	До 5000	—	До 500

матическим упором, устанавливающим фрезу для фрезеровки на заданную глубину, манипуляторными столами для загрузки, переворачивания и разгрузки слитков со станка и конвейером для уборки стружки.

За рубежом на некоторых заводах еще применяются вертикально-шпиндельные станки.

Обычно они не имеют устройств для сбора и отвода стружки, установка и переворачивание слитка на другую сторону на них не механизируется, мощность привода фрезы на этих станках значительно меньше, чем на горизонтально-шпиндельных — все это способствует тому, что вертикально-шпиндельные станки постепенно заменяются горизонтально-шпиндельными.

В табл. 74 приведены сравнительные характеристики трех фрезерных станков для фрезеровки слитков, применяемых в промышленности, а на рис. 18 — общий вид современного торце-фрезерного станка марки ГФ-212.

2. Плакирование

Плакированные изделия представляют собой биметалл, состоящий из сердцевины — прочного алюминиевого сплава, покрытой с обеих сторон тонким слоем коррозиеустойчивого алюминия или его гомогенного сплава, причем толщина этого слоя (с одной стороны) обычно составляет 2,5—10% полной толщины изделия (в среднем 5%).

Состав плакирующего материала по отношению к легированной сердцевине подбирают таким образом, чтобы в условиях действия агрессивных сред, например в электролите, плакирующий слой служил анодом и защищал сердцевину электрохимически не только по заплакированной поверхности, но и на срезах листового материала или же при неглубоких царапинах и повреждениях плакировки. В коррозионной среде ток протекает от покрытия (анод) через электролит к прочной сердцевине (катод) и покрытие при этом растворяется, предохраняя сердцевину от разрушения.

Степень защиты при длительном действии корродирующей среды зависит от создающейся разницы потенциалов, а также от электропроводности коррозионного раствора, толщины образующейся пленки и степени поляризации.

По отношению к сплаву алюминия с 4% меди чистый алюминий в водном растворе поваренной соли является анодом с электродным потенциалом около 0,15 *в*.

Магний и цинк, присутствующие в твердом растворе дуралюмина, значительно повышают электродный потенциал, т. е. снижают сопротивление коррозии плакированного листа. Марганец и Mg_2Si на него существенно не влияют.

Для плакирования листов сплавов марки Д1 и Д16 применяется наиболее чистый от примесей железа и кремния сорт алюминия А1 по ГОСТ 3549—55, в котором допускается дополнительное содержание меди и цинка в сумме до 0,05%, магния до 0,05% и марганца до 0,05%.

В Германии для плакирования дуралюмина применялся сплав с 1% марганца и 0,5% магния, в США — сплав, содержащий 0,7% магния и 0,9% кремния.

Для плакирования листов из сплава В95 рекомендуются сплавы алюминия с 3,5% $MgZn_2$ или с 1% цинка. Первый сплав дает более устойчивую защиту, а второй является более технологичным. Для плакирования листов из сплава АК-8 в иностранной практике используются термически упроч-

няемые сплавы системы алюминий — кремний — магний.

А. И. Колпашниковым была проведена в промышленных условиях работа по плакированию дуралюмина марки Д16 сплавом АМг, показавшая, что такой материал обладает несколько лучшими механическими и коррозионными свойствами, чем обычный сплав Д16, плакированный алюминием [2].

Получение плакированных листов осуществляется в настоящее время методом горячей прокатки сляба совместно с плакировочными планшетами, накладываемыми на фрезерованные поверхности сляба. Процесс представляет собой сварку давлением в валках прокатного стана. Сварка осуществляется в первых двух проходах при деформации сляба вместе с планшетой.

Во время горячей прокатки пленки окислов, покрывающие поверхность металла, разрушаются, материалы, лишенные окислов, соединяются и свариваются вместе под влиянием нагрева и высокого давления. Образуется лист с сердцевиной, состоящей из прочного сплава, и двумя наружными слоями из плакирующего защитного материала. В горячекатаной полосе связь сердцевины с плакирующим слоем настолько сильна, что отсутствует видимая линия раздела двух металлов.

По ГОСТ 4977—49 толщина плакирующего слоя для листов из сплавов Д1 и Д16 тоньше 2,5 *мм* должна быть не менее 4%, для листов толще 2,5 *мм* — не менее 2% со стороны. На практике при толщине фрезерованного сляба около 200 *мм* обычная толщина плакировочной планшеты берется равной 9,5—10 *мм*, ширина планшеты обычно принимается равной ширине сляба. При таком соотношении толщины планшеты и сляба в первых проходах большей деформации подвергается плакирующий лист. Поэтому длину плакирующей планшеты обычно принимают короче длины сляба на 25—30%. После первых проходов вся длина сляба закрывается плакирующим алюминием.

Основными дефектами, возникающими в плакированных листах вследствие нарушений технологии, являются:

1) появление пузыря между плакировкой и основным металлом;

2) повышенная диффузия меди в плакирующий слой;

3) закаты ликватов, царапины и другие механические повреждения плакировки.

Чтобы избежать образования пузырей и неприваривания планшет, необходимо следить за чистотой плоскости контакта между плакирующим планшетом и слябом. Для этого применяется механическая или химическая чистка планшет, фрезерование без эмульсии или тщательная очистка и обезжиривание поверхности слябов, кроме того, необходимо быстрое наложение планшет на слиток, чтобы уменьшить возможность попадания пыли до начала прокатки. Важно также, чтобы при быстром нагреве холодного сляба исключалась возможность попадания между слябом и планшетой конденсата паров, поэтому недопустима посадка плакированных слябов в холодную печь. По этой причине нежелательно применение печей, работающих на жидком топливе, так как создается возможность попадания под плакирующий слой углеродистых соединений. Кроме того, при первых двух проходах прокатки на горячем стане необходимо полное прекращение подачи эмульсии.

Обезжиривание слитков и планшет иногда не производят, так как при длительном высокотемпературном нагреве при гомогенизации, соединенной с нагревом под прокатку, полностью выгорают все жиры и качество плакировки не снижается.

Если для плакирования применяются планшеты большой толщины, например при прокатке более толстых слябов или в связи с необходимостью увеличения толщины плакирующего слоя, то приваривание планшет возможно лишь в том случае, когда деформация проникнет вглубь за линию контакта между слябом и плакирующим слоем.

Плакирование тяжелых слябов алюминиевых сплавов в наиболее современных цехах производят на специальных механизированных линиях. Комплект оборудования, установленного на одной из таких линий, включает:

1) подающий рольганг;

2) моечно-сушильный агрегат, состоящий из камеры для промывки слитков горячим (90°) раствором соды; чистильных щеток из стальной проволоки, вращающихся со скоростью 172—278 об/мин; отжимных гуммированных роликов; камеры для промывки слитков горячей водой с напором 60 *м*; отжимных роликов и сушильного устройства с подачей горячего воздуха от парового калорифера. Скорость продвижения слитков через агрегат 0,9—2,7 *м/мин*;

3) укладчик планшет, состоящий из рамы с 18 вакуумными присосками диаметром 150 *мм* и передвигаемый по рельсам над стопкой планшет и участком рольганга линии;

4) переворачивающий барабан для кантовки слитка, заплакированного с одной стороны, на 180°;

5) второй укладчик планшет такого же типа, как и первый, на котором слиток плакируется с другой стороны.

Пройдя через эту линию, слитки с планшетами подаются по рольгангу к нагревательным печам.

С 1957 г. внедрена технология плакирования боковых граней слитков из высокопрочных алюминиевых сплавов с целью улучшения качества боковых кромок ленты. Для этого слитки закрывают планшетами, ширина которых больше ширины слитка на 30—50 *мм* [3].

При прокатке в первых двух проходах напуски планшет изгибаются к центру слитка, а последующая эджеровка обеспечивает хорошую приварку алюминия к боковым граням. Горячекатаная полоса с плакиро-

ванными кромками не имеет трещин, это исключает необходимость обрезки боковых кромок. Значительно улучшается качество кромок и у холоднокатаных лент (вплоть до толщины 0,7 *мм*). Как показывают микрофотографии, небольшие трещины, образующиеся на кромке основного металла, завариваются пластичным алюминием и не выходят наружу.

Введение плакирования боковых граней слитков позволяет исключить обрезку растрескавшихся кромок ленты и за этот счет поднять выход годного на 6—7%.

3. Гомогенизирующий отжиг и нагрев перед прокаткой

Высокие скорости кристаллизации при полунепрерывном литье приводят к сильному развитию внутрикристаллической ликвации, т. е. к значительной неоднородности слитка по структуре и химическому составу. Структура слитка состоит из дендритов, оси которых во время кристаллизации растут первыми и содержат относительно мало легирующих компонентов, тогда как межосные пространства значительно обогащены ими. Образуется сетка, состоящая из хрупких эвтектик. Слитки с такой структурой мало пластичны.

Целью гомогенизации является уменьшение этой неоднородности и снятие остаточных термических напряжений, возникающих при полунепрерывном литье с резким охлаждением. В результате гомогенизации происходит значительное возрастание пластичности слитка, что делает его более пригодным для горячей обработки (прокатки, ковки и прессования).

Технология гомогенизации состоит в нагреве слитков до температуры на 20—40° ниже температуры плавления низкоплавких эвтектик и выдержки при этой температуре в течение нескольких часов. При нагреве растворимые составляющие переходят в твердый раствор и в результате диффузии происходит выравнивание концентраций легирующих компонентов по зерну.

Составляющие с плохой растворимостью в твердом растворе остаются главным образом между ветвями дендритов, но они проявляют склонность к сфероидизации и собиранию в частицы больших размеров с потерей игольчатого строения.

При последующем охлаждении твердый раствор распадается, но химические соединения выделяются мелкораспределенными по всей массе сплава, а при следующем нагреве они легко растворяются.

Типичные режимы гомогенизации, на основе практики США, приведены в табл. 75 [1].

Слитки алюминия, идущие для производства алюминиевой фольги (прокатываемой из заготовки толщиной 0,7 *мм* до толщины 7—9 *мк* без промежуточных отжигов), в иностранной практике подвергаются гомогенизирующему отжигу в течение 24 час. при 560°.

Таблица 75

Режим гомогенизации слитков алюминиевых сплавов

Марка сплава	Температура металла, °С	Время выдержки металла при указанной температуре, час.
АД1	Гомогенизация обычно не требуется	—
АМц	510—520	4—6
Д1, Д16, АК8	480—510	4—12
АМг, АК5	480—510	4—8

В работе, выполненной А. И. Колпашниковым и В. Д. Королевым [3], дается оптимальный режим гомогенизации слитков из сплавов Д1 и Д16 в современных электрических печах с искусственной циркуляцией воздуха; температура гомогенизации 500 ± 5°, время нагрева до этой температуры 6—7 час., время выдержки при данной температуре 6—10 час.

При некоторых технологических режимах гомогенизирующий отжиг совмещают с операцией нагрева перед горячей прокаткой. В этом случае перед выдачей металла из печей необходимо понизить его температуру. Величину максимальной температуры, при которой можно вести прокатку, устанавливают с учетом структурного строения сляба. Присутствующие в прочных сплавах сложные низкоплавкие эвтектики обусловливают прокатку при более низких температурах. Если превысить допустимые температуры, то в районе эвтектик создаются хрупкие ослабленные участки и в результате деформации возникают горячие трещины. Для пластичных сплавов, у которых это ограничение отсутствует, допускаются более высокие температуры нагрева.

Если учесть все сказанное, прокатку слитков следует вести при максимальных температурах, при которых металл имеет наибольшую пластичность. Высокие температуры, кроме того, благоприятно влияют на размер зерна. Установлено, что чем выше температура горячей прокатки, тем меньше размер зерна после отжига.

Нижний предел температур нагрева обусловлен тем, что пластичность литого сляба быстро падает с понижением температуры прокатки. Низкие температуры особенно недопустимы в первых проходах, когда слиток имеет недеформированную структуру. При захолаживании слитка начинается процесс трещинообразования. На поверхности трещины образуются в виде мелкой сетки, на кромках — в виде глубоких надрывов. Прокатка при низких температурах не допускает применения больших обжатий за проход, которые уменьшают стремление

Таблица 76

Типичные пределы температур горячей прокатки алюминиевых сплавов [1], °С

Марка сплава	Листы и плиты		Прутки, проволока и конструкционные профили			
	обжимные клети для слитков и слябов	станы непрерывной прокатки листов	блюминги, обжимные станы	непрерывные станы для мелких прутков и проволоки	станы для больших прутков и конструкционных профилей	сортовой прутковый стан
АД1, АМц	495—400	455—150	455—400	425—340	470—425	440—400
АМг	495—400	455—260	455—400	425—340	—	440—400
Д1, Д16, АК8	455—400	455—315	455—400	425—345	470—405	440—400
АВ, АК5	455—400	455—345	455—410	425—345	470—425	440—400
В95	465—400	455—260	—	—	—	—

слитков к раскрытию и обеспечивают получение мелкозернистой структуры в готовом листе. Снижение температуры в процессе прокатки уже не приводит к дефектам, так как структура сплава становится деформированной.

Температурно-скоростные условия горячей прокатки определяют структуру горячекатаной заготовки, т. е. размер и ориентацию зерен, что в свою очередь влияет на свойства заготовки после отжига—ее прочность и пластичность. Для получения постоянства этих свойств необходимо стремиться выдерживать температурные пределы прокатки.

Из сказанного следует, что нахождение оптимальной температуры горячей прокатки, зависящей от механических и структурных свойств слитка и в большой степени от конструкции и механизации прокатного стана и адъюстажного оборудования, является сложной задачей. Вследствие этого в каждом отдельном случае эту температуру целесообразно определять экспериментально. Некоторые типичные температурные пределы горячей прокатки алюминиевых сплавов, применяемые на практике, приведены в табл. 76.

Печи для гомогенизации

При гомогенизации необходим быстрый и равномерный нагрев металла по всему сечению до температур, указанных в табл. 75, и выдержка его при этих температурах в пределах, указанных в той же таблице. Если слиток после гомогенизации поступает в прокатку, то в конце нагрева необходимо снизить температуру до верхнего предела, указанного в табл. 76.

Применение при гомогенизации в качестве топлива генераторного газа не рекомендуется, так как даже сухой и очищенный газ может содержать пары воды, которые могут быть причиной диффузионного проникновения водорода в металл и появления пузырей.

Таблица 77

Характеристика электрических колодцев для гомогенизации

Показатели	Для одного колодца	Для блока из 4 колодцев
Время нагрева слитков, час., весом *т*:		
3,7	12	12
4,7	14	14
Время выдержки слитков, час.	12	12
Температура нагрева слитков, °С	490±5	490±5
Производительность печи по нагреву слитков весом 3700 *кг*, *кг/час*	1200	4800
Установленная мощность, *квт*	720	2880
Количество вентиляторов, шт.	4	16
Производительность вентилятора, *м³/час*	57000	—
Количество циркулирующего воздуха в колодце, *м³/час*	228000	—
Скорость движения воздуха в печи, *м/сек*	11—12	—
Общая мощность электродвигателей вентиляторов, *квт*	160	640
Размеры слитков, *мм*	200×1400×5000—6390	
Вес слитков, *кг*	3700—4700	

Для гомогенизации обычно применяют электрические шахтные печи. Слитки в этом случае устанавливают в вертикальном положении на некотором расстоянии друг от друга или укладывают горизонтально стопкой.

В табл. 77 приведена характеристика современных электрических гомогенизационных колодцев (рис. 19).

осторожному транспортированию слитков через печь.

В конвейерных печах слитки следует укладывать на подкладки, в толкательных — на металлические поддоны. При необходимости увеличить съем с 1 $м^2$ пода печи применяют толкательные печи, в которых слитки устанавливают в специальных поддонах на ребро.

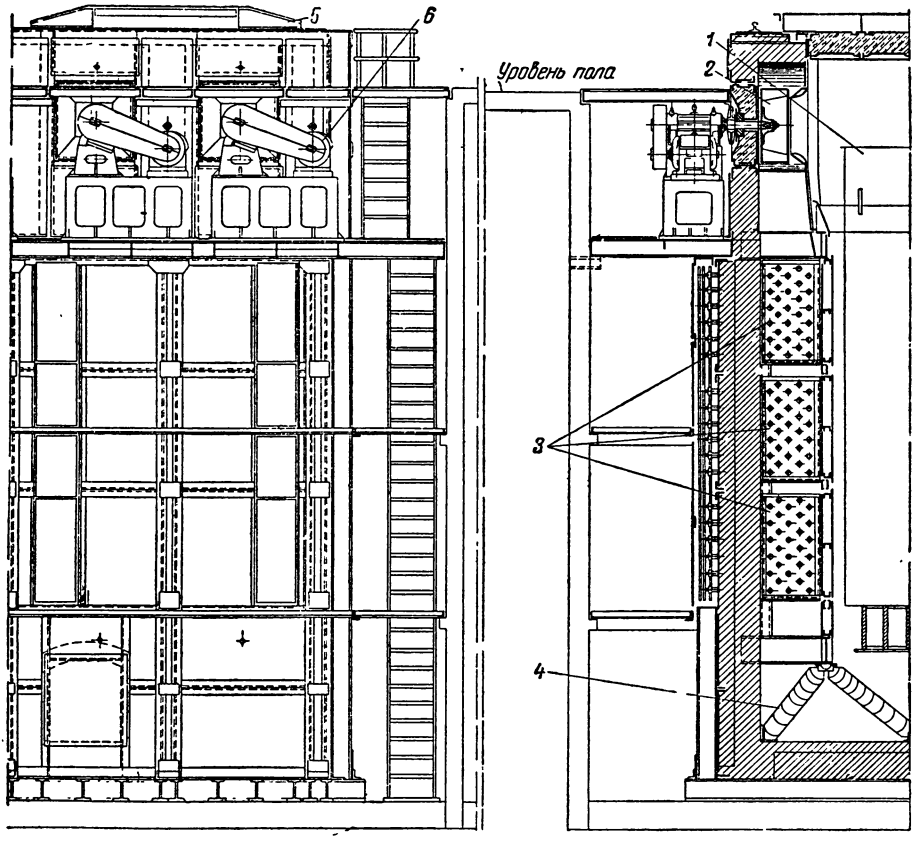


Рис. 19. Вертикальные разрезы электрического колодца для гомогенизации.
1 — нагреваемый слиток; *2* — вентиляторы для циркуляции воздуха; *3* — нагревательные элементы; *4* — направляющие лопатки для воздуха; *5* — крышка колодца; *6* — привод вентиляторов

Нагревательные печи

Слитки перед прокаткой можно нагревать независимо от гомогенизации в специальных печах до температур, указанных в табл. 76.

Наиболее распространены методические печи с продвижением слитка на цепных конвейерах или толкателями на поддонах.

Так как нагретый алюминий очень пластичен и его поверхность может быть легко повреждена, особое внимание уделяется

Высокая теплопроводность металла и низкая температура слитка в начале нагрева позволяют применять в начальных зонах печи большой теплозой напор: у входа температуру теплоносителя поддерживают около 600°, на стороне выдачи ее устанавливают на величину, допустимую для слитка. Такой график нагрева по длине печи легко осуществить в печах с поперечной циркуляцией воздуха. Скорость циркуляции воздуха в таких печах составляет 4—7 *м/сек*.

В табл. 78 приведены характеристики двух современных печей для нагрева слитков алюминиевых сплавов (рис. 20).

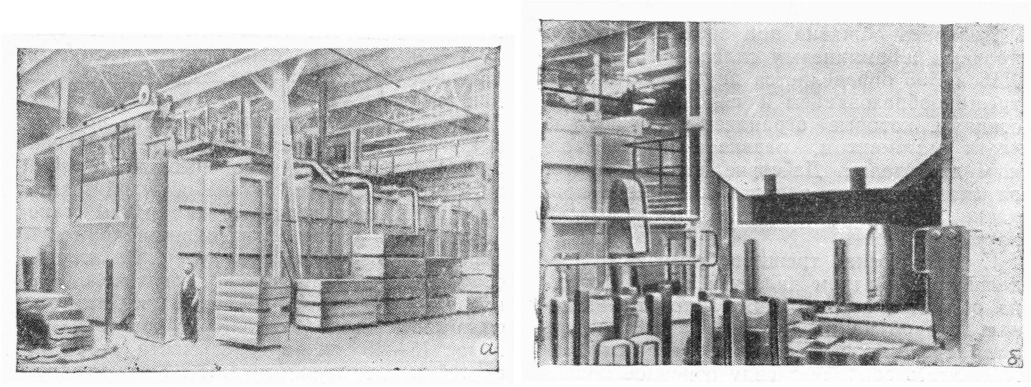


Рис. 20. Электропечь для нагрева слитков перед прокаткой:
а — общий вид; *б* — загрузочная сторона

Таблица 78

Характеристика печей для нагрева слитков из алюминиевых сплавов перед прокаткой

Показатели	Тип печи	
	газовая толкательная	электрическая толкательная
Установленная мощность, *квт*	—	3750
Расход газа, *м³/час*	1450	—
Калорийность газа, *ккал/м³*	1730	—
Количество нагревательных зон	8	6
Общая мощность электродвигателей вентиляторов, *квт*	36,8	90
Емкость печи:		
т	36,5	100
штук слитков	19	33
Размеры рабочей камеры печи, *м*:		
длина	15,5	17,25
ширина	2,75	—
высота	1,83	2,5
Наибольшие размеры слитков, *мм*	230×1220×2440	230×1525×3200
Наибольший вес слитков, *кг*	1900	3000
Схема расположения слитков в печи	На поддонах в горизонтальном положении	На поддонах в вертикальном положении
Схема движения воздуха в печи	Продольная	Поперечная

§ 4. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

Задачей горячей прокатки является превращение сляба исходной толщины 200—300 *мм* в горячекатаную полосу толщиной 2,5—8 *мм*, являющуюся заготовкой для холодной прокатки.

Прокатку следует вести с максимальными обжатиями за проход. Помимо высокой производительности, большие обжатия обеспечивают получение металлургических преимуществ: уменьшается тенденция к раскрытию слитков и заготовка получается с минимальным размером зерна. Кроме того, благодаря быстрому протеканию процесса и тепловому эффекту деформации прокатка заканчивается при более высоких температурах, что облегчает процесс деформации в валках и снижает расход энергии.

Сплавы марок АД1, АВ и АМц обладают высокой деформируемостью и при прокатке их обычно не происходит растрескивания кромок и трещинообразования на поверхности.

В экспериментальных исследованиях при прокатке образцов из сплавов АД1 и АВ достигалось обжатие в 83% за проход без трещинообразования. Однако на практике обжатие сверх 60% делает боковые кромки полосы сильно шероховатыми вследствие большого уширения.

Скорость прокатки не оказывает влияния на трещинообразование.

Величина обжатия при прокатке высокопрочных алюминиевых сплавов марок Д1, Д16 и В95 определяется двумя факторами: трещинообразованием и силовыми воздействиями, которые ограничены прочностью клети и моментом, развиваемым приводным двигателем. Действие первого фактора сказывается в начальном периоде прокатки, второго—в течение всего цикла прокатки.

С точки зрения трещинообразования предельным обжатием является такая величина обжатия, при незначительном превышении которой на поверхности сляба появляются трещины или сильные разрывы кромок. Здесь сохраняет силу основное правило: чем выше склонность слитка к гомогенизации, тем лучше его деформируемость.

Существенные усовершенствования, внесенные за последние годы в методы литья, настолько улучшили качество слитка, что по металлургическим условиям величина обжатия ограничивается лишь в первых 3—5 проходах, в которых производится приварка планшет (при прокатке плакированных слябов) и приходится опасаться растрескивания граней. Кроме того, применение очень больших обжатий в начале прокатки ограничивается из-за налипания металла на валки, особенно при прокатке сплава В95.

В отношении скорости прокатки следует отметить, что в первых проходах не рекомендуется применять скорость прокатки больше 1,0—1,2 *м/сек*, особенно при больших обжатиях, так как вследствие интенсивного налипания значительная часть наружной поверхности полосы может покрыться трещинами.

При дальнейшей прокатке величина обжатий лимитируется только углом захвата и величиной усилий, возникающих при прокатке. Поэтому обжатия по проходам обычно распределяются таким образом, что в начале прокатки они равны 8—10%, а затем они увеличиваются по мере дробления литой структуры и возрастания пластичности сляба, достигая 45% и более в последних проходах.

Прокатка широкой заготовки из прочных алюминиевых сплавов с применением высоких обжатий за проход сопровождается очень большими давлениями металла на валок, достигающими 1000 *т* и более на 1 *м* ширины прокатываемой полосы. Это требует применения особопрочных клетей с большим крутящим моментом приводного двигателя.

При обжимной горячей прокатке получаются заготовки для дальнейшей холодной прокатки или для непрерывной горячей прокатки. В первом случае обычной технологией является прокатка на горячем стане до толщины полос 6 *мм*, обрезка кромок и концов и свертывание в рулон. Во втором случае, когда заготовку прокатывают на непрерывном стане, горячую прокатку на обжимном стане заканчивают при толщине полос 15—25 *мм* (в зависимости от числа клетей непрерывной группы). После непрерывного стана получается заготовка толщиной около 3 *мм*.

Ниже будут рассмотрены особенности горячей прокатки на реверсивных и на полунепрерывных станах, имеющих одну или две обжимные клети и непрерывную группу тандем.

Вес слитка определяется наибольшей шириной, наименьшей толщиной и максимальной длиной горячекатаной полосы. Современное машиностроение предъявляет все возрастающий спрос на листы шириной 2000—2500 *мм*, что и определяет ширину горячекатаной полосы.

Толщина полосы при прокатке на мощных реверсивных четырехвалковых клетях установлена практикой в 6 *мм*. Максимальная длина горячекатаной полосы примерно 50 *м*. Эти условия определяют вес сляба (табл. 79).

Таблица 79

Вес сляба из алюминиевых сплавов, необходимого для получения из него широкой горячекатаной полосы

Ширина готового листа, *мм*	Ширина горячекатаной заготовки (до обрезки кромок) *мм*	Размеры полосы		Вес сляба *кг*
		толщина, *мм*	длина, *м*	
2000	2150	6	50	1800
2500	2650	6	50	2200

Для прокатки тяжелых слябов необходимо иметь мощные реверсивные клети, способные выдерживать большие давления прокатки (в среднем 1000 *т* на 1 *м* ширины прокатываемой полосы), с диаметром валков, обеспечивающим надежный захват и большое абсолютное обжатие. Характеристика такого стана, применяемого для прокатки алюминиевых сплавов, приведена на стр. 442. Его общий вид приведен на рис. 21.

На основании произведенных исследований реверсивного стана горячей прокатки с валками размерами 700/1370 × 2840 *мм* Е. С. Рокотян рекомендует вести прокатку слябов из сплава марки Д16 по примерной схеме, приведенной в табл. 80.

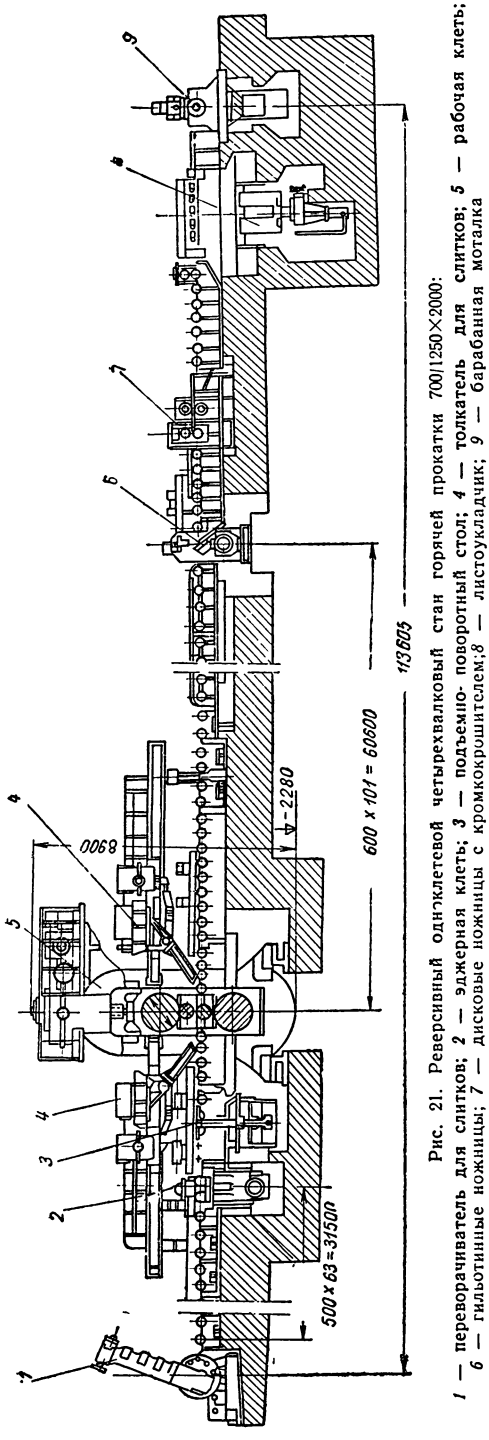


Рис. 21. Реверсивный одноклетевой четырехвалковый стан горячей прокатки 700/1250×2000:
1 — переворачиватель для слитков; *2* — эджерная клеть; *3* — подъемно-поворотный стол; *4* — толкатель для слитков; *5* — рабочая клеть; *6* — гильотинные ножницы; *7* — дисковые ножницы с кромкокрошителем; *8* — листоукладчик; *9* — барабанная моталка

Таблица 80

Обжатия при прокатке слябов из сплава марки Д16

Проходы	Обжатия, %, при ширине, *мм*	
	2150	1330 и 1650
1—4	8—10	10
5—9	15—22	28—25
10—12	23—35	30—40
13	25—30	20—45
14	25	—
15	20	—

В табл. 81 дано примерное распределение обжатий при горячей прокатке слябов из сплава марки Д16 шириной 2150 *мм*, весом 1550 *кг* и начальной толщиной 190 *мм* в лист толщиной 6 *мм* за 15 проходов. Таблица содержит также данные по машинному и вспомогательному времени, позволяющие рассчитать производительность стана.

Во всех проходах, кроме первого, металл проходит через валки при переменной скорости валков: разгоне, торможении и прокатке с установившейся скоростью. Машинное время, приведенное в табл. 81, определено по средним значениям, полученным обработкой осциллограмм. Вспомогательное время взято средним по хронометражным данным. Во избежание возникновения царапин, надиров и других дефектов на очень мягкой поверхности плакированной полосы процесс прокатки вели осторожно этим и объясняются большие величины машинного и вспомогательного времени.

Из табл. 81 видно, что цикл прокатки слябов весом 1550 *кг* занимает 289 сек., или 4,83 мин., что дает максимальную технически возможную производительность стана около 19,3 *т/час*. Фактическая среднечасовая производительность стана, учитывающая неизбежные задержки в работе, получится умножением максимальной часовой производительности на коэффициент 0,8 и составит около 15,5 *т/час*. Увеличение веса сляба (за счет длины) с 1350 до 1800 *кг* может обеспечить повышение производительности на 15—20%, т. е. до 17,5—18,5 *т/час*.

Увеличение производительности реверсивных станов достигается разделением горячей прокатки между двумя клетями, установленными последовательно в одну линию. Помимо того, что растет производительность, разделение клетей позволяет осуществить их специализацию как черновой и чистовой, что должно способствовать улучшению качества выкатки. Для этого необходимо выполнение следующих условий:

1) время прокатки должно распределяться между клетями таким образом, чтобы

Таблица 81

Распределение обжатий при горячей прокатке плакированного фрезерованного сляба размерами 190×2150×1350 *мм*, весом 1550 *кг* из сплава марки Д16 в горячекатаную полосу размером 6×2150×43200 *мм* за 15 проходов на реверсивном четырехвалковом стане с валками размерами 700/1370×2840 *мм*. Скорость прокатки регулируемая: 0±1,5±3,0 *м/сек*

№ прохода	Начальная толщина h_1, *мм*	Конечная толщина h_2, *мм*	Абсолютное обжатие Δh *мм*	Относительное обжатие $\frac{\Delta h}{h_1}$, %	Длина полосы L, *м*	Время прокатки, сек.			Удлинение	
						проход	пауза	общее от начала	за проход λ	суммарное λ_Σ
0	190	—	—	—	1,350	—	—	—	—	1,0
1	190	175	15	7,9	1,48	3,5	4	7,5	1,08	1,08
2	175	160	15	8,6	1,65	3,0	5	15,5	1,09	1,19
3	160	145	15	9,4	1,82	3,5	5	24	1,10	1,50
4	145	130	15	10,4	2,02	2,5	1,5	28	1,11	1,44
—	—	—	—	*Эджеровка в 4 прохода*		10	20	58	—	—
5	130	115	15	11,5	2,27	3,0	6	67	1,13	1,62
6	115	98	17	14,8	2,65	4,0	1,5	72,5	1,17	1,89
—	—	—	—	*Эджеровка в 4 прохода*		10	20	102,5	—	—
7	98	81	17	17,4	3,22	4,5	6	113	1,21	2,30
8	81	64	17	21,0	4,05	4,0	2	119	1,26	2,90
—	—	—	—	*Эджеровка в 4 прохода*		12	20	151	—	—
9	64	47	17	26,6	5,53	7,0	6	164	1,36	3,96
10	47	35	12	25,5	7,41	5,0	6	175	1,34	5,30
11	35	25	10	28,6	10,35	6,0	6	187	1,40	7,40
12	25	18	7	28,6	14,4	7,0	6	200	1,39	10,3
13	18	12	6	33,4	21,6	12,0	6	218	1,50	15,4
14	12	8	4	33,4	32,2	17,0	6	241	1,50	23,2
15	8	6	2	25,0	43,2	32,0	16	289	1,33	30,8

продолжительность прокатки в чистовой клети была на 15—20% меньше, чем в черновой;

2) диаметр рабочих валков в черновой клети, в которой даются большие обжатия, надо брать большим, чем в чистовой. Например, если в чистовой клети установлены рабочие валки диаметром 650—700 *мм*, то в черновой клети следует применять валки диаметром 850—900 *мм*.

Лучшим вариантом двухклетевого стана является установка двух четырехвалковых клетей. В этом случае, согласно табл. 81, прокатку в обжимной клети необходимо закончить при толщине 47 *мм* после девятого прохода и передать полосу в чистовую клеть. Учитывая, что для подъема верхнего валка паузу после девятого прохода необходимо увеличить до 16 сек., получим время прокатки в черновой клети 173 сек. Число проходов в чистовой клети может при этом возрасти на 1 проход (с 6 до 7), но время прокатки, в связи с возможностью некоторого увеличения скорости в отделочной клети сильно не увеличится и сохранится в пределах 145—150 сек.

Итак, производительность двухклетевой установки определится временем прокатки сляба в обжимной клети, равным примерно 2,88 мин., и составит в час при весе сляба 1800 *кг* 20,8×1,55×0,8×1,20=31 *т*. Из сопоставления с производительностью одноклетевого стана можно увидеть, что при установке второй клети производительность стана возрастает в 1,7 раза. Это результат того, что во избежание задержки в работе время прокатки между клетями распределяется неравномерно, с большей загрузкой первой клети.

Дальнейший рост производительности горячей прокатки возможен за счет установки полунепрерывных станов.

Для повышения производительности холодной прокатки нужна горячекатаная заготовка толщиной 2,5—3 *мм*. Получить ее на одноклетевом или двухклетевом стане невозможно, ввиду того что чистовая прокатка растягивается на большое время и, вследствие длительности последних проходов, температура полосы, быстро падающая при малой толщине, может сильно изменяться от начала к концу прохода. В некоторых частях полосы температура вообще может упасть ниже 300°, т. е. выйти из зоны рекристаллизации, из-за чего заготовка получится не только различной толщины, но и с различными свойствами.

Для получения полосы равномерной толщины (3 *мм*) с однородными свойствами необходимо по крайней мере для трех последних проходов установить одну за другой три нереверсивные отделочные клети

для непрерывной прокатки. Возникает необходимость простейшей полунепрерывной установки, состоящей из одного реверсивного чернового четырехвалкового стана и отделочной непрерывной группы из трех четырехвалковых клетей.

В последних проходах металл пластичен и обжатия определяются на основании допустимого давления на валок, поэтому в непрерывной группе даются большие обжатия. Например, для получения выходной толщины 2,5—3 *мм* в первую клеть чистовой группы, в зависимости от прокатываемой ширины и химического состава сплава, можно подавать заготовку толщиной 10—20 *мм*. Обжатия в непрерывной группе при прокатке листов шириной 2150 *мм* из сплава марки Д16 и начальной толщине 12 *мм* приведены в табл. 82.

Таблица 82

Обжатия при начальной толщине полосы из сплава Д16 12 *мм*

№ прохода (клети)	h_1, *мм*	h_2, *мм*	Δh, *мм*	$\frac{\Delta h}{h_1}$, %
1	12	7,5	4,5	37,5
2	7,5	4,5	3,0	40
3	4,5	3	1,5	33,3

Итак, в обжимной клети прокатка будет заканчиваться 13 проходом при выходной толщине 12 *мм*. Согласно табл. 81, время цикла прокатки одного слитка весом 1560 *кг* с учетом дополнительного времени в 10 сек. на подъем валков составит 210 сек. (17 слябов в час). Среднечасовая производительность всей установки при прокатке сляба весом 1800 *кг* составит $17 \times 0{,}8 \times 1{,}55 \times (1{,}15 \div 1{,}20) \cong 24 \div 26$ *т/час*.

время прокатки в обжимной клети, как было показано, составляет 210 сек.

Увеличение производительности может быть достигнуто разделением обжимной прокатки между двумя или более клетями, а также добавлением клетей к непрерывной группе.

Рассмотрим прокатку слябов на стане, состоящем из двух реверсивных клетей (обжимной и черновой) и непрерывной четырехклетевой отделочной группы. На основании табл. 81 составлена схема прокатки, которая приведена в табл. 83.

Производительность установки определится временем прокатки в обжимной клети и составит 30 слябов в час, что при весе сляба 1550 *кг* дает среднечасовую производительность $30 \times 1{,}55 \times 0{,}8 = 37{,}2$ *т/час*, а при весе сляба 1800 *кг* — соответственно 43—45 *т/час*.

Приведенные расчеты показывают, как может быть увеличена производительность одноклетевого реверсивного стана установкой за ним одной или ряда дополнительных клетей с образованием некоторых типов полунепрерывных станов. На основании табл. 81 установлено, каким образом при этом примерно могут быть распределены обжатия между клетями, время проходов и пауз. Результаты расчетов сведены в табл. 84.

Рассмотрен случай прокатки сляба размерами $190 \times 2150 \times 1350$ *мм*, весом 1550 *кг* на полосы толщиной 6 и 3 *мм*, шириной 2150 *мм*. Производительность при прокатке сляба 1800 *кг* взята увеличенной на 20%.

Вследствие расширения масштабов производства листов из алюминиевых сплавов, полунепрерывные станы, включающие чистовую группу тандем, находят все более широкое распространение при прокатке как чистого алюминия, так и прочных алюминиевых сплавов. Некоторые установки позволяют прокатывать ленты толщиной 2 *мм* длиной до 760 *м*.

Таблица 83

Схема прокатки на стане с четырехклетевой непрерывной отделочной группой

Наименование клети	Число и номера проходов	Конечная толщина, *мм*	Общее время прокатки сек.
Обжимная клеть	7 (1—7)	81	113+7=120
Черновая клеть	5 (8—12)	18	(200—113)+10=97
Непрерывная четырехклетевая группа	4 (13—16)	3	50

Недостатком этого полунепрерывного стана является пониженная производительность вследствие неравномерного распределения времени между клетями, при котором в основном загружена обжимная клеть. При длине 3-*мм* полосы около 100 *м* и скорости выхода полосы из стана 3,0 *м/сек* время прокатки в отделочной группе составит, с учетом разгона и торможения, приблизительно 50 сек., тогда как

Можно значительно увеличить выпуск листов из алюминиевых сплавов, если применить полностью непрерывные станы горячей прокатки, не имеющие в своем составе реверсивных обжимных клетей. На непрерывных станах выходная скорость ленты может достигать 10—15 *м/сек* при годовой производительности 600—800 тыс. *т*.

Основные характеристики современного реверсивного четырехвалкового стана для

Таблица 84

Расчет увеличения производительности одноклетевого реверсивного стана 2800 путем установки за ним дополнительных клетей с образованием некоторых типов полунепрерывных станов

Тип прокатного стана	Размеры исходного сляба *мм*	Конечное сечение *мм*	Общее время прокатки сек.	Коэффициент загрузки клети	Практическое время прокатки, сек.	Часовая производительность стана при слитке весом, *кг*			Годовая производительность установки при слитке весом 1550 *кг*, *т*
						1550		1800	
						шт/час	*т/час*	*т/час*	
Одноклетевой четырехвалковый реверсивный стан 2800	190×2150×1350	6×2150×43200	289	0,8	362	10	15,5	18,6	93 000
Двухклетевой четырехвалковый реверсивный стан 2800	190×2150×1350	47×2150×5530	173	0,8	216	16,7	26,0	31,2	156 000
	47×2150×5530	6×2150×43200	145	0,8	181	20	31	37,2	
Полунепрерывный стан с отделочной группой из трех клетей тандем . .	190×2150×1350	12×2150×21600	210	0,8	262	13,7	21,2	25,4	127 000
	12×2150×21600	3×2150×86400	50	0,8	62,5	57,6	89,4	107,2	
Полунепрерывный стан в составе двух четырехвалковых клетей и четырехклетевой отделочной непрерывной группы:									
обжимная клеть	190×2150×1350	81×2150×3220	12	0,8	150	24	37,2	44,6	224 000
черновая клеть	81×2150×3220	18×2150×14400	97	0,8	121	29,8	46,2	55,5	
непрерывная группа . . .	18×2150×14400	3×2150×86400	50	0,8	62,5	57,6	89,2	107	—

Примечание. Годовая производительность рассчитана, исходя из 6000 час. работы стана в год

горячей прокатки алюминиевых сплавов приведены ниже:

Общие характеристики

Средние размеры слитков, *мм*	200—250× ×1250— —1640×1400— —1600
Вес слитков, *кг*	1000—1800
Толщина горячекатаных полос, *мм*	6—8
Расход воды, *м³/час* . .	200
Расход сжатого воздуха, *м³/час*	275
Расход пара (зимой), *кг/час*	300
Расход эмульсии, *м³/час*	30

Рабочая клеть

Размер валков, *мм* . . .	700/1250× ×2000
Наибольшее давление металла на валки, *т*	1800
Скорость валков, *м/сек*	0—0,5—3,0
Наибольший раствор валков, *мм*	400
Скорость установки валков, *мм/сек*	20
Двигатель привода валков:	
мощность, *л. с.* .	5000
число оборотов в минуту	37,5—75,0
Главные двигатели для установки валков:	
число, шт. . . .	2
мощность, *л. с.* .	100
число оборотов в минуту	520
Вспомогательные двигатели для установки валков:	
число, шт.	2
мощность, *л. с.* .	22
Число оборотов в минуту	620

Эджерная клеть

Размер валков, *мм* . .	800×300
Скорость валков, *м/сек*	до 3,2
Величина раскрытия валков, *мм*	1000—2000
Двигатель привода валков:	
мощность, *л. с.* .	406
число оборотов в минуту	450

Толкатель для слитков у клети

Усилие толкания, *т* . .	4,0
Ход тележки толкателя, *м*	3,8

Направляющие линейки по обе стороны клети

Количество линеек, шт.	4
Величина раскрытия линеек, *м*	1—2

Подъемно поворотный стол у клети

Наибольший вес поднимаемого слитка, *т* . .	1,2
Время подъема и поворота слитка на 90°, сек.	7

Ножницы с нижним резом

Усилие резания, *т* . .	50
Величина разрезаемого сечения, *мм*	6—13×320—1640
Количество резов в минуту	15

Дисковые ножницы с кромкокрошителем

Диаметр ножей, *мм* . .	500—550
Скорость резания, *м/сек*	0,15—1,5
Количество резов . . .	2

Листоукладчик

Размер укладываемых листов, *мм*	1160—1640××1060
Вес пакета, листов, *т* .	До 5,0
Время укладки одного листа, сек.	1,5

Барабанная моталка

Размеры барабана, *мм* .	750×2000
Скорость смотки, *м/сек*	0,5—1,5
Величина натяжения, *т*	2,0
Двигатель привода барабана:	
мощность *л. с.* . . .	136
число оборотов в минуту	500

1. Условия горячей прокатки

Характерной особенностью горячей прокатки, при которой обжатию подвергаются толстые слябы или слитки со значительной начальной высотой, является неравномерность деформации по высоте, проявляющаяся в искажении контуров поперечного сечения и в неравномерности скоростей течения металла в зоне деформации, что приводит к значительному внутреннему скольжению металла.

Вогнутые боковые кромки V-образного сечения возникают у прокатываемого сляба в первых проходах при прокатке с небольшими скоростями, когда деформацию фактически испытывают только поверхностные слои полосы, которые соприкасаются с валками или находятся в непосредственной близости от них. Сечение, имеющее бочкообразную форму, возникает в последней стадии прокатки и соответствует условиям проникновения деформации вглубь. Установлено, что на образование того или иного сечения известным образом влияют химический состав материала, температура и скорость прокатки. Однако решающим фактором, определяющим конфигурацию контура сечения, является отношение длины деформирующей поверхности к высоте обжимаемого сечения, т. е. отношение

$$\sqrt{R\Delta h} : h_{ср},$$

где $\sqrt{R\Delta h}$ — длина дуги захвата;

R — радиус валка;

Δh — абсолютное обжатие;

$h_{ср}$ — средняя высота обжимаемого сечения.

При прокатке алюминия и его сплавов, нагретых до 400°, при отношении $\sqrt{R\Delta h} : h_{ср} < 1{,}25$ неизменно образуются вогнутые боковые кромки. Аналогично при отношении $\sqrt{R\Delta h} : h_{ср} > 1{,}25$ получаются выпуклые, бочкообразные кромки. Отношение $\sqrt{R\Delta h} : h_{ср} = 1{,}25$ является критическим и соответствует прямоугольному контуру.

При горячей прокатке прочных алюминиевых сплавов возникновение вогнутого контура нежелательно, так как он в сильной мере способствует растрескиванию кромок. В целях борьбы с образованием такого контура прибегают к обжатию боковых граней сляба в вертикальных валках (эджерах).

В процессе прокатки происходит неравномерное распределение скоростей течения металла по высоте сляба и внутреннее скольжение металла, обусловленное наличием зоны прилипания.

Вблизи плоскостей входа металла в валки и выхода из валков деформация сосредоточивается у поверхности полосы, при отсутствии зоны прилипания — в средней части. По мере прохождения металла через зев валков деформация проникает в полосу все глубже. В середине дуги захвата имеются два больших пластически недеформируемых клина, положение которых определяется в основном положением зон прилипания, служащих основанием этих клиньев.

Неоднородный характер деформации обусловливает получение неоднородной структуры и неравномерного напряженного состояния в прокатываемой полосе. Последнее при прокатке малопластичных сплавов может содействовать образованию таких дефектов прокатки как раскрытие слит-

ков, растрескивание кромок и образование поверхностных трещин.

В процессе горячей прокатки литая структура, состоящая из недеформированных кристаллов, превращается в мелкозернистую и частично упрочненную структуру горячекатаного материала. При горячей прокатке одновременно протекают два процесса, действующих в противоположных направлениях, — нагартовка металла и рекристаллизация. Соотношение скоростей этих двух процессов определяет собой структуру готового металла.

Вследствие неравномерности высотной деформации скорость рекристаллизации в поверхностных слоях больше, так как они испытывают большую деформацию, чем внутренние слои, что снижает температуру начала рекристаллизации. Поэтому в результате неравномерной деформации наружные слои упрочняются больше внутренних.

При обычных условиях прокатки в гладких валках в металле возникает неравномерное напряженное состояние, обусловленное трением между металлом и валками, свободным уширением, неравномерным нагревом сляба, неоднородностью структуры и т. д.

Неравномерность высотной деформации обычно приводит к образованию вогнутых боковых граней сляба. Это говорит о том, что поверхностные слои сляба стремятся к большей вытяжке и уширению, чем его срединные слои, благодаря чему во внутренних слоях возникают дополнительные напряжения растяжения, в наружных — сжатия. Эти дополнительные напряжения в сочетании с неравномерностью структурных свойств могут вызывать при горячей прокатке раскрытие слябов, растрескивание кромок и поверхности.

Раскрытие слябов. Это явление заключается в том, что при прохождении сляба через валки он раскалывается в горизонтальной плоскости, а получающиеся при этом половинки оковывают валки. Раскрытие слябов обычно происходит на длине 300—600 *мм*. Наиболее часто раскрытие наблюдается при толщине сляба 50—80 *мм*.

Раскрытие слябов во время прокатки заставляет немедленно останавливать стан и реверсировать его для заваривания расслоившегося конца сляба. Этот дефект снижает производительность горячей прокатки и приводит к увеличению отходов из-за необходимости обрезки расслоившихся концов полосы.

На практике применяются следующие меры борьбы с раскрытием слябов:

1. Большие обжатия за проход, обеспечивающие проникновение деформации в срединные слои в начальной стадии прокатки.

2. Применение слябов с закругленными или выпуклыми U-образными передними и задними гранями («замок Петрова»). Отсутствие раскрытия в этом случае обеспечивается отсутствием вогнутости на передней грани сляба и устранением концентрирующихся в ней напряжений.

3. Разделение горячей прокатки на 2 этапа с промежуточным подогревом сляба. В результате подогрева к критическому моменту деформации температура может быть повышена на 40—50°, пластичность металла в центральной напряженной части сляба возрастет, а прочность в ней будет лишь незначительно меньше, чем прочность в наружных слоях.

Растрескивание кромок. Боковые кромки горячекатаной полосы иногда покрываются частыми пилообразными трещинами и рванинами, глубина которых может достигать 50 *мм* и более. После горячей прокатки рваную кромку следует целиком отрезать, так как даже небольшая оставшаяся трещина на кромке может привести к обрывам рулона при холодной прокатке. Количество отходов на кромку у дуралюмина марок Д1 и Д16 может достигать 10% от первоначального веса сляба. Пластичные сплавы и чистый алюминий при горячей прокатке обычно не дают разрывов кромки.

Растрескивание кромок связано также с образованием вогнутых боковых граней сляба. Свисающие части контура поперечного сечения при прохождении через валки не деформируются, но должны удлиняться вместе со слябом. Так как с телом сляба они связаны лишь частично, то при удлинении всего сляба может происходить разрыв кромок.

Если боковые грани слябов свободны от хрупких ликвационных наплывов, они значительно меньше растрескиваются. Поэтому перед горячей прокаткой желательно фрезерование боковых граней сляба. Закругленные боковые грани слябов должны давать меньшее трещинообразование, чем прямоугольные.

Эффективной мерой борьбы с растрескиванием кромок является применение прокатки в вертикальных валках, устанавливаемых в комплекте горячего стана, через который в процессе прокатки несколько раз пропускается сляб. Обжатие вертикальными валками значительно снижает растрескивание кромок. Действие вертикальных валков заключается в том, что в растягиваемых волокнах боковых граней создаются сжимающие напряжения и при обжатии этих граней происходит дробление литой структуры, способствующее увеличению сопротивления материала растягивающим напряжениям. Однако заваривания уже разорванной кромки при обжатии вертикальными валками, как правило, не наблюдается. Вторым методом борьбы с растрескиванием боковых кромок является их плакирование, уже описанное выше.

Повышенное трещинообразование на боковых гранях является одним из косвенных методов контроля температурного режима прокатки прочных сплавов. Глубокие рванины, образующиеся в первых проходах, объясняются перегревом слябов, наличи-

ем газовых пузырей и другими дефектами литья. Наоборот, рванины, образующиеся в конце прокатки, объясняются прокаткой холодных слябов или недостаточным обжатием в вертикальных валках.

Поверхностное растрескивание. Этот вид дефекта иногда возникает у неплакированных слябов из прочных сплавов под действием местных растягивающих напряжений, возникающих на поверхности металла у входа в валки в результате проскальзывания полосы по валкам.

Для борьбы с этими дефектами при изготовлении неплакированных листов дуралюмина применяют технологическую плакировку с пониженной толщиной алюминиевых планшет. Эта плакировка почти не выполняет функцией защиты от коррозии, а нужна только для защиты от образования поверхностных трещин.

2. Охлаждение и смазка валков

Охлаждение и смазка валков станов горячей прокатки путем обильной поливки эмульсией в настоящее время являются обычными при прокатке алюминиевых сплавов. Такая система охлаждения обеспечивает полную устойчивость условий работы прокатного стана. Без охлаждения и смазки прокатка крупных слябов из прочных сплавов вообще не может осуществляться.

Применение эмульсии преследует следующие цели:

Контроль теплового режима и смазка валков. Для успешного хода прокатки, в особенности при изготовлении широких листов, необходимо, чтобы при прокатке зазор между валками был образован параллельными прямыми линиями образующих цилиндров валков. Это условие непрерывно нарушается, во-первых, вследствие прогиба валков от действия усилий прокатки и, во-вторых, вследствие неравномерного нагрева валков. Так как передача тепла валкам происходит лишь по контактной поверхности касания с листом, то средняя часть валка нагревается до более высокой температуры, чем шейки, и в валке создается температурный перепад между серединой и концами. Поэтому при прокатке средняя часть валков расширяется больше, чем концы, и валки приобретают определенную выпуклость.

Постоянную необходимую для данных условий прокатки выпуклость валков поддерживают регулированием их температуры по длине бочки с помощью интенсивной поливки эмульсией. Поливка валков осуществляется через сопла, установленные с обеих сторон рабочей клети вдоль фронта опорных и рабочих валков (иногда в несколько рядов). Сопла располагаются секциями симметрично относительно центра валка. Каждое сопло имеет индивидуальные краны. Так как каждая определенная часть длины бочки валков снабжается своей группой сопел, то, изменяя подачу эмульсии через них, можно регулировать температуру валка в отдельных частях длины бочки.

Эмульсия подается при строго определенной температуре. Чтобы выдерживать это условие, необходимо иметь возможность эмульсию подогревать или охлаждать до заданной температуры.

Уменьшение налипания металла на валки и ролики. При горячей прокатке поверхности валков, соприкасающихся с горячим металлом, подвергается периодическим изменениям температуры при каждом обороте валка. В результате этого в поверхностном слое валков возникают переменные термические напряжения с частотой колебания в один оборот.

Усталостные явления, вызываемые этими колебаниями напряжений, через некоторое время приводят к появлению на поверхности валка сетки мелких продольных и поперечных трещин, вызывающих сильное налипание поверхностных слоев сляба на стальной валок и появление отпечатков на прокатываемом листе. В некоторых случаях налипание может быть настолько значительным, что оно в состоянии вызвать обертывание слитка вокруг валка (оковывание).

Налипшие на валке при горячей прокатке слои представляют собой пористые порошкообразные налеты металла, размеры которых в процессе прокатки непрерывно увеличиваются. Наружные слои налипших частиц металла не очень плотно соединены с внутренними, поэтому в процессе прокатки они разрыхляются, а затем закатываются обратно в поверхность сляба. Налипшие слои состоят в основном из алюминия и его окислов и часто содержат значительное количество железа. Если в поверхность горячекатаной полосы закатывается толстый слой налипших частиц, он сохранится на готовом листе и может быть легко обнаружен на блестящей поверхности листа. Полное удаление налипших частиц достигается перешлифовкой валков; применение эмульсии способствует уменьшению их образования.

При горячей прокатке металл налипает также на ролики рольгангов, причем затвердевшие корки налипшего металла могут вызвать царапание мягкой горячей поверхности полосы. Для борьбы с налипанием металла на поверхность роликов применяется следующее:

а) непрерывно смачивают ролики эмульсией, для чего под роликами устанавливают корытца, наполняемые постоянно обменяваемой эмульсией;

б) ролики изготовляют из прочных сталей с последующей закалкой и тщательной шлифовкой поверхности, еще лучше производить хромирование поверхности роликов;

в) синхронизируют окружную скорость роликов рольгангов со скоростью полосы на входе в валки (пониженная скорость) и на выходе путем устройства специальных электрических систем управления станом;

г) систематически очищают ролики рольганга с помощью деревянных прижимов с наждачным полотном или стальными щетками.

Охлаждение горячекатаной полосы. Третье назначение эмульсии состоит в том, что для уменьшения повреждения поверхности полосы из-за трения о ролики свертывающих роликовых машин полосу иногда охлаждают обрызгиванием эмульсией из сопел, установленных в отводящий рольганг стана.

В соответствии с перечисленными тремя причинами применения эмульсии на станах горячей прокатки эмульсионные установки современных станов обычно оснащаются следующим оборудованием:

а) рабочим и резервным резервуарами для эмульсии, оборудованными подогревательными змеевиками, необходимыми при варке новой эмульсии для замены отработанной;

б) насосами, подающими эмульсию;

в) водоохладителями для охлаждения эмульсии, стекающей от стана;

г) механическими фильтрами для очистки эмульсии от посторонних частиц размерами свыше 0,1 *мм* с системой очистки и продувки фильтра от загрязнений;

д) системой трубопроводов, арматурой, контрольно-измерительными приборами.

В настоящее время в качестве эмульсии широко применяется 1,0—2,5%-ный раствор эмульсола (концентрированной эмульсии) в умягченной до временной жесткости 1° (дистиллированной) воде.

Состав эмульсола СП-3 (59Ц) по ГОСТ 5702—51 следующий: 9,5—10,5% олеиновой кислоты; 5,5—6,5% триэтаноламина; остальное трансформаторное масло.

В этой эмульсии капельки трансформаторного масла, распыленные в воде, выполняют функции смазки. Для устойчивости эмульсии служит эмульгатор — мыло, образованное в результате взаимодействия олеиновой кислоты и триэтаноламина. Стабилизирующее действие эмульгатора сводится к образованию на поверхности капелек масла вязкой и механически прочной пленки с ориентированными полярными молекулами. Одноименные заряды на поверхности капелек масла предохраняют капельки от коалесценции.

Преимуществами такой эмульсии является ее высокая стабильность в течение длительного времени. Так как эмульсия на 97—99% состоит из воды, то она служит очень хорошим теплоносителем и отнимает большое количество тепла.

Более жирные составы эмульсии (1,5—2,5% масла) идут для проката пластичных сплавов А1, АВ и др., более бедные (0,8—1,5%) — для прочных сплавов.

§ 5. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

За исключением незначительного количества горячекатаных плит, листы и ленты из алюминиевых сплавов подвергаются холодной прокатке.

Несмотря на лучшую деформируемость металла и большую производительность при горячей прокатке, ниже определенной толщины необходим переход на холодную прокатку, так как быстрое остывание тонкой полосы не дает возможности производить горячую прокатку при соответствующих температурах. Эта критическая толщина при горячей прокатке на реверсивном стане, как указывалось выше, составляет приблизительно 6 *мм*, при горячей прокатке на непрерывном стане — от 2,5 до 3,5 *мм*.

Монокристаллы алюминия, имеющие кубическую гранецентрированную решетку, деформируются путем скольжения по плоскостям октаэдра типа {111} в направлении [101]. Так как имеются четыре плоскости {111}, а в каждой плоскости есть три направления скольжения [101], то общее число систем скольжения для алюминиевых сплавов равно 12. Это говорит о высокой деформируемости алюминия в холодном состоянии и действительно чистый алюминий и пластичные сплавы допускают общее обжатие между отжигами более 90,0%.

Однако прочным гетерогенным сплавам, и в особенности дуралюминам, свойственна высокая чувствительность к наклепу, приводящая к быстрому падению пластических свойств.

В результате нагартовки у этих сплавов уже при средних обжатиях появляется тенденция к растрескиванию кромок, трещинообразованию на поверхности и обрывам, снижающая допустимые обжатия между отжигами до 60—70%.

В 1957 г. было установлено [3], что применение оптимальных режимов гомогенизации, и в особенности плакировки боковых граней, дает возможность прокатывать прочные сплавы алюминия с обжатием до 90% без промежуточных отжигов. Практически производится холодная прокатка без отжигов с 6 на 0,5—0,6 *мм*.

Другой результат холодной прокатки, связанный со структурными изменениями, — появление преимущественной ориентировки зерна и, как следствие, анизотропия свойств (табл. 85). Последняя приводит

Таблица 85

Анизотропия механических свойств листов толщиной 1,2 *мм* из алюминия марки АД1

Вид обработки	Продольное направление		Поперечное направление	
	предел прочности σ_b, *кг/мм²*	удлинение δ, %	предел прочности σ_b, *кг/мм²*	удлинение δ, %
Обжатие 30% .	12,8	8	13,5	4
Обжатие 6 % .	15	7	16,6	3
Обжатие 60% и низкотемпературный отжиг при 200° в течение 8 час. .	12,9	10	13,3	8

к неравномерности глубокой вытяжки листа и к образованию стаканов с характерными волнистыми краями (фестонистость).

1. Прокатка на реверсивных ленточных станах

На ленточных станах листы получаются прокаткой рулонов до требуемой толщины и последующей разрезкой на размеры готового листа.

Реверсивные ленточные станы обычно устанавливают в комплекте с реверсивными станами горячей прокатки, на которых вгорячую прокатывают рулоны лент толщиной 6 *мм*, шириной 1200—2200 *мм* и весом от 500 до 3000 *кг*. Это мощные четырехвалковые ленточные станы с роликовыми подшипниками, позволяющие производить прокатку в минимальное число проходов с высокими скоростями (табл. 86). Привод таких станов осуществляется от двигателей постоянного тока с плавной регулировкой скорости прокатки. Это позволяет захватывать металл и заправлять ленту в валки и барабан моталки на низкой скорости, а прокатывать — на высоких скоростях.

Время разгона современных ленточных станов до максимальной скорости составляет 5—10 сек. Толщина ленты, прокатываемой при динамическом режиме работы, обычно получается неравномерной: она уменьшается при разгоне стана и увеличивается при торможении. Если прокатка идет на малых скоростях и при этом не производится ручная или автоматическая регулировка толщины, лента получается толще, чем при прокатке на высоких скоростях.

Таблица 86

Скорость холодной прокатки лент из алюминиевых сплавов

Прокатный стан	Прокатываемый металл или сплав	Скорость прокатки *м/сек*	Примечание
Одноклетевой реверсивный четырехвалковый	Алюминий, АМц	7,0—10,0	Прогладка и нагартовка готовой ленты
	Д1, Д16	4,0—5,0	—
Двухклетевой тандем четырехвалковый	Д1, Д16	6,0—8,0	—
Трехклетевой тандем четырехвалковый	Д1, Д16	8,0—10,0	—
	Алюминий, АМц	10,0—12,0	—

Так как современные ленточные станы прокатывают рулоны весом до 2—3 *т*, то у них полностью механизированы все вспомогательные, подготовительные и заключительные операции. Станы снабжены магазинами для рулонов, разматывателем с огибателем конца, правильно-тянущей машиной, гильотинными ножницами для обрезки конца, ременными захлестывателями, сталкивателями на барабанах моталок.

Таблица 87

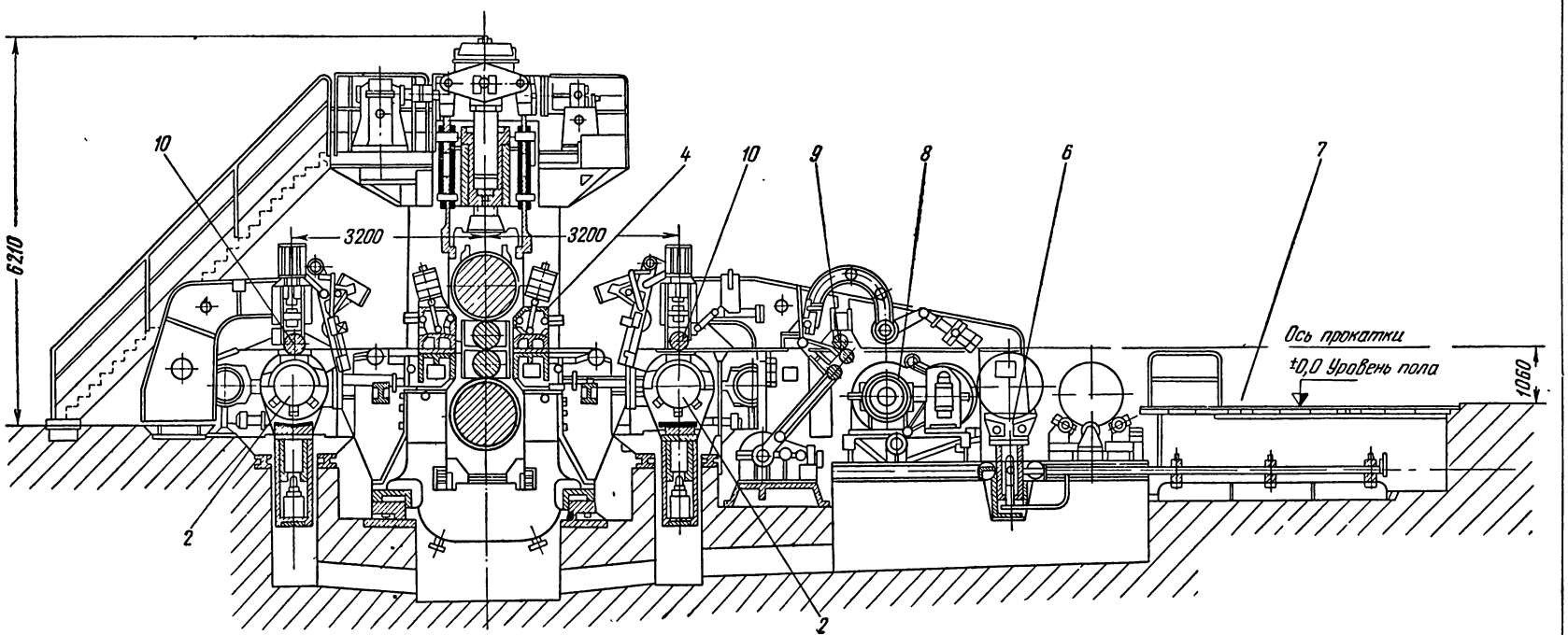
Определение производительности одноклетевого четырехвалкового ленточного стана[1]

№ прохода	Начальная толщина h_1, *мм*	Конечная толщина h_2, *мм*	Абсолютное обжатие Δh *мм*	Относительное обжатие $\frac{\Delta h}{h_1}$, %	Длина полосы, *м*	Скорость прокатки *м/сек*	Продолжительность прокатки, сек. прохода[2]	паузы[2]	общая	Количество прокатанных рулонов *шт/час*	Технически возможная часовая производительность стана при $K=0,85$ *т/час*	Удлинение за проход	Удлинение суммарное
1	6	4,85	1,15	19,0	49,0	2,0	33	50	83	—	—	1,24	1,24
2	4,85	3,6	1,25	26,0	65,0	2,0	41	100	141	—	—	1,35	1,67
3	3,6	2,5	1,1	31,0	95,0	2,5	48	50	98	—	—	1,44	2,40
4	2,5	1,9	0,6	24,0	125,0	2,5	60	100	160	—	—	1,32	3,17
5	1,9	1,39	0,51	27,0	171,0	3,0	69	50	119	—	—	1,37	4,34
6	1,39	1,0	0,6	29,0	240,0	3,0	92	100	192	—	—	1,39	6,03
—	—	—	Общее время на прокатку 1 рулона						793	4,54	6,56	—	—

[1] Холодная прокатка отожженных после горячей прокатки рулонов из сплава Д16 весом 1700 *кг*, шириной 2550 *мм* с начальной толщины 6 *мм* до конечной 1 *мм*; размеры валков 640/1370×2840 *мм*; скорость прокатки регулируемая 0/1,5/3,0 *м/сек*.

[2] По практическим данным.

[3] С учетом разгона и торможения стана при линейном ускорении валков 0,2 *м/сек*^{2} и при линейном торможении валков 0,3 *м/сек*^{2}.


6210
10
3200
3200
4
10
9
8
6
7
Ось прокатки
±0,0 Уровень пола
1060
2
2

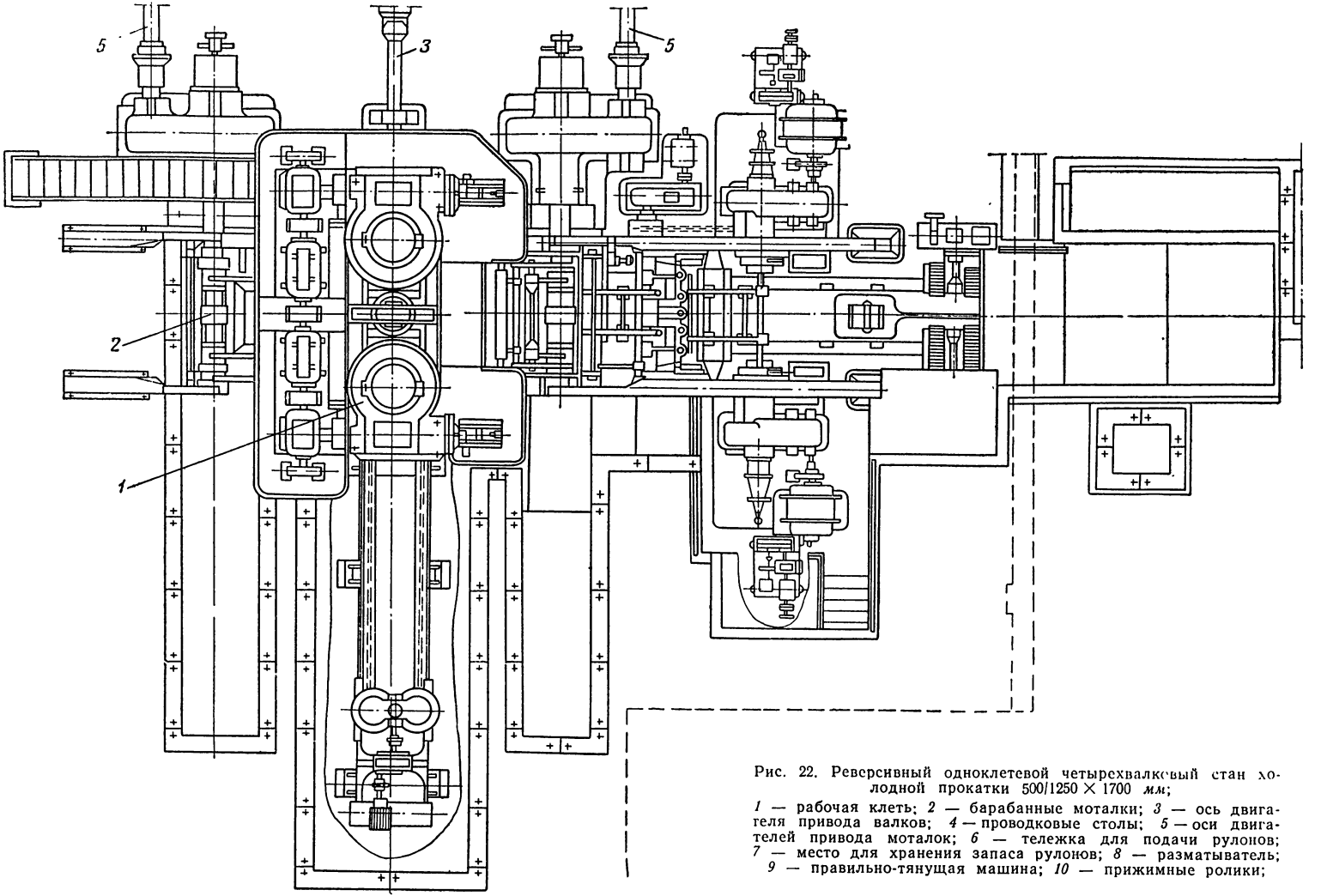


Рис. 22. Реверсивный одноклетевой четырехвалковый стан холодной прокатки 500/1250 × 1700 *мм*;

1 — рабочая клеть; *2* — барабанные моталки; *3* — ось двигателя привода валков; *4* — проводковые столы; *5* — оси двигателей привода моталок; *6* — тележка для подачи рулонов; *7* — место для хранения запаса рулонов; *8* — разматыватель; *9* — правильно-тянущая машина; *10* — прижимные ролики;

Таблица 88

Характеристика ленточных станов для холодной прокатки алюминиевых сплавов

Показатели	Тип стана и размер валков, *мм*		
	одноклетевой реверсивный четырехвалковый $\frac{500-470}{1250-1170}\times 1700$	одноклетевой реверсивный четырехвалковый $\frac{650-610}{1400-1300}\times 2800$	двухклетевой непрерывный тандем четырехвалковый $\frac{650-610}{1400-1300}\times 2800$
Размер заготовки, *мм*	6 × 800 — 1560	6×1050 — 2550	6—1,2×1050—2550
Размер готовой ленты, *мм*	0,5×800 — 1560	0,5×800 — 1560	3—0,8×1050—2550
Наружный диаметр рулона, *мм*	850 — 1100	1200	1200
Внутренний диаметр рулона и диаметр барабана моталки, *мм*	750	750	750
Максимальный вес рулона, *т*	2,0	3,6	3,6
Скорость прокатки, *м/сек*	0 — 0,5 — 5,0	0 — 0,5 — 4,0	4,0
Главный привод стана:			
мощность, *л. с.*	3000	5400	1—я кл. — 3300 2—я кл. — 4300
число оборотов в минуту	100 — 200	60 — 120	1—я кл. — 50—110 2—я кл. — 65—120
Привод нажимных винтов:			
мощность, *л. с.*	2×62	2×98	4×87
число оборотов в минуту	580	520	520
Привод моталок:			
мощность, *л. с.*	2×800	4×660	2×660
число оборотов в минуту	400 — 1200	330 — 1150	330—1150
Привод разматывателя:			
мощность, *л. с.*	2×820	2×820	2×820
число оборотов в минуту	300 — 1400	300 — 1400	300—1400
Скорость размотки ленты, *м/сек*	4	4	3,5
Наибольшее давление металла на валки, *т*:			
при работе	1050	2000	2000
статическое	2750	4600	4600
Скорость установки валков, *мм/мин*	10 и 5	11 и 5,2	—
Натяжение ленты при прокатке между клетью и моталкой, *т*	27	40	40
Натяжение ленты при размотке между разматывателем и клетью, *т*	8	8	8
Вес стана, *т*	786	1058	2324
Расход электроэнергии при прокатке с 6 на 1,5 *мм*, *квт-ч/т*	115	115	—
Расход воды с температурой 20°С, $м^3/час$	200	200	—
Расход сжатого воздуха (6 *ат*), $м^3/час$	15	6	—
Расход пара с температурой 150°С (зимой), *кг/час*	300	800	—
Расход эмульсола, *т/год*	40	60	—
Расход технологической смазки *т/год*	—	10	—

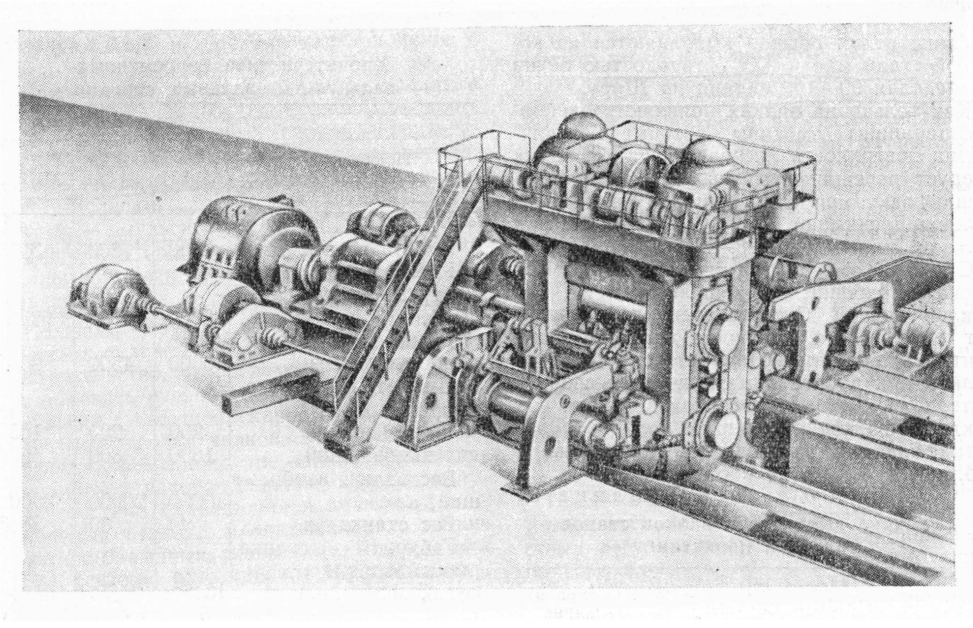


Рис. 23. Реверсивный одноклетевой четырехвалковый стан холодной прокатки 650/1400 × × 2800 *мм*

Это позволяет свести к минимуму затраты времени на вспомогательные операции.

В табл. 87 приведен расчет производительности реверсивного четырехвалкового стана 2840 при прокатке рулонов из сплава марки Д16. В практике прокатки алюминиевых сплавов наибольшее распространение получили четырехвалковые станы с длиной бочки 1700 и 2800 *мм*, основные технические характеристики которых приведены в табл. 88, а общий вид — на рис. 22 и 23.

2. Прокатка на непрерывных станах

Для холодной прокатки тонких листов из рулонов лент толщиной 2,5—3,5 *мм*, получаемых с горячих станов, имеющих непрерывную группу, часто применяются станы тандем. Это непрерывные станы, в которых 2 или 3 рабочие клети установлены последовательно одна за другой, при этом во время работы полоса находится одновременно в валках всех клетей. Моталки устанавливают только со стороны выхода из валков, а заднее натяжение в первой клети у этих станов обеспечивается коническим разматывателем.

Скорость прокатки у непрерывных станов выше, чем у реверсивных, поэтому производительность станов тандем выше производительности такого же количества реверсивных клетей.

Станы тандем более подходят для выпуска узкого ассортимента продукции, в работе они менее гибки, чем реверсивные станы. Например, оператор реверсивного стана может при необходимости корректировать режим прокатки и, добавив 1—2 прохода, устранить чрезмерную волнистость ленты и получить меньшую толщину полосы. Во время работы на непрерывном стане возможность такой регулировки отсутствует. Поэтому станы тандем обычно устанавливают при больших масштабах производства, для прокатки тяжелых рулонов и при сравнительно узком ассортименте продукции.

3. Условия получения хорошей выкатки и поверхности листа

К листам из алюминиевых сплавов предъявляются высокие требования в отношении выкатки и качества поверхности. Выкатка листа, т. е. плоскостность, определяемая отставанием готового листа от гладкой контрольной плиты, и качество поверхности в очень большой степени определяются холодной прокаткой. Во время холодной прокатки выкатка и поверхность определяются в основном следующими факторами:

а) состоянием поверхности и профилем прокатных валков;

б) условиями охлаждения и смазки валков;

в) передним и задним натяжением ленты.

Влияние каждого из этих факторов будет рассмотрено отдельно.

4. Состояние поверхности прокатных валков

Рабочие валки. Чтобы обеспечить хорошую поверхность и выкатку, рабочие валки должны иметь блестящую поверхность без дефектов и правильный профиль. Рабочие валки поэтому выполняются с вязкой сердцевиной и твердым поверхностным слоем. Для прокатки прочных сплавов алюминия

рабочие валки обычно выполняются из кованой стали марки 9Х2 с твердостью бочки в пределах 90—100 единиц по Шору.

Как только на валках появляются забоины, царапины, вмятины, которые оставляют на поверхности листов отпечатки, валки следует перешлифовывать. За каждую перешлифовку при отсутствии глубоких повреждений снимают слой 0,06—0,07 *мм*, при наличии их — слой 0,18—0,25 *мм*.

С целью компенсации прогиба валков при прокатке рабочие валки шлифуются с выпуклой бочкой. Степень выпуклости зависит от обжатия, прочности прокатываемой ленты и ее натяжения, степени нагрева валков при работе и механических свойств материала валков. Примерная величина выпуклости валков станов для холодной прокатки алюминиевых сплавов приведена в табл. 89.

Таблица 89

Величина выпуклости валков станов холодной прокатки

Ста	№ клети	Примерная величина выпуклости рабочего валка *мм*
Реверсивный ленточный стан с валками размером 640/1370×2840 *мм*	1	0,25—0,4
Непрерывный трехклетевой стан тандем с валками размером 500/1250×1680 *мм* . .	1	0,35—0,5
	2	0,3—0,4
	3	0,2—0,3

Требуемая форма бочки получается на специальных вальцешлифовальных станках, имеющих приспособление для придания бочке криволинейного профиля. Точность работы таких станков при выведении кривой профиля достигает 0,0025 *мм*. С целью получения полированной поверхности рабочие валки полируют кругом с зернистостью абразива 230 меш. В табл. 90 приведены характеристики вальцешлифовальных станков.

Опорные валки. Поверхность опорных валков не должна портить поверхности рабочих валков, поэтому твердость их бочки делается ниже твердости бочки рабочих валков и обычно составляют 50—60 единиц по Шору.

Срок службы опорных валков между перешлифовками до полугода. Общий срок службы опорных валков 2—3 года. В результате больших контактных напряжений металл опорного валка получает поверхностный наклеп. Появляются признаки усталости металла, и валок с поверхности начинает выкрашиваться. Если зона выкрашивания невелика, то это место зачищают, а валки продолжают еще некоторое время работать. Для борьбы с этим вводится операция отдыха валков один раз в 3—6 месяцев, которая осуществляется в специальных колодцевых или других печах.

Таблица 90

Характеристика современных вальцешлифовальных станков

Показатели	Модели станков		
	3417В	3415Е	ХШ145
Высота центров, *мм*	800	600	300
Расстояние между центрами, наибольшее, *мм*	6000	4500	2200
Длина шлифования, наибольшая, *мм* . .	6000	4500	900
Диаметр шлифования, *мм*:			
наименьший . . .	200	200	100
наибольший . .	1500	800	550
Вес валка, наибольший, *кг*	40000	20000	3000
Вес станка, *т* . .	90	60	28,5
Габариты станка (длина × ширина × высота), *м*	13,6×5,0×2,5	9,7×4,3×2,5	8,9×3,8×2,4
Общая мощность двигателей станка, *квт*	125	72	37,1
Максимальная величина выпуклости или вогнутости, получаемая на валке, *мм*	—	1,0	—
Диаметр шлифовального круга, *мм* .	450—900	450—900	600—900
Число оборотов круга в минуту	500—1000	500—1000	980
Мощность привода круга, *квт*	29	29	20
Число оборотов валка в минуту	6—60	5—50	—
Мощность привода валка, *квт*	64	34	10
Скорость продольной подачи круга *м/мин*	0,05—2,5	0,05—2,5	—
Мощность привода шлифовальной каретки, *квт*	5,6	5,6	2,8
Скорость поперечной подачи круга *м/мин*	0,4	0,4	—
Мощность привода задней бабки, *квт* . .	1,7	1,7	—

5. Охлаждение и смазка валков

Система контроля теплового режима валков

При холодной прокатке, при достижении валками рабочих условий, температура их

по длине бочки валка не бывает равномерной: она выше в середине валка и ниже у шеек.

Современные станы холодной прокатки снабжаются мощным средством для контроля теплового режима валков — эмульсионной системой, которая позволяет регулировать температуру валков путем интенсивной поливки их охлаждающей жидкостью — эмульсией. Основные принципы термической профилировки путем поливки эмульсией были изложены в предыдущем параграфе.

Большим преимуществом эмульсионной системы охлаждения валков является то обстоятельство, что с помощью сопел можно подавать очень значительное количество эмульсии с большой скоростью и на требуемое место бочки валков. Это обеспечивает эффективное охлаждение валков и объясняет широкое распространение, которое получила система охлаждения и смазки на современных станах, прокатывающих тонкие ленты с большими скоростями. Так как при этой системе охлаждения эмульсия неизбежно попадает на ленту, она одновременно должна быть и хорошей смазкой для прокатки ленты. Эмульсия должна удовлетворять в качестве смазки следующим требованиям:

1) не оставлять пятен на ленте;

2) не давать отложений каких-либо частиц во время отжига;

3) иметь высокую точку воспламенения.

Оптимального сочетания большинства свойств удалось достигнуть применением в качестве охлаждающей смазки масляно-водяных эмульсий с содержанием масла от 2 до 5,0% с добавлением эмульгаторов (эмульсия на основе эмульсола СП-3, состав которого приведен в разделе горячей прокатки). Высокая охлаждающая способность воды вместе с хорошей смазывающей способностью минерального масла и поверхностно активных веществ обеспечили возможность прокатки алюминиевых сплавов с большими обжатиями и скоростями. Однако эта эмульсия оставляет на поверхности листов потемнения и пятна, портящие внешний вид изделий.

При прокатке лент и фольги наиболее тонких размеров эмульсия может вызывать коррозию, приводящую к образованию в ленте сквозных отверстий. Поэтому принимают меры для исключения возможности попадания эмульсии внутрь рулона: эмульсию в последнем проходе подают только со стороны входа ленты в валки, а со стороны выхода из валков ленту обдувают сжатым воздухом, чем достигается распыление и отбрасывание в сторону капелек эмульсии, случайно попавших на ленту.

Холодная прокатка сопровождается истиранием поверхности прокатываемой полосы. Сошлифованные частицы алюминия и окиси алюминия смываются охлаждающей эмульсией и, попадая с ней вновь на полосу, особенно после того как их содержание в эмульсии приблизится к 0,1—0,2%, портят внешний вид ленты, вдавливаясь в поверхность и пригорая к ней во время отжига. Помимо этого, алюминиевые частицы ухудшают смазочные свойства эмульсии. Ввиду почти коллоидального характера загрязнений, появляющихся в эмульсии, механическими фильтрами удалить их не представляется возможным. Для этой цели применяются центрифуги, а также фильтры абсорбентного типа, основанные на пропускании фильтруемой жидкости через инфузорную землю, кизельгур или другой подобный пористый материал.

Наиболее современные установки для очистки эмульсии после прокатки состоят из механического фильтра (например, пластинчатого типа), удаляющего из всего потока эмульсии частицы больше 0,01 *мм*, и абсорбентного фильтра, удаляющего частицы меньших размеров (0,002—0,004*мм*) у части общего потока эмульсии (рис. 24).

После очистки и охлаждения эмульсия нагнетается на валки насосами через систему регулируемых сопел, расположенных по всей длине бочки. При ширине прокатываемой полосы 1500—2000 *мм* расход эмульсии составляет около 1000—1500 *л/мин.*, т. е. удельный расход на 1 *м* ширины прокатываемой полосы равен 500—700 *л/мин.*

Система для контроля температуры валков четырехвалкового стана 1700 (рис. 24) состоит из следующих узлов:

1) двух резервуаров емкостью по 10 $м^3$ с паровыми змеевиками для подогрева эмульсии до начала работы;

2) центробежного насоса производительностью 60 $м^3/час$ с напором 5 *ат*;

3) проволочного фильтра с гидравлической очисткой путем изменения направления потока эмульсии на краткий промежуток времени;

4) трубчатого охладителя с поверхностью охлаждения 80 $м^2$;

5) трубопроводов, арматуры и приборов.

Расход эмульсии на стане 1700 равен 1 $м^3/мин$ (из расчета 600 *л/мин* на 1 *м* ширины полосы). Эмульсия подводится с обеих сторон рабочей клети к местам контакта рабочих валков с опорными, рабочих валков с металлом и на ленту с двух сторон. К валкам эмульсия подается через 60 сопел (4 ряда по 15 сопел), к прокатываемой ленте — через 40 сопел. Диаметр сопел составляет $^3/_8$ ″. Скорость эмульсии в узком сечении сопел составляет 17,5 *м/сек*. Эмульсия, проходя через стан, нагревается в среднем на 18°, так что общее количество тепла, отводимое от стана, составляет 18000 *ккал/мин*. Температура эмульсии, подаваемой на стан, должна быть от 30 до 45°.

В систему периодически подается свежая эмульсия концентрацией 30—40%, приготовленная из эмульсола СП-3 (59Ц) на складе. В резервуарах системы ее разбавляют водой с жесткостью не более 1° до нужной концентрации 2—5%. Полную смену эмульсии производят 1 раз в 3—7 дней в зависимости от технологического процес-

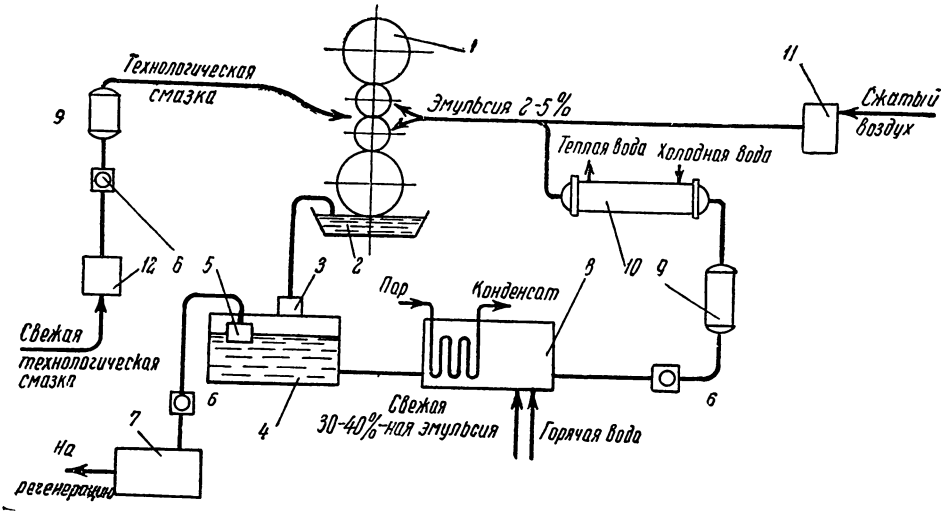


Рис. 24. Принципиальная схема системы охлаждения и смазки валков стана холодной прокатки:
1 — рабочая клеть; *2* — приямок под станом; *3* — фильтр грубой очистки; *4* — резервуар-разделитель; *5* — поплавок-уловитель для керосина; *6* — насос; *7* — сборник отработанной технологической смазки; *8* — резервуар с паровым подогревом; *9* — фильтр; *10* — трубчатый холодильник; *11* — пресс-бак для поддерживания постоянства давления эмульсии; *12* — отстойник для технологической смазки

са Кислотное число эмульсии должно быть в пределах 0,2—0,9, а содержание связанных кислот должно быть 0,15—0,9 *град/л.*

Система технологической смазки

Одновременно с охлаждением валков эмульсией с другой стороны валков с помощью независимой системы подается технологическая смазка, которая служит для уменьшения трения между прокатываемым металлом, валками и заправочными столами и для смывания с них приставших порошкообразных частиц металла, что позволяет получать чистую поверхность листа.

Перед первым проходом технологическая смазка подается также и со стороны задачи металла. В последнем проходе со стороны съема рулона ни эмульсию, ни технологическую смазку не подают.

Для технологической смазки обычно используется смесь высококипящих фракций нефти (керосин, уайт-спирит) с минеральным маслом. На практике, например, применяют следующий состав технологической смазки:

Керосин светильный А или Б 75—80%
Масло веретенное 2 . . . . 25—20%

Система технологической смазки является не замкнутой. Смазка подается через отдельные сопла. Смесь эмульсии и технологической смазки стекает в сборники под рабочей клетью и по сливному трубопроводу через фильтр грубой очистки попадает в резервуар-отделитель в котором керосин, более легкий по удельному весу, всплывает на поверхность и стекает в сборник отработанного керосина.

По практическим данным расход технологической смазки станом холодной прокатки составляет примерно 1 *л/мин* на 1 *м* бочки валков.

Ниже описана система технологической смазки стана кварто 1700. Ее схема приведена на рис. 24. Она состоит из следующих элементов:

1) резервуара емкостью 0,16 $м^3$;
2) двух вихревых насосов производительностью 1,5—5 $м^3/час$ при напоре 30—12 *м* вод. ст.;
3) дискового фильтра;
4) трубопроводов, арматуры и приборов

По мере расхода смазки из резервуара он пополняется по трубопроводу самотеком со склада. Расход смазки составляет 1,7 *л/мин*. Смазка подается через 4 ряда форсунок по 10 шт. в каждом ряду с каждой стороны клети. Общее количество форсунок 80.

Система разделения эмульсии и технологической смазки

Система разделения эмульсии и технологической смазки стана 1700 состоит из следующих узлов (см. рис. 24):

1) фильтра грубой очистки, встроенного в резервуар-разделитель;
2) разервуара-разделителя с поплавками-уловителями для отсасывания керосина, всплывшего наверх;
3) вихревого насоса такого же типа, как и описанный выше;
4) трубопроводов и арматуры.

Отстоявшаяся эмульсия из резервуара-разделителя сливается в резервуар эмульсионной системы. Керосин откачивается насосом на склад для регенерации.

6. Натяжение ленты при прокатке

Мощное переднее натяжение ленты, применяемое на современных станах, создает в металле местные напряжения, превышающие предел текучести в тех частях ленты, которые получили меньшее удлинение. Это устраняет разницу в вытяжке отдельных частей ленты и обеспечивает получение ровной без волнистости поверхности ее. Кроме того, переднее натяжение снижает давление металла на валки и уменьшает уширение. При прокатке на современных реверсивных станах вытяжка полосы до 30% производится за счет натяжения.

Заднее натяжение ленты, также применяемое в современных станах, снижает давление на валки в еще большей степени, чем переднее. Однако его величина ограничивается проскальзыванием валков по ленте при чрезмерном возрастании натяжения.

Е. С. Рокотян определял величины переднего и заднего натяжения при холодной прокатке лент алюминиевых сплавов на современных четырехвалковых станах 2840 и 1680 *мм* по следующим эмпирическим формулам в зависимости от толщины ленты:

$$\sigma_2 = 5{,}67 - 0{,}6\,h_2 \ кг/мм^2;$$

$$\sigma_1 = 4{,}3 - 0{,}5\,h_1 \ кг/мм^2,$$

где σ_2 — переднее натяжение;
σ_1 — заднее натяжение.

Важным условием получения лент с хорошей выкаткой является точная регулировка величины натяжения и поддержание его постоянства во время прохода. Колебания натяжения могут приводить к смещению витков рулона, к появлению надиров на поверхности и к обрывам лент.

Точность поддержания натяжения при прокатке у лучших современных станов составляет ± 1—3%.

7. Листовая прокатка

Листовой способ прокатки в настоящее время применяется, как правило, лишь для докатки концов, образующихся при прокатке на ленточных станах, чтобы уменьшить потери металла в отходы. Для этой операции используют реверсивные двухвалковые станы, снабженные приводными ленточными конвейерами по обе стороны клети. Основные технические данные такого стана приведены ниже:

Тип стана	реверсивный двухвалковый
Размер листов, *мм*	750—700 × ×1700 *мм* 0,5—6 × × 1500
Скорость прокатки, *м/мин*	0 ± 8 ± 80
Главный привод стана:	
мощность, *л. с.*	600
число оборотов в минуту	300/600
Привод нажимных винтов:	
мощность *л. с.*	2 × 16,5
число оборотов в минуту	680
Привод конвейеров:	
мощность, *л. с.*	2 × 12,2
число оборотов в минуту	715
Длина конвейеров, *м*	2 × 5,5
Скорость установки валков *мм/сек*	0,2
Вес стана, *т*	120
Тип подшипников	Бронзовые скольжения

Четырехвалковые станы подобного типа применяются для производства листов переменного сечения. Они снабжены мощными механизмами для установки валков, позволяющими менять в процессе прокатки расстояние между ними.

§ 6. РАЗРЕЗКА РУЛОНОВ НА ЛИСТЫ

Перед термообработкой и отделочными операциями рулоны лент разрезают на листы. На разрезку ленты могут поступать в нагартованном состоянии или мягком после отжига. Ленты, прокатывавшиеся на реверсивных станах, имеют утолщенные (недокатанные) концы; кромки могут иметь небольшие трещины, забоины, зазубрины, помятости и должны быть полностью удалены.

На линиях резки производится разрезка лент на листы и обрезка кромок на окончательный размер по ширине. При изготовлении закаленных листов длина разрезанных листов должна быть больше длины готовых листов на величину припуска на обрезку концов, повреждаемых зажимными губками машины для правки растяжением. Эта величина обычно составляет около 80—100 *мм* с каждого конца листа.

Ниже приведен состав агрегатов современной линии резки лент алюминиевых сплавов на листы (рис. 25) и техническая характеристика линии предварительной правки и резки 2800 *мм*

Толщина листов, *мм*	0,8—4,0
Ширина ленты, *мм*	1560—2560
Ширина листов, *мм*	1500—2500
Длина листов, *мм*	3000—5300
Внутренний диаметр рулонов, *мм*	750
Наружный диаметр рулонов, *мм*	850—1100
Максимальный вес рулонов, *кг*	3000
Предел прочности разрезаемого материала, *кг/мм²*	До 40
Скорость линии на размотке, *м/мин*	20—60

Состав линии

1. Тележка для транспортировки рулонов
2. Отгибатель конца рулона скребкового типа
3. Конусный разматыватель:

ход конусов, *мм*	830
величина натяжения, *кг*	500
мощность привода конусов, *квт*	6,5

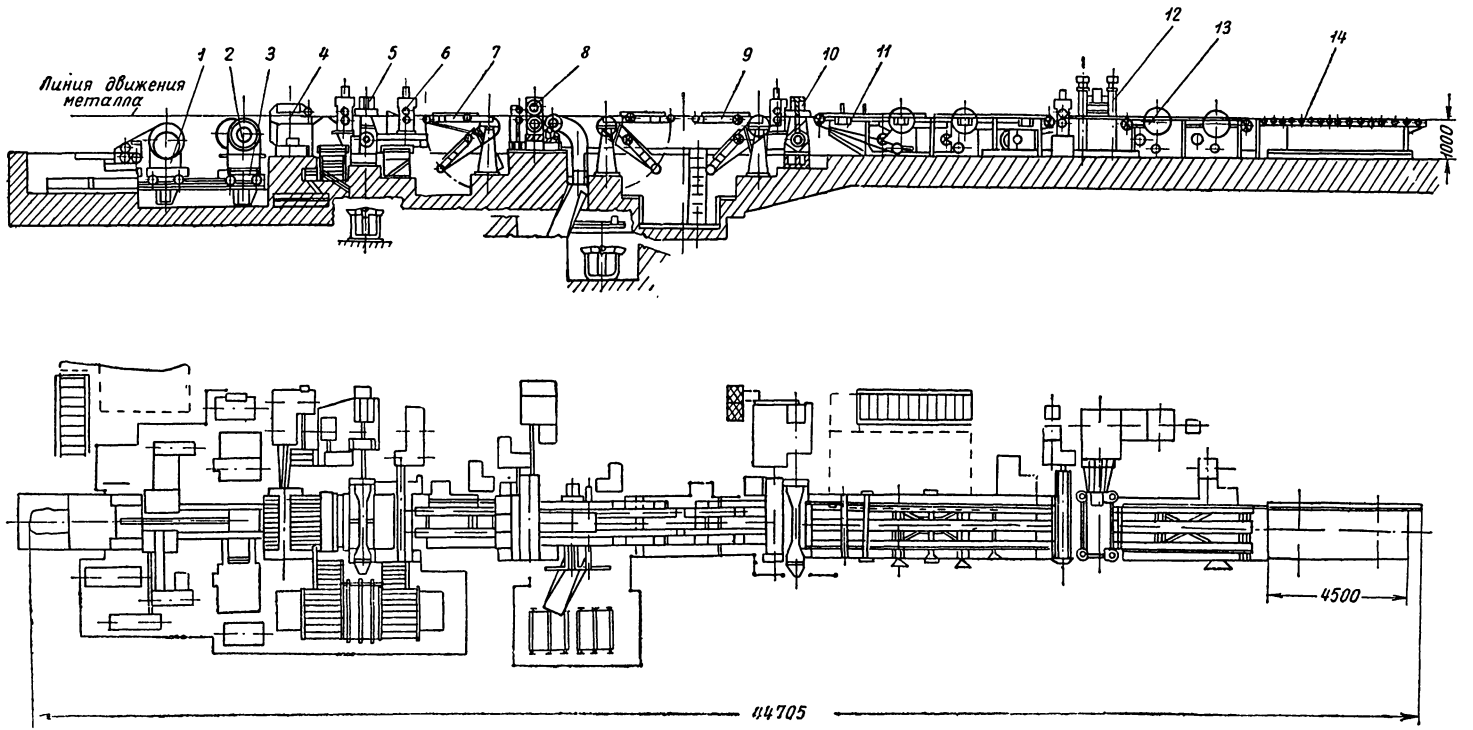


Рис. 25. Линия предварительной правки и резки листов из рулонов 1700 *мм*:

1 — отгибатель рулонов; *2* — конусный разматыватель; *3* — тележка для передачи рулонов к разматывателю; *4*—пятироликовая правильная машина; *5* — ножницы с нижним резом; *6* — подающие ролики; *7* — петлеобразующий транспортер; *8* — дисковые ножницы с кромкокрошителем; *9* — петлеобразующий двухсекционный транспортер; *10* — ножницы с нижним резом; *11* — ленточный транспортер; *12* — семнадцатироликовая правильная машина; *13* — контрольный транспортер; *14* — устройство для укладки листов в стопку

4. 5-роликовая правильная машина:	
размер роликов, *мм* . .	150×2800
наибольший раствор роликов, *мм*	250
мощность привода, *квт*	29
5. Петлеобразующий двухсекционный транспортер:	
скорость первой секции, *м/мин*	20—60
скорость второй секции, *м/мин*	40—120
6 Гильотинные ножницы с нижним резом и с подающим роликом (два комплекта):	
длина ножа, *мм* . . .	2700
ход нижнего ножа, *мм*	130
величина зазора между ножами, *мм*	60
число резов в минуту .	15
скорость подачи листов, *м/мин*	40—120
7. Дисковые ножницы с задающим роликом и с кромкокрошителем:	
диаметр ножей, *мм* . .	360—320
расстояние между ножами, *мм*	1500—2500
ширина обрезаемой кромки, *мм*	30
скорость резки, *м/мин*	30—90
мощность привода, *квт*	2,3
8 17-роликовая правильная машина:	
размер рабочих валков, *мм*	90×2800
скорость машины, *м/мин*	30—90
мощность привода, *квт*	60
9. Устройство для укладки листов в стопку:	
высота стопки наибольшая, *мм*	500

Такая линия работает в режиме непрерывного разматывания и правки рулонов, так как работа с остановками и пусками, кроме низкой производительности, приводит к порче поверхности листов роликами правильных машин.

Для разрезки лент на листы используются гильотинные ножницы. В момент резки лента останавливается, а разматывание рулона продолжается, поэтому перед гильотинными ножницами на специальном транспортере образуется петля. После реза вторая секция транспортера с удвоенной скоростью выбирает образовавшуюся петлю. Приводы всех механизмов, связанных с прохождением ленты через линию, питаются постоянным током от одного преобразовательного агрегата, чем достигается плавный разгон всех механизмов линии и синхронизация их скоростей и уменьшается возможность повреждения поверхности ленты.

Для резки лент на листы применяются также линии, в состав которых входят летучие ножницы. Их скорость достигает 120—200 *м/мин*, тогда как линии резки с гильотинными ножницами имеют скорость порядка 60—90 *м/мин*.

§ 7. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

К прокатываемым алюминиевым сплавам применяются различные виды термической обработки, преследующие такие цели:

1) устранить неоднородности в структуре и химическом составе литого слитка, вызванные интенсивным развитием внутрикристаллической ликвации во время затвердевания, а также снять термические напряжения, возникающие в результате резкого охлаждения при литье;

2) снять нагартовку, получаемую при холодной прокатке;

3) получить заданные механические свойства у изделий.

Гомогенизирующий отжиг — длительное выдерживание при высоких температурах для улучшения литой структуры и повышения пластических свойств слитка при горячей прокатке. Этот вид обработки рассмотрен в разделе горячей прокатки.

Отжиг первого рода — термическая обработка при температурах выше температуры рекристаллизации, имеющая своей целью разупрочнение и снятие остаточных напряжений.

Низкотемпературный отжиг, возврат — термическая обработка при температурах настолько низких, что полной рекристаллизации не происходит. Применяется для получения у термически необрабатываемых сплавов состояний, промежуточных между отжигом и нагартовкой.

Закалка — первый этап термического упрочнения алюминиевых сплавов. Заключается в растворении упрочняющих фаз нагревом и фиксировании этого твердого раствора резким охлаждением.

Старение или дисперсионное твердение — второй этап в термическом методе упрочнения, который протекает во времени. Старение, происходящее при комнатной температуре, называется естественным старением Старение, происходящее в течение определенного промежутка времени при повышенных температурах (100—200°), называется искусственным старением.

Рис. 26 иллюстрирует влияние температуры отжига на твердость нормального дуралюмина марки Д1, предварительно обжатого при холодной прокатке на 50%. На этом рисунке сплошная кривая показывает влияние нагрева до различных температур на твердость сплава после быстрого охлаждения с этих температур. На кривой можно выделить следующие характерные участки

На первом участке, от 0 до 160°, идет упрочнение, полученное вследствие нагартовки, твердость при нагреве до 170° сохраняется и даже несколько повышается при температуре около 160°.

На втором участке, от 160 до 300°, начинается разупрочнение, связанное с возвра-

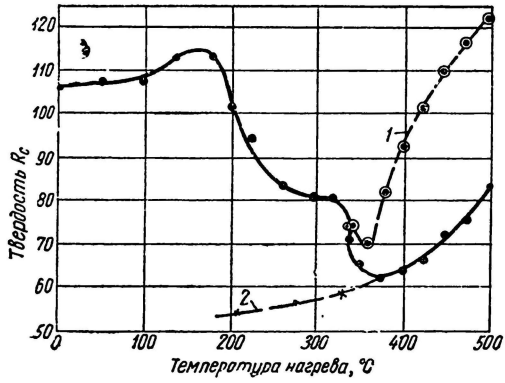


Рис. 26. Влияние нагрева на изменение твердости полосы из сплава Д1, прокатанной вхолодную с обжатием 50%:

1 — старение в течение 5 дней; *2* — медленное охлаждение от 500°

том, т. е. происходит снятие напряжений, вызванных холодной прокаткой.

Третий участок, от 320 до 375°, является участком рекристаллизации — роста обломков холоднодеформированных зерен,— дающей вновь резкое падение прочности и твердости. При температуре 375° достигается наибольшее разупрочнение и сплав становится полностью отожженным: это температура рекристаллизации. Термин «температура рекристаллизации» обычно относится к температуре, при которой рекристаллизация проходит за короткое время, например полчаса или час. Однако рекристаллизация может пройти и при значительно более низких температурах, если время выдержки будет достаточно длительным.

Четвертый участок, от 375 до 500°, вновь является участком упрочнения, которое появляется вследствие растворения в твердом растворе меди и магния.

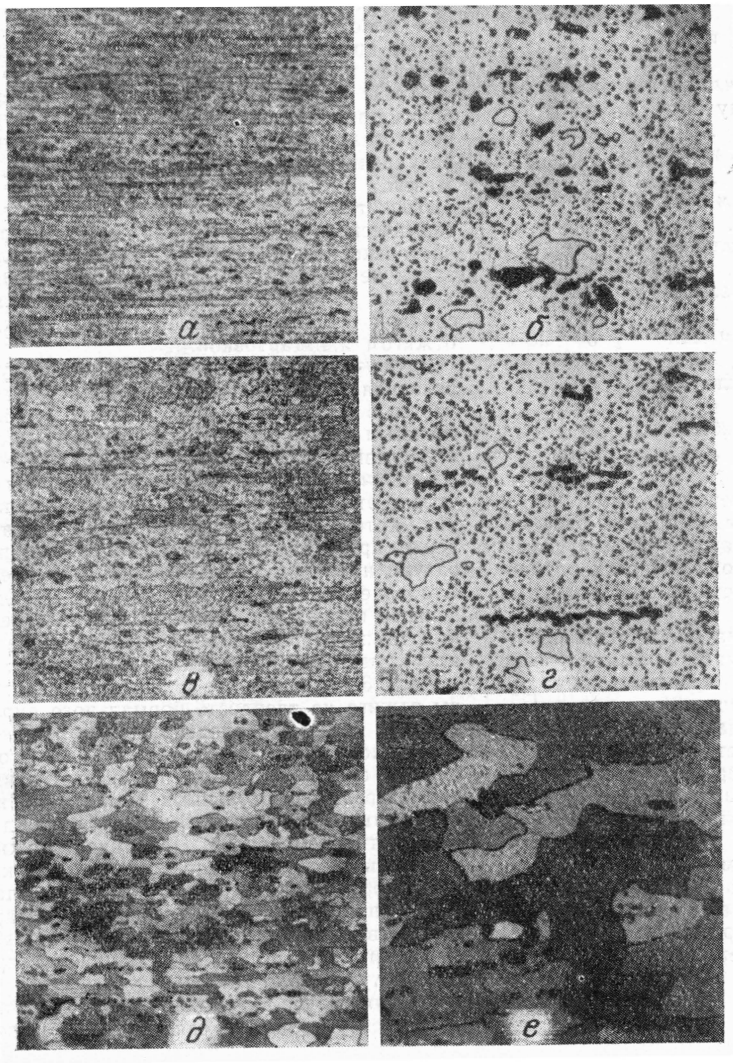


Рис. 27. Структура сплава Д1 в холоднодеформированном состоянии (*а*, *б*), в отожженном (*в*, *г*) и после закалки (*д*, *е*) при увеличении в 100 раз (слева) и 500 раз (справа)

Отжиг дуралюмина производится при температуре рекристаллизации, если материал перед отжигом был только деформирован вхолодную, и при значительно более высоких температурах, если материал был закален (полностью или частично).

Нижняя пунктирная кривая характеризует твердость после нагрева при 500° и охлаждения со скоростью 30° С/час до различных температур с последующим резким охлаждением до комнатной температуры. Охлаждение со скоростью 30° С/час до 250° обеспечивает получение мягкого листа, несмотря на последующее резкое охлаждение.

Верхняя пунктирная кривая на этом же рисунке показывает твердость после резкого охлаждения в воде и естественного старения при комнатной температуре в течение 5 дней. Максимальное упрочнение сплава марки Д1 закалкой и старением достигается при закалке с 500° и дает твердость около 120 единиц по Виккерсу.

Типичные микроструктуры дуралюмина Д1 в холоднокатаном (*а*, *б*) и отожженном (*в* и *г*) состоянии и после закалки (*д* и *е*) показаны на рис. 27.

1. Отжиг

Сюда относятся все виды термической обработки, связанные со снятием нагартовки и частично с изменением микроструктуры упрочняющих фаз. Цель отжига — разупрочнение материала, получение более пластичного состояния.

Отжиг горячекатаных рулонов

Отжиг горячекатаных рулонов применяется для рулонов термически обрабатываемых сплавов перед холодной прокаткой. Он необходим для снятия наклепа и частичной закалки, получаемых при температурах конца горячей прокатки (280—330°). При таких температурах скорость рекристаллизации недостаточно велика, так что упрочнение, получаемое в последних проходах горячей прокатки, не всегда полностью снимается рекристаллизацией.

Этот отжиг, кроме того, имеет своей целью укрупнение структуры и удаление из твердого раствора при охлаждении тех растворимых упрочняющих фаз, которые при температурах нагрева под прокатку перешли в твердый раствор и вызвали частичную закалку при быстром охлаждении. Другими словами, целью отжига является приданне металлу перед холодной прокаткой однородной и равновесной структуры, обеспечивающей максимальную пластичность.

Хотя эффект упрочнения может быть полностью снят при температуре отжига 350° (за исключением сплава марки В95, требующего температуры 410°), практика показала, что отжиг горячекатаных рулонов следует производить при температуре металла 400—425° с выдержкой при этой температуре в течение 1,5—2 час. [1]. Охлаждение с температуры отжига до 250° должно быть медленным, со скоростью не свыше 10° в час, с тем чтобы те соединения, которые были растворены в твердом растворе, выпали в виде частиц достаточно больших размеров; это исключит упрочнение.

Охлаждение от 250° можно производить на воздухе с нерегулируемой скоростью. При таком режиме могут быть, например, получены отожженные листы из сплава марки Д16 с пределом прочности около 19 *кг/мм*^{2} и относительным удлинением 15—16%.

Температура отжига выше 425° для плакированных листов является нежелательной, ввиду того, что при длительном пребывании металла в области высоких температур (примерно 10 час. при температуре более 300°) происходит диффузия меди и других

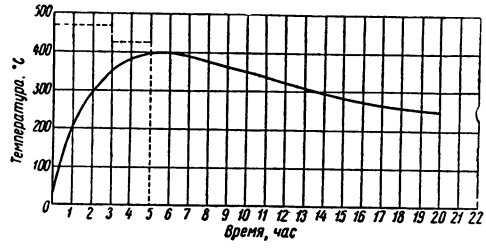


Рис. 28. График режима отжига горячекатаных рулонов в садочной печи (сплошная линия — температура в металле, пунктирная линия — температура, устанавливаемая на терморегуляторах печи)

компонентов в плакирующий слой. Вследствие этого снижается коррозионная стойкость листов и на их поверхности возможно появление темных диффузионных пятен.

Отжиг горячекатаных рулонов обычно осуществляют в электрических печах с воздушной циркуляцией. В период разогрева рулонов до температуры отжига допускается применение теплоносителя с температурой до 470°, которая понижается до 425° в момент нагрева металла до температуры 400—420°. Режим отжига, следовательно, должен осуществляться согласно рис. 28.

Так как сплав типа В95 отжигается при наиболее высоких температурах, то для этого сплава медленное охлаждение требуется даже тогда, когда отжигаемый материал не имеет следов закалки. По некоторым данным, равноценная термическая обработка достигается отжигом при 410—450° с выдержкой 2 часа с последующим нерегулируемым охлаждением на воздухе и стабилизацией в течение 4 час. при 230°. При стабилизации растворимые соединения выделяются из твердого раствора в виде таких же укрупненных частиц, какие получаются при отжиге с последующим медленным охлаждением.

Промежуточный отжиг

Для снятия наклепа, образующегося при холодной прокатке с целью получения желаемой конечной толщины, между холодны-

ми прокатками необходимо вводить один или несколько промежуточных отжигов. Промежуточный отжиг дается после обжатия при холодной прокатке на 45—85% в зависимости от сплава и требуемой конечной толщины.

Снятие наклепа у сплавов, которые не были перед этим частично или полностью закалены, достигается при нагреве до температуры рекристаллизации, которая зависит от состава сплава и степени деформации. Скорость охлаждения с этой температуры не играет существенной роли. Медленное охлаждение после отжига необходимо для сплавов системы Al — Mg с содержанием магния 4,5% и более, чтобы получить структуру, не подверженную коррозии под напряжением. Для этих сплавов рекомендуется скорость охлаждения, не превышающая 50° в час [4].

На практике по некоторым технологиям производят промежуточный отжиг при указанной температуре, по другим — при более высоких температурах, по режиму, приведенному для горячекатаных рулонов. Сплав В95, а также пластичные сплавы (АМц и др.) отжигаются при более высоких температурах. Принятые на практике температуры промежуточного отжига следующие: для сплавов марок АД, АВА, АМгА 380—400°; для сплавов АМцА и В95 400—425°.

Выходной отжиг

Этот вид отжига является операцией, определяющей свойства готовых листов, так как он производится после последней холодной прокатки.

Выходной отжиг листов из термически обрабатываемых сплавов, которые по техническим условиям поставляются в отожженном (М) состоянии, можно производить по режимам промежуточного отжига. Следует учитывать, что критическая деформация, которая в зависимости от вида сплава и других условий составляет от 3 до 25%, может при отжиге привести к громадному росту зерна. Поэтому отжиг листов, имеющих указанные обжатия, является недопустимым. Скорость нагрева в течение отжига часто оказывает значительное влияние на размер рекристаллизованного зерна. Быстрый нагрев всегда обеспечивает более мелкое зерно после рекристаллизации и, наоборот, медленный нагрев вызывает рост рекристаллизованного зерна. Поэтому иногда с целью повышения скорости нагрева температура отжига принимается выше той, которая необходима для полного размягчения.

Механические свойства листов из холоднокатаных пластичных сплавов определяются холодным обжатием, которое дается после выходного отжига. Имеется три состояния поставки листов из пластичных сплавов:

а) полностью отожженные (М);

б) полунагартованные (П), например АМц А-П, АМг А-П;

в) нагартованные (Н), например, АД-Н, АД1-Н, АМцА-Н, АМгА-Н.

Ввиду этого место окончательного отжига в технологии получения холоднокатаных и промежуточных состояний выбирается с таким расчетом, чтобы последующая прокатка до выходной толщины давала механические свойства, соответствующие требуемому состоянию. Подобные нагартованное и промежуточное состояния могут также получаться холодной прокаткой до конечной толщины и последующим низкотемпературным отжигом (возвратом), о котором будет сказано далее.

Пластичные сплавы при отжиге обладают склонностью к образованию крупнокристаллической структуры, что часто недопустимо, когда они используются для холодной штамповки. Склонность к крупнокристаллическому строению стала проявляться после перехода на современные полунепрерывные методы литья. Крупное зерно при штамповке приводит к образованию на закруглениях и по вертикальным граням шероховатостей, которые на готовом изделии приходится дополнительно сошлифовывать механическим или электролитическим путем. Размер зерна после отжига зависит от:

1) содержания компонентов и примесей;
2) степени обжатия перед отжигом;
3) скорости нагрева;
4) температуры и времени отжига.

В отношении влияния химического состава установлено, что для получения наиболее мелкого зерна в готовом листе необходимо, чтобы в сплаве марки АД1 содержание железа было не менее 0,4% при содержании кремния 0,18—0,20%, а марганца не должно быть более 0,02%.

В сплаве марки АМц, по одним данным, содержание железа должно быть в пределах 0,4—0,7%, а марганца — ближе к верхнему пределу. По другим данным, для получения минимального зерна в сплаве АМц желательно содержание железа до 0,5%, марганца около 1,3% при одновременном введении как модификатора около 0,1—0,2% титана. Мелкое зерно у сплава АМц можно получить путем гомогенизации литого или деформированного сляба.

В сплавах системы Al—Mg содержание марганца или хрома не должно быть менее 0,35.

Величина холодного обжатия перед отжигом и скорость нагрева оказывают значительное влияние на размер зерна при отжиге. Отжиг алюминия в соляной печи, по сравнению с воздушной печью с циркуляцией атмосферы, обеспечивает уменьшение размеров зерна в 3—5 раз. При любой скорости нагрева обжатие алюминия перед выходным отжигом на 75%, вместо 50%, уменьшает размер зерна вдвое. Следует, однако, отметить, что обжатие сверх 75% может затруднить полное снятие текстуры при отжиге и вызвать появление преимущественно ориентированной структуры, что нежелательно при дальнейшей штамповке

При отжиге сплавов системы Al—Mg вы-

сокая скорость нагрева имеет еще большее значение, чем при отжиге алюминия и в особенности при отжиге сплава алюминия с 1,25% марганца — АМц. Скорость нагрева сплава АМц оказывает решающее влияние на рост зерна. При отжиге этого сплава необходимо, чтобы рекристаллизация завершилась за несколько секунд, что равносильно нагреву металла от комнатной температуры до температуры отжига за 2—3 мин. Быстрый отжиг этого сплава необходим не только для получения мягкого металла, но и нагартованного и полунагартованного.

В печах обычной конструкции при больших и громоздких садках (например, плотные пачки листов или тугосмотанные рулоны) невозможно получить быстрый отжиг. Ввиду этого выходной отжиг листов из этого сплава необходимо производить в печах непрерывного действия — конвейерных или протяжных. В конвейерных печах отжиг листов должен производиться поштучно, ввиду чего они являются неэкономичными, так как требуют, чтобы последующая нагартовка производилась на низкоскоростных листовых станах. Наиболее приемлемыми печами являются протяжные печи непрерывного отжига лент в рулонах. Однако вследствие малой прочности ленты при температурах отжига возникает опасность повреждения поверхности.

На практике для получения пластичных сплавов в полностью отожженном состоянии применяются высокие температуры выходного отжига. Отжиг проводят в печах большой емкости с воздушной циркуляцией. Температура отжига для сплавов АМ, АМгМ, АВАМ 380—400°; для сплава АМцАМ 470—490°.

Верхний предел температуры сплавов системы Al—Mg лимитируется образованием плотной окисной пленки, которая сильно ухудшает качество поверхности листов.

Низкотемпературный отжиг

Хотя обычно нагартованное (Н) и полунагартованное (П) состояние термически неупрочняемых сплавов получают холодной прокаткой после полного промежуточного отжига, иногда предпочитают получать это состояние сплавов комбинацией наклепа и дополнительной термообработки при температурах ниже температуры рекристаллизации.

Если лист вначале был полностью нагартован, а затем его доводили до требуемой прочности и твердости отжигом при контролируемых времени и температуре, не приводящих к рекристаллизации, то такая термообработка называется возвратом. Возможность применения возврата основана на том, что последовательное изменение свойств зависит от времени и температуры. При низкой температуре, но достаточном времени, происходит необходимое снятие напряжений. При слишком большой длительности материал может частично рекристаллизоваться, что нежелательно, так как может возникнуть неравномерная текстура. Скорость нагрева должна быть такой, чтобы можно было приостановить нагрев в тот момент, когда металл приобретет нужные свойства. Возврат легче всего применить для получения более твердых нагартованных состояний, так как для получения низкой твердости требуется труднодостижимая точность контроля процесса. При отжиге с постоянной выдержкой на твердость или прочность наряду с температурой значительное влияние оказывает содержание примесей.

На рис. 29 показаны кривые температура — прочность, полученные при отжиге

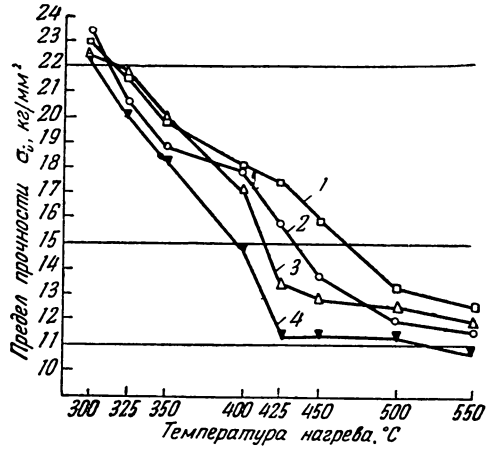


Рис. 29. Зависимость предела прочности от температуры отжига у сплава АМц с различным содержанием марганца и железа (нагрев перед горячей прокаткой до температуры 410°):

1 — 1,35% Mn и 0,19% Fe; *2* — 1,09% Mn и 0,28% Fe; *3*—1,39% Mn и 0,51% Fe; *4*—1,06% Mn и 0,44% Fe

сплава марки АМц с 4 различными присадками марганца и железа. Из этого рисунка видно, что сплав, содержащий 1,35% Mn и около 0,2% Fe, позволяет легко регулировать прочность в широких пределах в зависимости от температуры. На практике для достижения нагартованного состояния применяются следующие температуры обработки на возврат, ° С:

Для сплавов марок:

АМц-Н	270—280
АД1-Н	180—200
АМг-Н	300

Получение нагартованного состояния методом низкотемпературного отжига для сплавов алюминия с магнием имеет еще одно дополнительное преимущество. Установлено, что сплавы алюминия с большим содержанием магния, полученные путем нагартовки из отожженного состояния, при вылеживании в течение длительного времени при комнатной температуре снижают свои свойства: происходит падение прочно-

Таблица 91

Основные характеристики современных печей для отжига рулонов из алюминиевых сплавов

Показатели	Печи		
	СЗП279	СЗП300	СЗП310
Тип печи	Рекуперативная толкательная электропечь (двухъярусная)	Рекуперативная толкательная электропечь (двухъярусная)	Проходная электропечь с роликовым подом
Размер отжигаемых рулонов, *мм*	1000×1560	1000×1570 1000×2570	700×700
Вес рулонов, *кг*	1200	1250 и 2120	150
Рабочая температура печи, °С	400	400	470
Производительность печи, *т/час*	4,8 и 2,4	4,14 и 7,0	1,0
Температура рулонов, выходящих из печи, °С	150 и 220	150	100
Мощность электронагревателей печи, *квт*	555	1200	200
Количество вентиляторов, шт.	29	28	16
Мощность двигателя привода вентилятора, *квт*	7	7	—
Общая установленная мощность печи, *квт*	758	1462	—
Число зон печи	15	20	4
Число зон рекуперации	12	12	—
Число зон окончательного нагрева	3	8	4
Мощность зоны рекуперации, *квт*	25	60	—
Мощность зоны окончательного нагрева *квт*	85	60	60
Скорость охлаждения рулонов, градусов в час.	30 и 12	—	38
Общий вес печи, *т*	176	450	—
Удельный расход электроэнергии, *квт-ч/т*	66 и 119	97,5 и 69	—

сти и предела текучести при заметном возрастании удлинения. Этот процесс не заканчивается в течение даже десяти лет.

В основе смягчения лежат дисперсионные выделения из твердого раствора. Выпадающие частицы слишком велики, чтобы вызвать упрочнение, но вследствие уменьшения содержания магния в твердом растворе происходит смягчение сплава.

Применение к этим сплавам низкотемпературного отжига позволяет получить стабильные свойства, которые обеспечивают величины предела прочности и предела текучести, близкие к получаемым в результате естественного смягчения при несколько более высоком удлинении.

Печи отжига

Для отжига рулонов алюминиевых сплавов применяют следующие типы печей: 1) шахтные емкостью на два-три рулона, устанавливаемых по высоте; 2) камерные—садочные или проходные и 3) полунепрерывные методические с проходом рулонов через печь.

Последний тип печей применим для больших масштабов производства, и использование их расширяется. В этих печах рулоны обычно помещаются вертикально на тележки, реже применяются конвейеры и гидравлические толкатели, с помощью которых рулоны подаются к печи и проталкиваются через нее.

В табл. 91 приведена характеристика ряда современных методических электрических печей для отжига рулонов из алюминиевых сплавов, а на рис. 30, 31а и 31б — общие виды печей СЗП279 и СЗП310.

Методические печи для отжига рулонов алюминиевых сплавов обычно снабжаются поперечной циркуляцией воздуха. Такая схема работы позволяет создать по длине печи зоны с различной температурой для получения контролируемой скорости нагрева и охлаждения металла, а также позволяет применить принцип рекуперации за счет использования для нагрева холодных рулонов тепла рулонов, выходящих из печи. В таких печах два потока рулонов движутся навстречу один другому. В печах отжига, имеющих допустимую точность нагрева ±5—10°, целесообразные скорости потока воздуха составляют от 4 до 7 *м/сек*.

Листы из алюминиевых сплавов обычно отжигают в камерных электрических печах стопками. Для отжига листов и кружков (посудной заготовки) из пластичных алюминиевых сплавов часто применяют проходные печи с роликовым или сетчатым подом, по которому изделия проходят через нагревательную и охладительную камеры.

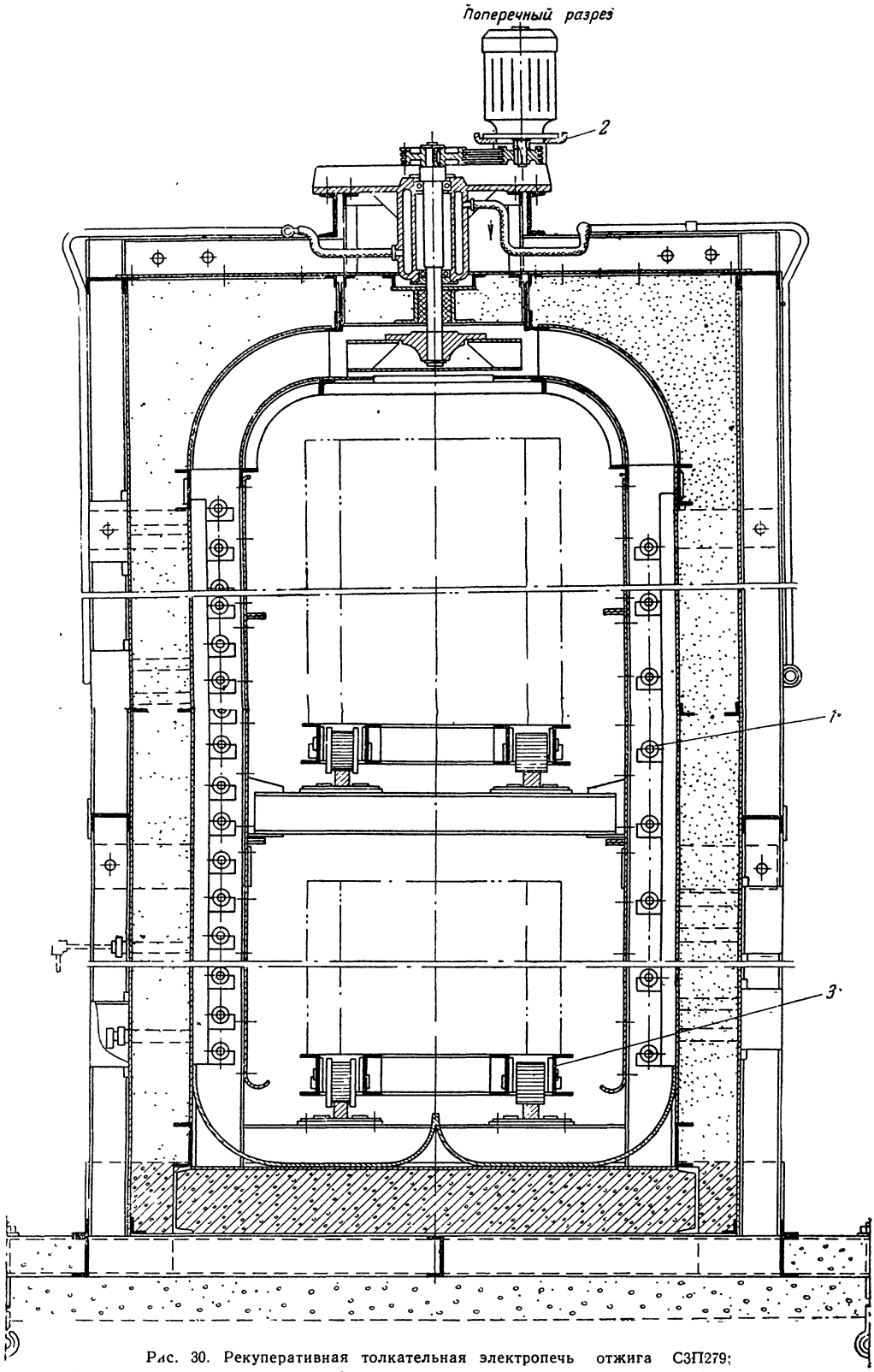


Рис. 30. Рекуперативная толкательная электропечь отжига СЗП279:
1 — нагревательные элементы; *2* — вентилятор для циркуляции воздуха; *3* — тележка с рулоном

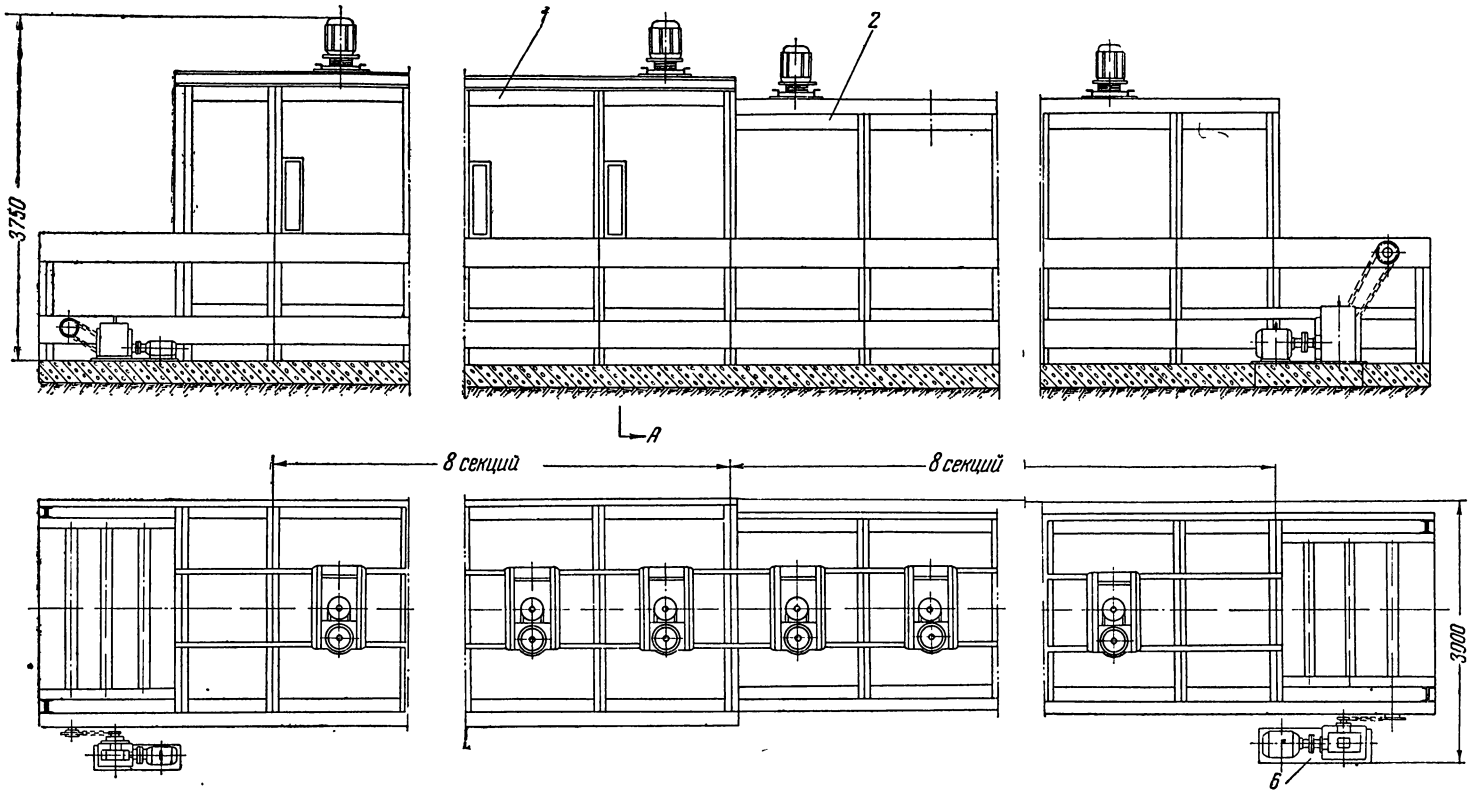


Рис. 31 *а*. Проходная электропечь отжига с роликовым подом СЗП310:
1 — камера нагрева; *2* — камера охлаждения; *3* — вентилятор для циркуляции воздуха; *4* — нагревательные элементы; *5* — роликовый под; *6* — привод роликов

Проходные печи с роликовым или сетчатым подом характеризуются высокой скоростью нагрева, составляющей примерно 5° в секунду на листах толщиной 1 *мм*.

Обычно отжиг алюминиевых сплавов производят в электрических печах сопротивления. Если для нагрева используют газ, то печи выполняются муфельными для устра-

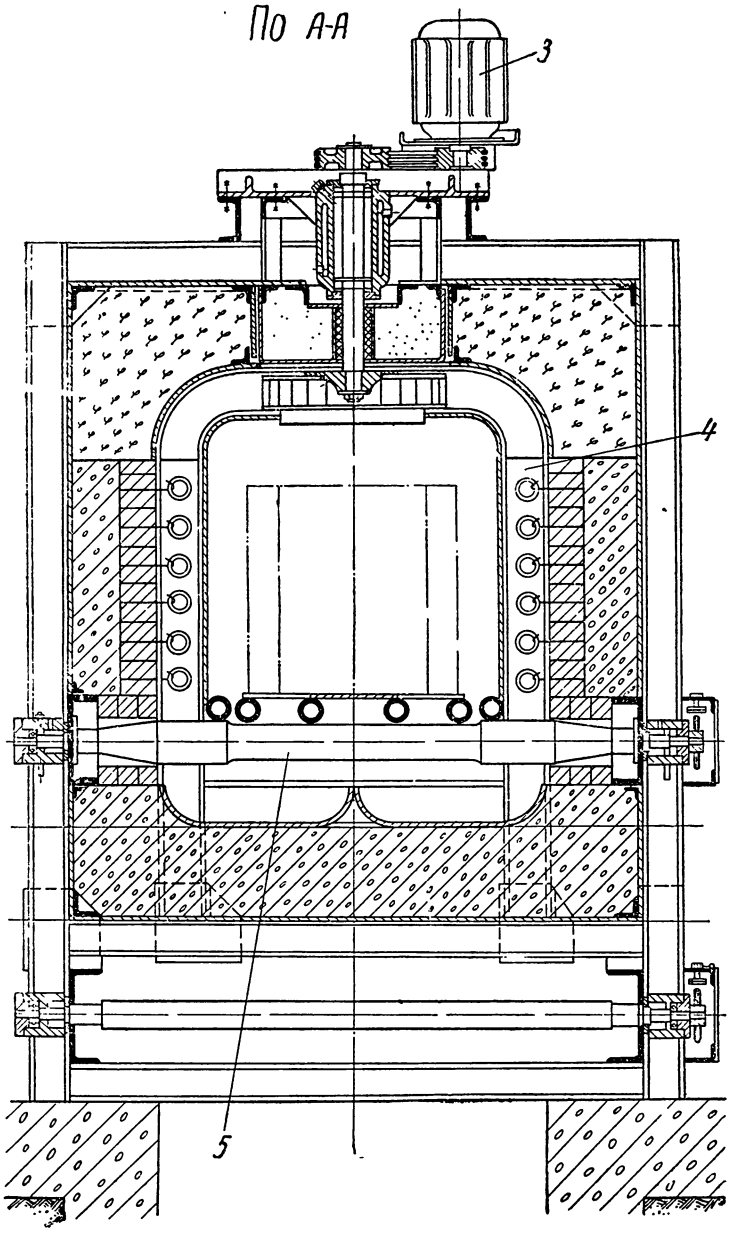


Рис 31 *б*. Поперечный разрез проходной электропечи отжига с роликовым подом С3П310;
3 — двигатель привода вентилятора для циркуляции воздуха; *4* — нагревательные элементы; *5* — роликовый под

Для сравнения можно указать, что при отжиге плотно свернутых рулонов весом 900 *кг* в их середине скорость нагрева равна лишь 1° в минуту.

нения риска загрязнения металла продуктами сгорания в виде сажистых частиц.

Для низкотемпературного отжига листов сплава Al-Mg могут применяться масля-

ные ванны с температурой до 260°, так как этот сплав рекристаллизуется при 250—260° в течение 2 час. после холодной прокатки с обжатием 50—60%.

Отжиг в масле позволяет избавиться от окисления и появления пятен на листах. Масло при таких температурах отжига очень жидкотекуче, в связи с чем его унос на листах из ванны невелик. Пленка масла, остающаяся на металле, впоследствии предохраняет его от коррозии повреждений. При выпуске листов из термически неупрочняемых сплавов в полунагартованном и нагартованном состоянии низкотемпературный отжиг наиболее целесообразно производить в масляных ваннах, если заказчик дает согласие на получение промасленных листов.

2. Закалка

Максимальные прочности и сопротивление коррозии, которые могут быть достигнуты в результате закалки, зависят от следующих факторов:

1) химического состава сплавов, определяющего состав и количество упрочняющих фаз;
2) температуры нагрева под закалку;
3) времени нагрева;
4) скорости закалки.

Упрочнители алюминиевых сплавов

Явления, происходящие при закалке алюминиевых сплавов, первоначально рассматриваются на примере двойного сплава

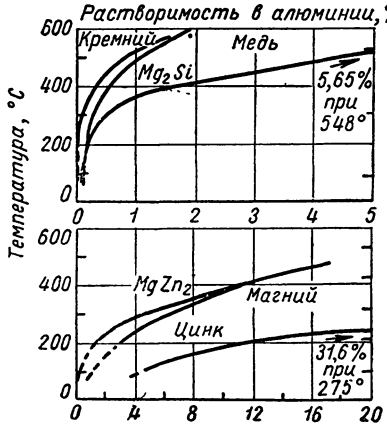


Рис. 32. Кривые растворимости в алюминии основных компонентов и химических соединений алюминиевых сплавов

алюминия с медью. Из рис. 32, на котором приведены кривые растворимости важнейших упрочняющих элементов и соединений в твердом состоянии в алюминии, видно, что растворимость меди в алюминии, которая при эвтектической температуре 548° достигает 5,65%, резко падает с понижением температуры и при комнатной температуре составляет лишь 0,1—0,2%.

Если сплав с 4% меди нагреть до 500°, то медь полностью растворится в алюминии. В кристаллической решетке алюминия атомы меди замещают атомы алюминия и равномерно распределяются по всему сплаву. При быстром охлаждении с 500° частицы химического соединения $CuAl_2$ не успевают выделиться, и при комнатной температуре будет зафиксирован твердый раствор.

Это состояние, вследствие малой подвижности атомов при низких температурах, сохраняется в первое время несмотря на то, что раствор становится пересыщенным и неустойчивым. Равновесное состояние, к которому он стремится, является смесью твердого раствора 0,3% меди в алюминии с частицами химического соединения $CuAl_2$, содержащими около 52% меди. Через некоторое время сплав стареет, т. е. в твердом растворе начинаются структурные изменения, которые вызывают постепенное и значительное возрастание прочности.

Упрочнение протекает самопроизвольно под многодневным влиянием комнатной температуры, причем прирост прочности постепенно снижается по мере приближения к состоянию равновесия. В двойном сплаве системы Al—Cu упрочнителем является химическое соединение $CuAl_2$. Упрочнителями технических деформируемых сплавов являются те или иные химические соединения соответственно составу, причем в одном сплаве одновременно может быть несколько упрочнителей. Действие некоторых упрочняющих соединений после закалки более эффективно может проявляться при нагреве на 100—200°, так как при этом будет происходить искусственное старение.

Сплавы системы Al—Cu—Mg—Si в зависимости от состава упрочнителей разделяются на три группы, определяемые отношением содержания в процентах магния к кремнию, которое сильно влияет на микроструктуру сплавов.

При отношении $Mg : Si > 1{,}73$ упрочнителями являются фаза $S(Al_2CuMg)$ и $CuAl_2$, при $Mg : Si = 1{,}73$ упрочнители состава Mg_2Si и $CuAl_2$, при $Mg : Si < 1{,}73$ упрочнители состава $Al_x Cu_4Mg_5Si_4$ и $CuAl_2$.

Состав упрочнителей определяет различные способы старения. Так, если в первой и третьей группе обычным является естественное старение, то во второй группе наибольшая прочность достигается при искусственном старении. При повышенном содержании кремния к сплавам третьей группы применяется искусственное старение, при котором возникает дополнительно ряд упрочняющих фаз, связанных с кремнием.

В новых высокопрочных сплавах типа Al-Mg-Zn упрочнителем является соединение $MgZn_2$, в сплавах, содержащих медь, Al-Cu-Mg-Zn (В95), в состав упрочнителей могут входить алюминий, медь, магний и цинк. Фаза S в этих сплавах также может служить упрочнителем.

Изменение растворимости части указанных химических соединений в твердом растворе алюминия видно из рис. 32.

Температура нагрева под закалку

Нагрев под закалку производится для перевода максимального количества упрочнителей в твердый раствор с алюминием. Для каждого сплава существует своя оптимальная температура нагрева. Нижний предел температур нагрева под закалку соответствует температуре наиболее полного перехода упрочняющих соединений в твердый раствор, так как неполная растворимость упрочняющих фаз приводит к снижению прочности сплавов в окончательном термически обработанном состоянии. Верхний предел ограничивается наступлением пережога, оплавления присутствующих в сплавах сложных эвтектик, в результате чего наступает резкое падение всех прочностных характеристик.

Правильная температура нагрева, играющая столь важную роль, может быть установлена лишь с учетом химического состава сплава и современной техники регулирования температуры в печах. В табл. 92 приведены низкоплавкие эвтектики и температуры плавления (пережога) и нагрева под закалку ряда термически обрабатываемых сплавов алюминия.

листа до заданной температуры и времени выдержки при этой температуре.

Время доведения листа до температуры нагрева, зависящее от скорости нагрева, всецело определяется типом нагревательных устройств и толщиной листа. Наиболее быстрый нагрев происходит при погружении листов в ванну с расплавленной селитрой, имеющей температуру 500°.

Время нагрева в секундах T, требующееся для доведения листа толщиной S (*мм*) до температуры закалки, в этих печах примерно составляет $T = 12{,}4\ S$. По другим данным, скорость нагрева в селитровой ванне более высокая: алюминиевый лист толщиной 2,6 *мм* в ванне с температурой 500° нагревался до температуры рекристаллизации (300—400°) со скоростью 60° в секунду.

В электрических печах, в которых теплоносителем является циркулирующий горячий воздух, вследствие конвективного теплообмена при предельной скорости воздушного потока около 12—15 *м/сек* коэффициент теплопередачи в 5—7 раз ниже, чем в селитровой ванне.

На основании приведенных данных можно говорить о сравнительных скоростях нагрева листа толщиной 1 *мм* (табл. 93) в печах разных типов.

Таблица 92

Низкоплавкие эвтектики, температуры плавления и нагрева под закалку термообрабатываемых сплавов алюминия

Марка сплава	Химическая формула эвтектики	Химический состав %			Температура плавления эвтектик °С	Температура нагрева под закалку °С
		Cu	Mg	Si		
Д1	Al—$CuAl_2$—Mg_2Si $CuMg_2Si_2Al_4$	28	6	3,5	514	505—510
Д16	Al—$CuAl_2$—Al_2CuMg	27	6	—	506	495—503
АК8	Al—$CuAl_2$—Mg_2Si—$AlCu_4$—Si	25	1,7	8,3	509	500—505
АВ	Al—Mg_2Si	—	—	—	595	530—540
В95	$CuAl_2$, $MgZn_2$, Al_2CuMg, (фаза S), фаза T и другие	—	—	—	В гомогенизированном состоянии 510—520, в литом состоянии 475	460—480

Время нагрева под закалку

Время нагрева под закалку является важнейшим фактором, влияющим на свойства листа. Быстрый нагрев обеспечивает минимальный размер зерна, а следовательно, наибольшую прочность и минимальную диффузию компонентов в плакирующий слой, т. е. наиболее высокую коррозионную стойкость.

Время нагрева, определяемое необходимостью максимального растворения компонентов, складывается из времени доведения

Значительная длительность нагрева в печи с воздушной атмосферой объясняется низкой скоростью нагрева и необходимостью некоторой выдержки для выравнивания температуры в листе.

Время выдержки при температуре нагрева определяется завершением диффузионного процесса растворения компонентов. Установлено, что время выдержки зависит от размера зерна сплава, поступающего на на-

Таблица 93

Коэффициент теплопередачи и скорости нагрева в печах разных типов

Тип печи	Коэффициент теплопередачи ккал/м²·час·°С	Скорость нагрева °С/сек.
Соляная печь — ванна	500—700	60
Индукционная установка	—	50
Воздушная печь с искусственной циркуляцией воздуха	100	10
Печь без циркуляции воздуха	25	5

грев. Важное влияние оказывает гомогенизация литого слитка. Если материал подвергался гомогенизирующему отжигу, то процесс растворения завершается быстро. Очень большое значение имеет степень обжатия при холодной прокатке перед закалкой. Например, в одном исследовании листы из сплава Д1 одинаковой конечной толщины 1 и 3,8 *мм*, полученные из материала в отожженном состоянии с различной величиной холодного обжатия (0; 50 и 87,5%), подвергались нагреву в соляной ванне с разной продолжительностью, последующей закалке в воду и естественному старению в течение 7 дней.

Результаты последующих механических испытаний показали, что оптимальные величины предела прочности, предела текучести да несколько выше, чем при закалке из отожженного [5].

На рис. 33 показано влияние на твердость выдержки при трех температурах в селитровой ванне холоднокатаного неплакированного листа из сплава Д16 толщиной 1 *мм*, который закаливался в воде и старился

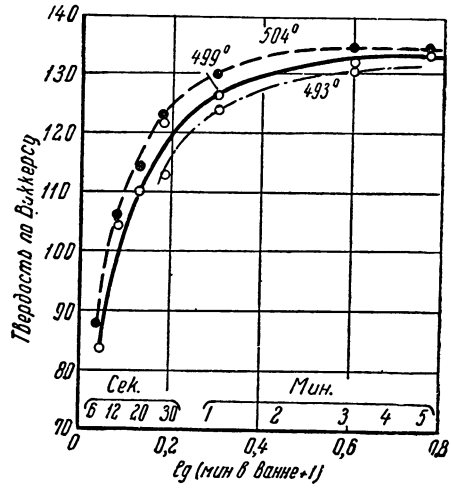


Рис. 33. Влияние выдержки в селитровой ванне при различных температурах на твердость холоднокатаного неплакированного листа Д16 толщиной 1 *мм* (твердость определялась после закалки в воде и естественного старения в течение 24 час.)

24 часа при комнатной температуре. При температуре 499° твердость, близкая к максимальной, достигается при трехминутной выдержке. Однако в промышленных условиях при закалке листов садками принимается значительно большая длительность нахождения листов в печах.

В табл. 94 приводятся некоторые дан-

Таблица 94

Примерная длительность нагрева изделий из дуралюмина различной толщины, мин.

Нагревательное устройство	Толщина или диаметр материала, *мм*							
	до 0,8	0,8—2,5	2,5—5,0	5—12	12—20	20—50	60	70
Селитровая ванна	8	10	12	15—20	30	40—60	60	70
Воздушная электропечь . .	10	10—15	15—20	20—35	35—40	40—60	75	85

и удлинения для листов толщиной 1 *мм*, обжатых на 87,5%, были получены после двух-трехминутного нагрева, в то время как для получения таких же величин у листов, не подвергавшихся холодной прокатке, требовался нагрев в течение 5 мин. Требуемые механические свойства у листов толщиной 3,8 *мм*, не подвергавшихся холодной прокатке, достигались при нагреве в течение 5 мин. Листы, обжатые на 50%, нужно было нагревать только 2—3 мин.

Следует отметить, что как показывает практика, свойства листов при закалке из холоднодеформированного состояния всегные о примерной длительности нагрева различных изделий в селитровой ванне и воздушной электропечи. Неплакированные листы могут подвергаться большей выдержке, чем плакированные, ввиду отсутствия опасности диффузии легирующих элементов в плакирующий слой.

Скорость закалки

Скорость охлаждения металла при закалке (от температуры нагрева под закалку) оказывает значительное влияние на сопротивление коррозии и механические свойства. После нагрева под закалку материал должен быть немедленно закален. Промежуток

времени после выемки из нагревательной среды до погружения в воду должен быть возможно коротким и для сплавов дуралюмин не превышать 30 сек. Для сплавов типа В95, которые более чувствительны, чем дуралюмины, к перерыву между выемкой из печи и погружением в воду, этот промежуток не должен превышать 15 сек. Перерыв в 20 сек по сравнению с перерывом

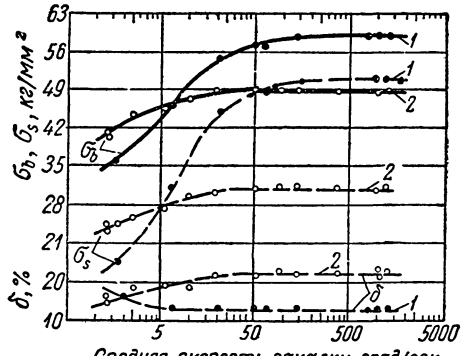


Рис 34 Влияние скорости закалки на свойства при растяжении сплавов Д16 и В95: *1* — кривые для сплава В95, *2* — для сплава Д16

в 3—5 сек. вызывает снижение предела прочности на 1—1,5 *кг/мм*², а предела текучести даже на 3—4 *кг/мм*² [6]. Поэтому закалку этих сплавов лучше всего производить после нагрева в воздушных печах, так как они обеспечивают быстрый перенос садки в закалочный бак.

Установлено, что для получения максимального сопротивления коррозии у дуралюминов в естественно состаренном состоянии необходима очень резкая закалка, получающаяся немедленным погружением в холодную воду. Эта операция вместе с тем вызывает чрезмерное коробление листов, для устранения которого приходится производить многократную правку.

Резкая закалка ускоряет также процессы последующего старения, причем происходит это, по-видимому, в результате напряжений, возникающих вследствие быстрого охлаждения.

Скорость охлаждения оказывает существенное влияние и на механические свойства изделия. На рис. 34 видно, что это влияние для сплава В95 является более значительным, чем для Д16, у которого свойства мало изменяются уже при скоростях закалки, больших чем 50° С/сек. В сплаве В95 скорость закалки больше влияет на механические свойства, чем на сопротивление коррозии, поэтому получение в листе В95 необходимых свойств создает уверенность в том, что сплав был закален достаточно быстро и обеспечена необходимая коррозионная стойкость.

В случае применения к алюминиевомедным сплавам искусственного старения достаточное сопротивление коррозии может быть получено и при медленной закалке.

Быстрое опускание садки в ванну с холодной водой обеспечивает скорость охлаждения, не вызывающую появления интеркристаллитной коррозии только у тонких листов. Однако для более толстых листов опускание в ванну уже не обеспечивает достаточной скорости охлаждения, которая бы исключала появление интеркристаллитной коррозии. Соответствующие кривые влияния толщины на скорость охлаждения даны на рис. 35.

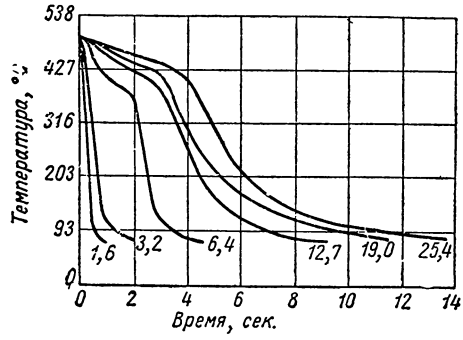


Рис. 35. Влияние толщины образца алюминиевого сплава на скорость закалки в холодной воде. Размер закаливаемых образцов 25 × × 25 *мм*. Цифры у кривых указывают толщину образцов (*мм*)

В критическом диапазоне температур от 400 до 300° у листов толщиной 3,2 *мм* появляется лишь едва заметный, а у листов толще 6,3 *мм* — весьма ясный перелом в ходе кривых, являющийся результатом образования на поверхности металла изолирующей пленки пара. Эта паровая пленка сни-

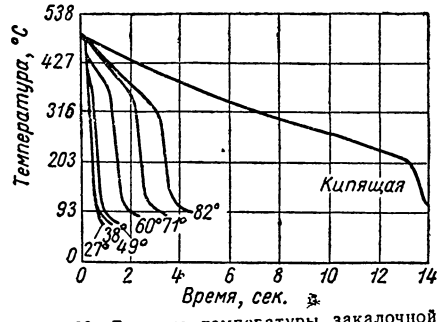


Рис. 36. Влияние температуры закалочной воды на скорость охлаждения листов алюминиевых сплавов толщиной 1,6 *мм*. Цифры у кривых указывают температуру воды

жает скорость охлаждения при закалке в ванне с водой. Более высокая скорость закалки получена для прокатанных профилей путем мощного обрызгивания холодной водой, чем снимается пленка пара. Такой же метод может быть применен и при закалке листов толстых сечений.

Недавно была опубликована работа по применению ультразвука для разрушения паровой рубашки, образующейся при закалке [7].

Температура закалочной воды оказывает значительное влияние на скорость закалки. Рис. 36 показывает это влияние для листа

толщиной 1,6 *мм*. В условиях эксперимента, повышение температуры воды от 30 до 50° незначительно сказалось на скорости охлаждения. Однако уже при 60° и выше ясно проявился перелом в ходе кривой, связанный с образованием пленки пара. Температура воды выше 50° является недопустимой. Идущая для закалки вода во избежание образования на листе белесых пятен должна быть умягчена до временной жесткости около 0,5°.

Появление пятен на поверхности листов алюминиевых сплавов в процессе закалки может быть объяснено следующими причинами:

1) взаимодействием между поверхностью металла и нагревательной средой;
2) нарушением пленки прокатной смазки;
3) воздействием закалочной воды.

В воздушных печах для нагрева под закалку из-за взаимодействия металла с атмосферой могут возникать пятна из окислов. В соляных ваннах на поверхности листов также могут появиться пятна из-за воздействия расплавленных солей на металл.

Охлаждающие смазки, применяемые при прокатке, остаются на поверхности листов, подвергаемых отжигу. В сильном потоке воздуха смазка при температуре свыше 300° испаряется без разложения. При ограниченном доступе кислорода, например внутри плотно смотанного рулона, при температуре около 300° прокатные смазки разлагаются, оставляя коричневый осадок.

Для выжигания этих пятен в частично окислительной атмосфере необходима температура от 450 до 500° в течение длительного времени (до 20 час.); при поступлении свежего воздуха эта температура снижается до 400° при выдержке 5 час.

Пятна от промывной воды появляются на листах после сушки в случае, если содержание растворенных твердых веществ в воде превосходит 0,01%.

Для лучшего удаления коричневых пятен желательно проведение отжига в две стадии: вначале медленный нагрев до 250° для максимального испарения масла, после чего быстрый нагрев в зоне температуры рекристаллизации в сильно окислительной атмосфере. Первую стадию нагрева можно проводить в отдельной печи, возможно подогреваемой отходящими газами от печи со скоростным нагревом второй стадии.

Закалочные печи

При нагреве под закалку необходимо, во-первых, чтобы температуру металла можно было контролировать с высокой точностью, не менее чем ±2°, а во-вторых, чтобы нагрев осуществлялся быстро, в особенности плакированных листов: во избежание диффузии легирующих элементов в плакирующий слой и связанного с этим снижения коррозионной стойкости.

Поставленным требованиям удовлетворяют печи — ванны из расплавленных солей и воздушные печи с мощной циркуляцией воздуха.

Соляные печи — ванны обычно заполняются расплавленной смесью калиевой и натриевой селитры. Обеспечиваемый в этих печах перепад температур составляет ± 2°. Общая мощность нагревательных элементов печи с ванной, имеющей размеры в плане 1,2×5,5 *м* и глубину 2,5 *м*, составляет около 600 *квт* при производительности 1750 *кг/час*. Удельный теоретический расход электроэнергии печью составляет около 600 *квт*. При работе печей-ванн в них возникает конвекция расплавленной соли, избавляющая от необходимости ее перемешивания.

Преимуществами соляных печей являются точность поддержания требуемой температуры и простота подвески листов, так как лист при погружении в селитру по сравнению с весом в воздухе становится легче примерно в 3 раза. Надежным оказывается уже подвешивание листа за две угловых точки при его длине около 4 *м*.

Соляные печи обладают рядом существенных недостатков, важнейшие из которых заключаются в следующем:

1. Передача садки листов из соляной печи в закалочную ванну, возможная лишь с помощью мостовых кранов и требует значительного времени (до 40 сек.), что может привести к браку листов по механическим свойствам.

2. В эксплуатации соляные печи неэкономичны вследствие большого расхода селитры, уносимой с листами.

3. Соляные печи должны размещаться в хорошо вентилируемых помещениях, так как пары селитры являются вредными. В случае перегрева ванны возможен взрыв селитры.

4. С поверхности закаленных листов селитра должна тщательно удаляться, поэтому рядом с закалочным баком устанавливается промывная ванна, желательно с подкисленной водой, в которой листы тщательно промываются для полного смыва селитры во избежание образования очагов коррозии.

Из-за перечисленных недостатков селитровые ванны сохранились лишь на старых заводах. В настоящее время широко распространены нагревательные печи сопротивления с воздушной циркуляцией, в которых устранены недостатки соляных печей.

Особенно важным преимуществом таких печей является быстрая передача садки листов в закалочную ванну, не превосходящая в больших печах 5 сек. Печи с воздушной циркуляцией выполняются с открывающимся подом, через который вводят садку. Садку либо набирают в корзины, либо подвешивают к рамам. Когда нагрев закончен, открывают под печи и садку быстро опускают в закалочную ванну, расположенную под печью.

Печи должны обеспечивать максимальную скорость нагрева при сохранении высокой точности поддержания температуры. Первое условие требует большой установленной мощности печи, второе обусловливает высокие скорости воздушных потоков (до 11—14 *м/сек*) вдоль листа, которые обеспечивают

перепад температуры по длине листа не более чем на ±2°. Этим вызывается установка центробежных вентиляторов большой производительности и мощности, которая в среднем достигает 20—25% от мощности нагревателей печи.

Из-за трения воздуха о изделие большая часть мощности, потребляемой вентилято-

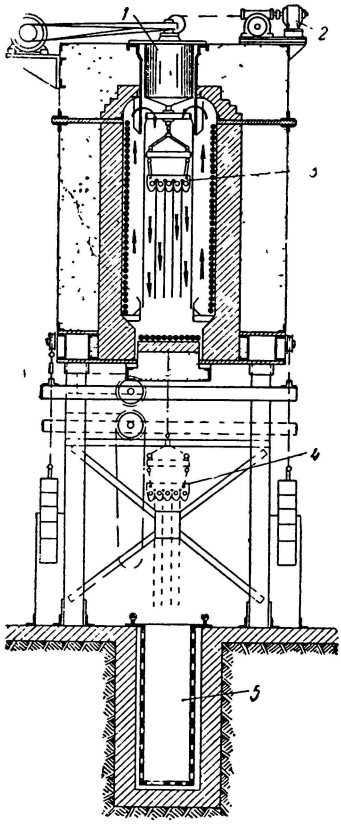


Рис. 37. Поперечный разрез воздушной электропечи для закалки листов алюминиевых сплавов.
1 — вентилятор для циркуляции воздуха; *2* — лебедка для подъема и опускания садки; *3* — садка листов в камере нагрева; *4* — опускание садки в закалочный бак; *5* — закалочный бак

рами, также превращается в тепло. На рис. 37 приведен разрез воздушной закалочной печи.

Успешная работа печей зависит от надежности крепления листов, которое не должно допускать возникновения потертостей на листах из-за покачивания их под действием циркулирующего воздуха и обеспечивать поступление листов в закалочный бак перпендикулярно зеркалу ванны. При загрузке путем навешивания листов к рамам приходится предусматривать многоточечную шарнирную систему подвешивания. На рис. 38 показана садка листов, подвешенная к раме над закалочным баком.

При закалке возникает неравномерное охлаждение, вызывающее сильную деформацию закаливаемых изделий. Так как при вертикальном опускании в закалочную воду коробление минимальное, то обычно печи для листов располагаются вертикально.

При нагреве листов под закалку в таких печах, имеющих водяной бак под камерой нагрева, имеется риск образования пузырей вследствие диффузии водяного пара в поверхность металла.

Для защиты от образования пузырей на поверхность металла иногда наносят креозотную смазку или небольшое количество

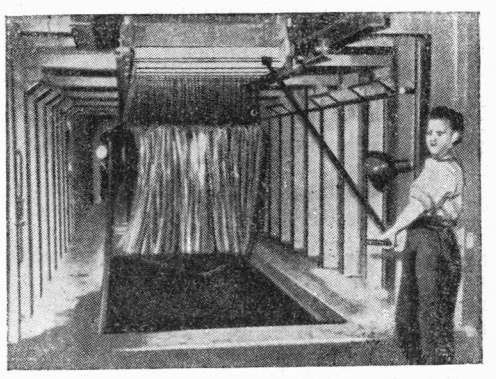


Рис. 38 Общий вид садки листов под камерой нагрева воздушной закалочной печи

такой смазки вводят в атмосферу печи при загрузке в нее металла. Иногда для этого применяют натриевый борат фтора.

Трудоемкими операциями у таких печей являются подвеска и закрепление листов. Нагрев под закалку в садочных печах обусловливает необходимость разрезки рулонов на листы перед закалкой. Естественно, что все последующие отделочные операции (правка, растяжка, обрезка) также производятся в листах. Эти ограниченные возможности закалочного оборудования значительно удорожают стоимость изготовления листов. Ввиду этого ведутся работы по внедрению проходных листозакалочных устройств и протяжных агрегатов для непрерывного нагрева, закалки, сушки и правки ленты.

3. Старение

Вторым этапом термической обработки алюминиевых сплавов, производимой с целью упрочнения, является старение (дисперсионное твердение).

Прочность и сопротивление коррозии, достигаемые в результате старения, находятся в зависимости от следующих факторов:

1) химического состава сплава;
2) температуры старения;
3) времени старения.

В общем виде изменение прочности в результате старения характеризуется кривыми прочность — время при различных температурах, строящимися для каждого сплава в отдельности. Прежде чем рассмотреть

указанные кривые, целесообразно познакомиться с современными представлениями о сущности процесса старения.

Так как закаленный твердый раствор является неустойчивым, пересыщенным в сплаве начинаются превращения, приводящие к значительным изменениям свойств и в первую очередь к возрастанию прочности.

Чл.-корр. АН СССР Петров Д. А. [8] предложил теорию старения сплава системы Al — Cu. По этой теории существо процесса старения заключается «в формировании равновесной фазы распада путем образования ряда промежуточных структур. Первые в ряду этих структур мало отличаются от структуры твердого раствора, последующие структуры все более сходны со структурой равновесной фазы распада. Связь с решеткой твердого раствора у первоначально образующихся структур еще ничем не нарушена. Затем непрерывность перехода между образующейся структурой и решеткой твердого раствора нарушается по одному из геометрических направлений. При этом обе структуры остаются связанными по общим плоскостям. Наконец, нарушается связь и в этих плоскостях. Постепенно формируется равновесная фаза распада».

В технических многокомпонентных сплавах процесс старения значительно более сложен, хотя и предполагают, что он, в общем, подобен описанному для двойного сплава.

Процесс, при котором упрочнение происходит при комнатной температуре, называется естественным старением. У некоторых сплавов стабильное состояние после старения достигается за 3—4 дня, в то время как у других этот процесс растягивается на годы. Влияние времени на изменение твердости трех промышленных сплавов: АВ, Д1 и В95 в результате естественного старения показано на рис. 39, из которого видно, что все три сплава при комнатной температуре упрочняются в разной мере [1].

Эффект упрочнения при комнатной температуре в наименьшей мере проявляется в сплаве АВ. Дуралюмин марки Д1 значительно упрочняется во время старения при комнатной температуре, причем примерно через 6 дней достигается стабильное состояние. Эффект естественного старения достигает максимальной величины в сплаве марки В95, показывающем через 3000 час увеличение твердости на 70 единиц по Виккерсу. Однако и по истечении 3000 час. старение продолжает протекать с меньшей, но довольно значительной скоростью.

На кривой упрочнения нет ярко выраженного предела упрочнения. Чрезвычайно продолжительное время, необходимое для достижения постоянства свойств в сплавах этого типа, является одной из причин (наряду с пониженной коррозионной стойкостью), по которым он не может применяться в естественно состаренном состоянии.

[1] Химический состав сплавов несколько отличен от принятого в СССР. Сплав АВ имел повышенное содержание марганца — 0.7% вместо 0.30%, сплав В95 — повышенное содержание меди—1,7%, вместо 1.0%.

В случае снижения температуры ниже комнатной скорость диффузии упрочняющих частиц уменьшается и процесс старения замедляется. Особенно сильно это проявляется в сплаве марки АК8, в котором при температуре —18° изменение свойств не наблюдается и после недельной выдержки. При

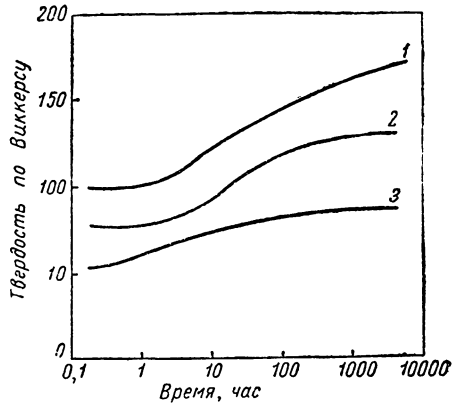


Рис. 39. Изменение твердости алюминиевых сплавов в зависимости от времени естественного старения:
1 — сплав В95; 2 — сплав Д1; 3 — сплав АВ

0°С начало старения замедлялось более чем на 10 час., после этого периода старение возобновлялось при пониженной скорости.

Начало повышения твердости у сплава марки Д1 наблюдается через два часа после закалки. Ввиду этого устранять коробление листов следует в течение этого промежутка времени.

Операции правки и прогладки, которым подвергаются листы после закалки для устранения коробления, приводят к некоторому возрастанию прочности листов, связанному с ускорением процесса естественного старения. Даже незначительная деформация, которая дается при растяжке для устранения волнистости листа, оказывает некоторое влияние на скорость старения и конечные механические свойства. Наиболее высокая скорость старения наблюдается у листов марок Д16 А-ТН, которые после закалки подвергаются нагартовке на 5—6%.

Деформация закаленных листов сплава Д16 оказывает значительное влияние на эффект и скорость искусственного старения.

Выделение из твердого раствора упрочняющих частиц значительно ускоряется нагревом при повышенных температурах, который называется искусственным старением. Применяемый в промышленности температурный интервал старения лежит между 100 и 200°, хотя в определенных условиях может быть применена и более высокая температура. Выдержка при температуре старения колеблется от 4 до 24 час.

Сплавы типа дуралюмин, не содержащие кремния, имеют максимальную прочность после естественного старения и обычно используются в этом состоянии. В сплавах ти-

на дуралюмин, содержащих 0,6—1,2% кремния, напротив, наибольшее увеличение прочности наблюдается после искусственного старения, и поэтому к ним применяют этот вид обработки. У всех термически обрабатываемых сплавов искусственное старение по сравнению с естественным вызывает значительный рост предела текучести при одновременном снижении относительного удлинения.

На рис. 40 показан ряд типичных кривых[1] растяжения для сплавов марок В95, АК8 и

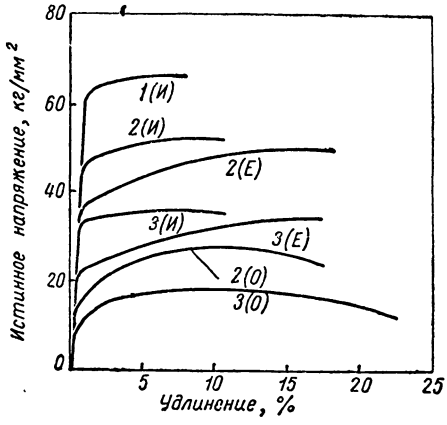


Рис. 40. Типичные кривые напряжение — деформация для алюминиевых сплавов: *1* — В95, *2* — АК8, *3* — АВ после различных видов термообработки: *Е* — естественное старение *И* — искусственное старение, *О* — отжиг

АВ в различных термически обработанных состояниях. Кривые растяжения естественно состаренных образцов сплавов АК8 и АВ показывают, что предел текучести $\sigma_{s\,(0,1)}$ для этих сплавов составляет приблизительно 2/3 от предела прочности σ_b, причем после достижения предела текучести напряжение продолжает плавно увеличиваться вследствие равномерного наклепа материала и после значительного удлинения достигает предела прочности.

После искусственного старения достигается предел прочности лишь немного больший, чем после естественного. Однако предел текучести при искусственном старении настолько повышается, что отношение предела текучести к пределу прочности достигает 0,9. Кривые растяжения для искусственно состаренных образцов одновременно показывают резкое падение пластических характеристик за пределом текучести.

На этом же рисунке приводятся для сравнения две кривые растяжения отожженных образцов, иллюстрирующие предельно достижимую пластичность.

При температуре искусственного старения прочность сначала повышается, а затем медленно снижается. Кривые прочность — время для различных температур аналогичны по своей форме и показывают, что время, необходимое для достижения максимальной прочности, снижается с повышением температуры. Максимальная прочность, достигаемая при этом, несколько снижается. Кривые для сплава типа АВ, представленные на рис. 41, показывают, что старение в течение 1 часа при 200° приблизительно равноценно старению в течение 1000 час при 125°. Принятый в промышленности режим старе-

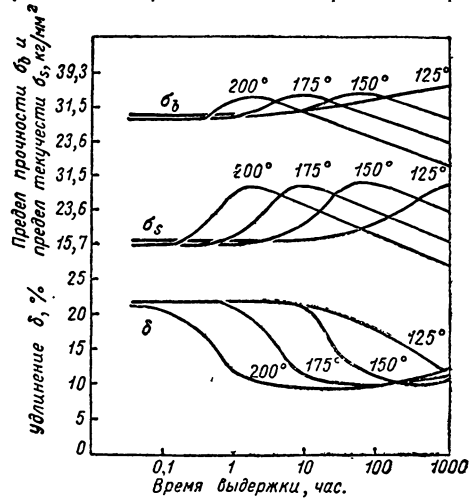


Рис. 41. Кривые упрочнения при искусственном старении сплава АВ при различных температурах после мгновенного охлаждения с температуры 525°

ния, дающий оптимальное соотношение прочности и пластичности, состоит в нагреве до 150—160° с выдержкой в течение 12—15 час.

Учитывая аналогичный характер кривых для сплава марки АК8, для искусственного старения этого сплава рекомендуется приблизительно такой же режим.

Следует отметить, что во избежание снижения эффекта упрочнения искусственное старение сплавов типа АВ и АК8 необходимо производить сразу после закалки, не допуская длительного вылеживания при комнатной температуре. Уменьшение эффекта искусственного старения появляется при вылеживании уже в течение 30 мин. и достигает максимума при 6 час. Устранение этого явления удлинением периода искусственного старения позволяет несколько поднять предел прочности, но достигается это при одновременном падении удлинения, что недопустимо[1].

Изменение свойств сплава типа В95 в зависимости от времени старения при различных температурах приведено на рис. 42. Из этих данных следует, что в отличие от других сплавов максимально возможное упроч-

[1] Эти кривые получены при лабораторных условиях и имеют своей целью пояснить общий характер изменения свойств сплавов Абсолютная величина прочности зависит от формы и размеров каждого отдельного изделия.

[1] Влияние вылеживания на свойства у сплава АВ является значительно более резким, чем у сплава АК8

нение сплава В95 сильно зависит от температуры старения. В промышленности для упрочнения плакированных листов из сплава В95 применяется температура 120—140° при продолжительности до 24 час.

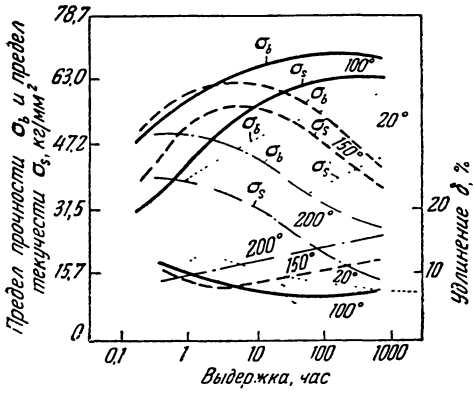


Рис. 42. Кривые упрочнения при искусственном старении сплава В95 при различных температурах после мгновенного охлаждения с температуры 400°

Более высокая прочность, очевидно, могла бы быть получена путем старения при 100°, но тогда потребовалась бы значительно большая выдержка. При этом возросло бы отношение предела текучести к пределу прочности, а удлинение упало.

Из рисунка видно, как температура старения влияет на отношение предела текучести к пределу прочности. Низкая величина соотношения этих пределов, наблюдаемая при комнатной температуре, может потребовать для окончательной стабилизации свойств старение в течение нескольких лет.

Перерыв между закалкой и искусственным старением в сплаве В95 также понижает эффект упрочнения, но в меньшей степени, чем у сплава АК8, и в гораздо меньшей, чем у сплава АВ. Снижение прочностных показателей в искусственно состаренном состоянии наблюдается при вылеживании свыше 4 час. и достигает максимума в интервале 8—16 час. Поэтому искусственное старение В95 следует производить либо в течение первых двух часов, либо через двое суток после закалки.

В последние годы искусственное старение находит применение для повышения предела текучести у сплавов Д1 и Д16. Применяемый режим старения (180—190° при выдержке 8—12 час.) позволяет получать более высокий предел текучести при сопротивлении коррозии несколько более низком, чем после естественного старения, но все же приемлемом.

Наряду с обработкой при постоянной температуре, искусственное старение можно производить и по более сложным режимам. Например, с целью сокращения общего времени старения или для улучшения обрабатываемости давлением к листам сплава В95 применяется ступенчатая обработка. Она заключается в старении в течение определенного времени при одной температуре, охлаждении до комнатной температуры и в повторном нагреве с выдержкой при более высокой температуре.

Таблица 95

Режимы термообработки, применяемые для листов из алюминиевых сплавов [1]

Марка сплава	Режим закалки		Режим старения		
	температура °С	закаливающая среда	температура °С	приблизительное время выдержки час.	обозначение состояния
АВ	520—525	Холодная вода	150—160	12—15	АВА-Т1
			170—175	6—10	АВА-Т1
АК8	500—505	То же	170—175	8—12	АК8-Т1
			150—160	16—20	АК8-Т1
Д1	505—510	» »	Комнатная	48—96	Д1А-Т
			180—190	8—12	Д1А-Т1
Д16	495—503	» »	Комнатная	48—96	Д16А-Т
			180—190	8—12	Д16А-Т1
В95	460—480	» »	120—125	22—26	В95А-Т1
			95—100	4—6*	В95А-Т1
			С последующим старением		
			155—160	8—10	В95А-Т1
			95—100	2—4*	В95А-Т1
			С последующим старением		
			160—165	2—4	—

* Старение листов осуществляется в две стадии. После первого нагрева до низкой температуры производится охлаждение на воздухе до комнатной температуры. Время выдержки принимают в зависимости от требований.

Возможно также применение обработки, называемой «прогрессивным» старением, при которой температура искусственного старения постепенно возрастает по мере выдержки.

В табл. 95 приведены применяемые режимы термообработки листов алюминиевых сплавов.

Возврат при старении

Если состаренный при комнатной температуре сплав нагреть до температур выше 220—225° с кратковременной выдержкой, то он возвращается в исходное свежезакаленное состояние; после охлаждения его с этих температур естественное старение вновь повторяется и твердый раствор испытывает те же превращения, что и сразу после закалки.

На рис. 43 кривая *а* показывает изменение предела прочности сплава Д1 в процессе естественного старения сразу после закалки, т. е. представляет собой обычную кривую

Таблица 96

Режимы обработки на возврат сплавов типа дуралюмин

Наименование сплава	Температура °С	Продолжительность сек.
Сплав Д1	250	30—40
Сплав Д16 при пониженном содержании магния	270	20—30
При верхнем содержании магния	250—260	10—20

Это явление имеет важное практическое значение, так как дает возможность при штамповке заменить перезакалку обработ-

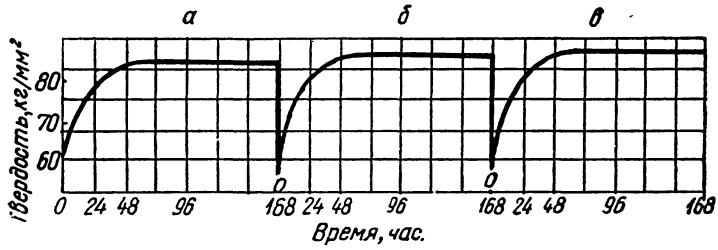


Рис. 43. Изменение твердости дуралюмина:
а — после закалки; *б* — после первого кратковременного нагрева при 200—250°; *в* — после второго кратковременного нагрева при 200—250° [8]

старения. Кривая *б* иллюстрирует изменение его прочности после снятия шестидневного упрочнения пятиминутной выдержкой при 214°, а кривая *в* — после снятия таким же нагревом упрочнения, достигнутого при вторичном шестидневном старении после первого нагрева.

Как видно из рис. 43, кривые *б* и *в* почти полностью повторяют первоначальную стадию старения, однако на каждой последующей кривой сказывается появляющийся при нагреве процесс искусственного старения, связанный с изменением концентрации твердого раствора. Восстановление свойств при многократном повторении возврата протекает с постепенным затуханием от цикла к циклу.

Возврату при старении подвержен не только предел прочности, но и электросопротивление и другие свойства, изменяющиеся в результате процесса естественного старения.

На рентгенограммах явление возврата сказывается в том, что после кратковременного нагрева до температур 200—240° закаленного и естественно состаренного сплава двумерный дифракционный эффект исчезает и вновь постепенно появляется в процессе повторного естественного старения, если сплав после нагрева возвращается к комнатной температуре.

кой на возврат. Воронов [6] приводит установленные для сплавов типа дуралюмин оптимальные условия обработки на возврат (табл. 96).

Печи искусственного старения

Для искусственного старения требуются печи, в которых рабочий интервал температур лежит в пределах 100—200°, а точность поддержания температур составляет около ±5.

Обычно для этих целей применяют камерные электрические печи с искусственной циркуляцией воздуха. Печи выполняются с кладкой, рассчитанной именно на эти температуры. Они состоят из металлоконструкции с соответствующей тепловой изоляцией. Эти печи имеют малую мощность, хорошую изоляцию и работают экономично.

§ 8. ЛИСТООТДЕЛОЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ

Прокатанные до конечной толщины листы подвергаются ряду листоотделочных операций.

Трудоемкость листоотделочных операций, включая термообработку, может достигать 50% общей стоимости обработки. При массовом выпуске листоотделочные операции целесообразно выполнять непрерывным потоком с конвейерной связью отдельных операций. Такая обработка, исключающая частые перекладывания листов, уменьшает воз-

можности повреждения поверхности и обеспечивает экономичную работу с наиболее коротким циклом производства. Ниже будут рассмотрены технологические особенности некоторых листоотделочных операций.

1. Обработка поверхности для улучшения качества и повышения коррозионной стойкости

Повышение требований к качеству поверхности листов из алюминиевых сплавов, идущих для нужд авиационной промышленности, в связи с резким ростом скоростей современных самолетов привело к появлению различных методов улучшения качества поверхности листов и их коррозионной стойкости: травления, обезжиривания, электрохимического и химического оксидирования, окрашивания.

Травление иногда применяется для улучшения поверхности листов после закалки. Листы подвергаются травлению садками со следующей последовательностью операций: 1) травление в ванне с 5%-ным раствором NaOH, 2) промывка в ванне с холодной водой, 3) промывка в ванне с нейтрализующим 7%-ным раствором HNO_3, 4) окончательная промывка в ванне с горячей водой при температуре 60°.

Обычно после этого листы сушат горячим воздухом, причем не допускается нагрев их выше 70°, так как в противном случае может начаться процесс искусственного старения, приводящий к снижению коррозионной стойкости.

Для очистки поверхности листов от следов смазки и загрязнений иногда применяют обезжиривание, которое осуществляется в моечно-сушильных машинах непрерывного действия. Листы, проходящие через машину по транспортеру, обмываются горячим обезжиривающим раствором, подаваемым из сопел. В качестве обезжиривателя иногда применяют раствор тринатрийфосфата, нагретый до 80—85°. Вторая группа сопел тщательно промывает поверхность листов водой, после чего их высушивают воздушным потоком. Время прохождения листа через машину составляет 4—5 сек. Для обезжиривания лент также применяют промывку трихлорэтиленом и прокладку лент и листов специальной адсорбирующей бумагой. Для улучшения коррозионной стойкости листов из алюминиевых сплавов широкое распространение получило оксидирование.

Существо этого метода заключается в искусственном увеличении толщины окисной пленки, всегда покрывающей поверхность алюминия и его сплавов. Оксидирование производится химическим или электрохимическим путем (анодирование).

Химическое оксидирование осуществляется в водном растворе Na_2CO_3 и Na_2CrO_4 при 80—100°. При этом получается оксидная пленка толщиной 2—3 *мк*.

Электрохимическое оксидирование производится в 20%-ном растворе серной кислоты при плотности тока 1,5—2,5 *а/дм*^{2} и напряжении 10—20 *в*. За время от 20 до 60 мин. образуется оксидная пленка толщиной до 10—20 *мк*. При интенсивном охлаждении электролитической ванны можно получать пленки толщиной в сотни микрон.

Плотная, толстая и гладкая пленка Al_2O_3 хорошо защищает поверхность листов от влияния агрессивных сред, особенно в сочетании с плакирующим слоем чистого алюминия.

К оксидной пленке хорошо прилипают лак и краска. Кроме того, оксидная пленка поглощает молекулы многих органических красителей и принимает при этом их цвет. Это свойство используется для окрашивания листового материала, причем прочность слоя такой краски значительно выше прочности краски, нанесенной обычными методами.

2. Снятие коробления

Снятие коробления свежезакаленных листов обычно достигается в результате следующей обработки:

1) правки на роликовых правильных машинах с целью устранения глубокого коробления;

2) прогладки на стане для полного снятия коробления, волнистости по кромкам и получения гладкой глянцевой поверхности;

3) правки растяжением на гидравлических растяжных машинах с удлинением листа на 2—3% его исходной длины с целью полного устранения волнистости по всей поверхности листа.

Операции по устранению коробления необходимо выполнять в течение 30—40 мин. после закалки, пока не закончился инкубационный период и не начался процесс старения. В противном случае для того, чтобы выправить листы, могут потребоваться слишком большие деформации, которые приведут к недопустимому падению удлинения металла и повышению его прочности.

Прогладка и нагартовка листов

Прогладке подвергаются почти готовые листы, поэтому операция требует большого внимания. Поверхность прокатных валков должна быть полированной, только тогда может быть достигнута глянцевая поверхность листа. В зависимости от плоскостности листа и состояния его поверхности при прогладке дается от 3 до 7 проходов через прогладочный стан, причем общее обжатие за всю прогладку не должно превышать 0,5—1,0%. Так как при прогладке возникают сравнительно низкие давления, а большие диаметры валков вследствие бо́льшего проскальзывания содействуют получению глянца, то для прогладки наиболее подходят двухвалковые клети с роликовыми подшипниками (рис. 44). Характеристики двух таких станов даны в табл. 97. Реверсивные клети снабжаются с обеих сторон реверсивными приводными ременными конвейерами.

Таблица 97

Характеристика реверсивных прогладочных станов для алюминиевых сплавов

Показатели	Тип стана и размер валков	
	реверсивный двухвалковый 750—700×1700 *мм*	реверсивный двухвалковый 900—800×2800 *мм*
Размер листов, *мм*	0,5—4× ×1500	0,5—4× ×2500
Скорость прокатки *м/мин*	0±8±80	0±60
Главный привод стана:		
мощность, *л. с.* .	170	300
число оборотов в минуту	500—1000	250—750
Привод нажимных винтов:		
мощность, *л. с.* .	2×16,5	2×21,8
число оборотов в минуту	680	700
Привод конвейеров:		
мощность, *л. с.* .	2×12,2	—
число оборотов в минуту	715	—
Наибольшее давление металла на валки, *т*	250	—
Скорость установки валков, *мм/мин* . . .	0,1	0,1
Вес стана, *т* . . .	120	280
Тип подшипников .	Роликовые	Роликовые
Длина конвейеров, *м*	2×10	2×10

В последние годы для прогладки листов алюминиевых сплавов стали применяться многоклетевые станы тандем, обеспечивающие более высокое качество прогладки из-за применения специализированной калибровки валков в каждой клети, соответствующей условиям данного прохода (давлению металла, профилю листа) [9]. Правка листов на таких агрегатах производится непрерывно, за один проход через стан.

При прогладке листов значительной ширины в очаге деформации часто возникают условия неоднородного относительного перемещения различных участков материала (по его ширине) вдоль направления прокатки, что приводит к образованию волнистости, коробоватости, хлопунов. При этом листы выходят из допусков по волнистости.

Эту неоднородность перемещения материала в очаге деформации можно устранять, применяя сложную профилировку валков, построенную с учетом конфигура-

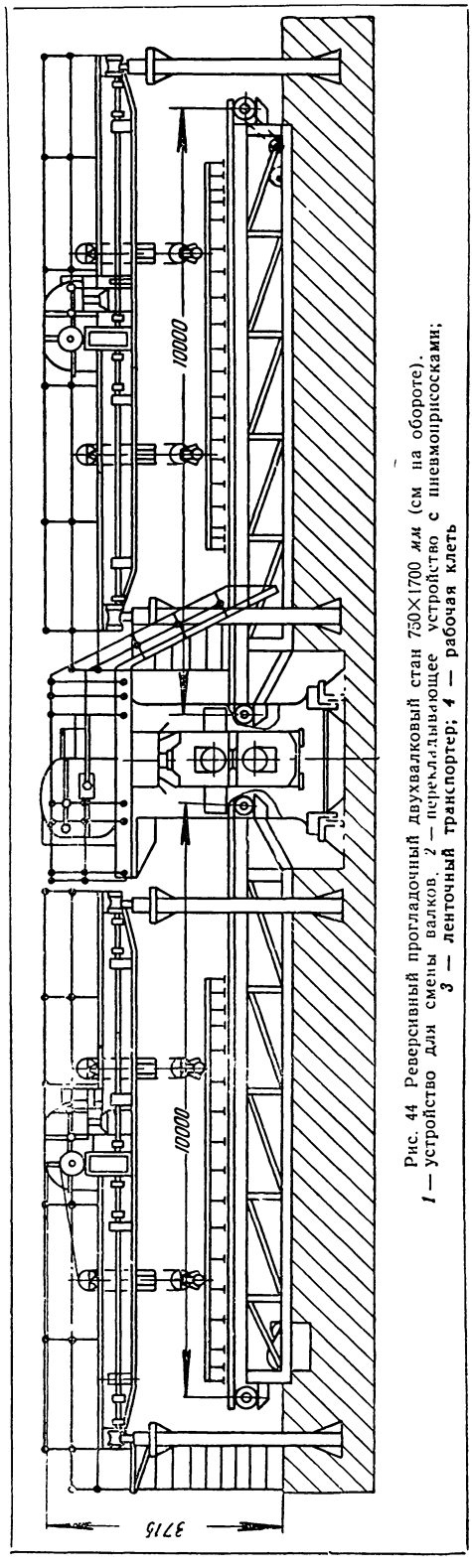


Рис. 44 Реверсивный прогладочный двухвалковый стан 750×1700 *мм* (см на обороте).
1 — устройство для смены валков, *2* — перекладывающее устройство с пневмоприсосками; *3* — ленточный транспортер; *4* — рабочая клеть

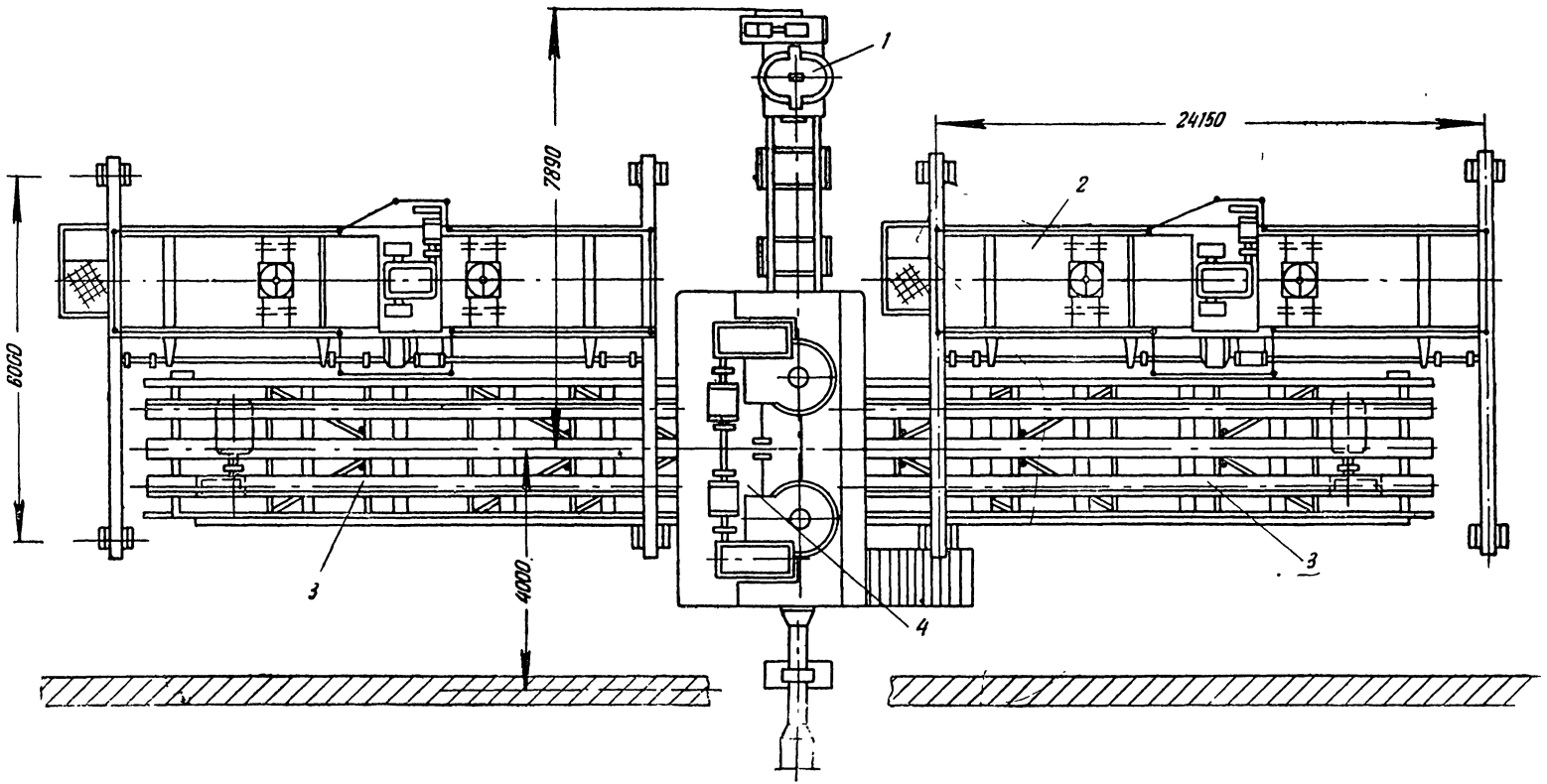


Рис 44 Продолжение

ции проглаживаемого листа, характера упругого изгиба валков от давления на валки и упругого сжатия полотна валков по ширине полосы.

Методика расчетов сложной профилировки валков прогладочных станов, разработанная Н. И. Сведе-Швецем [10], сводится к следующему:

1. Валки рассчитывают на упругий изгиб и компенсируют их цилиндрический профиль рассчитанной выпуклостью.

2. Корректируют полученный профиль валков на неравномерность сплющивания полотна валков.

В результате применения сложной профилировки валков создаются условия для более однородного удлинения отдельных участков полосы по ширине. Прогладка листов на таких валках обеспечивает значительно больший выход годного, причем после растяжки листов имеющиеся на них хлопуны не превышают трех миллиметров.

Прогладочные станы обычно проектируют исходя из возможности выполнения на них операций нагартовки. Листы на нагартовку поступают после правки, устраняющей грубое коробление, и после окончания естественного старения. При нагартовке дается общее обжатие 5—8%. В целях получения наилучшей выкатки нагартовку производят в большое число проходов (7—15).

Правка на гидравлических растяжных машинах

Целью правки растяжением является полное устранение волнистости поверхности листа. Правку контролируют по величине удлинения или по величине усилия вытяжки и по степени плоскостности листа. Технологическое растягивающее усилие $P_р$ определяется из выражения

$$P_р = k\sigma_s Bh,$$

где k — коэффициент запаса, учитывающий неравномерность листа по толщине, наклеп при растяжении и т. д.;

σ_s — предел текучести растягиваемого металла, для дуралюминов обычно принимается 30 *кг/мм*^{2};

B — ширина листа, *мм*;

h — толщина листа, *мм*.

Основные характеристики обычно применяющихся растяжных машин видны из табл. 98.

При определении производительности машины исходят из времени рабочего хода, которое определяется по выражению

$$t_р = \frac{\alpha L \cdot 60F}{\eta Q},$$

где L — наибольшая длина листа, *дм*;

F — площадь плунжера, *дм*^{2};

η — к. п. д. насоса, $\eta = 0{,}85$;

Q — производительность насоса, *л/мин*;

$t_р$ — время рабочего хода, сек.;

α — процент от длины листа, составляющий величину рабочего хода, обычно $\alpha = 0{,}02 \div 0{,}03$.

Время обратного хода зажимной головки по практическим данным обычно составляет 4—5 сек. При растягивании по одному листу практическая производительность растяжных машин составляет 60—120 листов в час в зависимости от размеров листов. Тонкие листы иногда растягиваются пачкой в два листа.

Таблица 98

Характеристика гидравлических машин для правки растяжением дуралюминовых листов длиной до 7000 *мм*

Показатели	Усилие машины, *т*	
	350	250
Ширина растягиваемых листов, *мм*	до 2500	до 1500
Толщина растягиваемых листов, *мм*	0,5—4	0,5—4
Наибольший рабочий ход машины, *мм*	250	200
Диаметр плунжера цилиндра, *мм*	500	400
Насос привода машины:		
давление, *кг/см*^{2}	200	200
производительность, *л/мин*	200	05
Электродвигатель привода насоса:		
мощность, *квт*	75	20
число оборотов в минуту	985	790
Электродвигатель привода задней головки машины:		
мощность, *квт*	10	10
число оборотов в минуту	750	1000
Вес машины, *т*	55,0	22,6

Для повышения производительности и облегчения труда современные растяжные машины снабжаются гидросистемами возврата зажимной головки, пневмомеханизмом для зажима листов губками машины и ленточными транспортерами, проходящими через машину, для механизированной задачи листов в губки.

3. Окончательная обрезка, контроль и маркировка листов

У закаленных листов, подвергаемых растяжке, концы повреждаются губками растяжной машины. Для удаления переднего и заднего концов листа, имеющих отпечатки губок, обычно устанавливаются сдвоенные гильотинные ножницы. Листы от ножниц к ножницам подаются ленточными транспортерами.

Ввиду высоких требований, предъявляемых к листам из прочных алюминиевых сплавов для нужд авиационной промышленности, листы подвергаются жесткому контролю как в отношении механических свойств, так и в отношении качества поверхности и выкатки.

Механические свойства у закаленных дуралюминовых листов, регламентируемые ГОСТ 4977—49, замеряются на образцах, отрезанных на линии резки и вылежавших не менее четырех суток после закалки. При этом у закаленных листов дуралюмина измеряются предел прочности, предел текучести и относительное удлинение.

Качество поверхности листов определяется визуально Качество выкатки определяется путем свободной укладки листов каждой стороной на плоскую контрольную плиту. Отставание листа от плоскости не должно превышать определенных пределов, указанных в стандарте.

На поверхности принятых листов с одной стороны яркой краской наносится строчечная маркировка с указанием шифра марки сплава, состояния поставки и толщины листа. Маркировка листов производится быстросохнущими красками вручную или на специальной печатающей машине непрерывного действия, снабженной печатающим роликом.

В современных цехах все отделочные операции при производстве как мягких, так и закаленных листов производятся на поточных линиях, обеспечивающих полную механизацию всех операций, быстрое и четкое их проведение во время инкубационного периода (для закаливаемых листов), минимальное повреждение поверхности листов и высокую производительность. Ниже приведен состав агрегатов линий отделки мягких листов и дана техническая характеристика линии отделки мягких листов 1700 *мм*:

Толщина листов, *мм* . . .	0,5—4,0
Ширина листов, *мм*	1000—1500
Длина листов, *мм*	2000—4000
Наибольший вес листов, *кг*	70
Скорость линии, *м/мин* . .	30—60

Состав линии

1. Устройство для раскладки листов из стопки пневмоприсосками	
Вес стопки, *кг*	350
2. Сдвоенные гильотинные ножницы для обрезки концов:	
усилие реза, *т*	5,0
максимальное разрезаемое сечение, *мм* . .	4×1500
длина ножа, *мм* . . .	1940
ход ножа, *мм*	90
мощность двигателя, *квт*	4,5
3. 17-роликовая листоправильная машина:	
размер рабочих роликов, *мм*	75×1700
мощность привода, *квт*	40
4. 29-роликовая листоправильная машина:	
размер рабочих роликов, *мм*	38×1700
мощность привода, *квт*	5,5;
размер подающих роликов, *мм*	250×1700;
5. Контрольная плита для проверки выкатки листов: размеры плиты в плане, *мм*	1700×4200
6. Кантователь для перекладывания листов на другую сторону: время кантовки листов, сек.	4,5
7. Машина для маркировки листов краской	
8. Устройство для укладки листов в 2 стопки пневмоприсосками	
9. Соединительные ленточные конвейеры и рольганги	

Состав агрегатов линии отделки закаленных листов и техническая характеристика линии отделки закаленных листов 1700 *мм* приведены ниже:

Толщина листов, *мм* . . .	0,5—4,0
Ширина листов, *мм*	1000—1500
Длина листов, *мм*	2000—4000
Наибольший вес листов, *кг*	70
Скорость линии, *м/мин* . .	30—60

Состав линии

1. Устройство для раскладки листов из стопки пневмоприсосками:	
вес стопки, *кг*	350
2. 17-роликовая листоправильная машина:	
размер рабочих роликов, *мм*	80×1700
мощность привода, *квт*	40
3. Подающие ролики размером 250×1700 *мм*:	
тяговое усилие роликов, *кг*	500
4. Два транспортера с обгонным механизмом:	
длина каждого транспортера, *мм* . . .	4500
скорость 1-го транспортера, *м/мин* . .	6—18
скорость 2-го транспортера, *м/мин* . .	30—60
5. Устройство для сушки листов:	
скорость движения листов, *м/мин* . .	6,7—20
температура воздуха, °С	70
количество подаваемого воздуха, *м³/мин*	100
напор, *мм* вод. ст. .	2400
мощность привода вентилятора, *квт* .	60
6. Передающее устройство для листов:	
скорость рольгангов, *м/мин*	30,0—60,0
скорость конвейера, *м/мин*	30

7. Реверсивный прогладочный двухвалковый стан с размером валков 750×1700 *мм* (характеристику см. в табл. 97)
8. Правильно-растяжная машина 250 *т* (характеристику см. в табл. 98)
9. Сдвоенные гильотинные ножницы для обрезки концов (характеристику см. п. 2 стр. 480)
10. 17-роликовая листоправильная машина (характеристику см. п. 2 стр. 480)
11. 29-роликовая листоправильная машина (характеристику см. п. 4 стр. 480)
12. Контрольная плита для проверки выкатки листов (характеристику см. п. 5 стр. 480)
13. Кантователь для перекладывания листов на другую сторону (характеристику см. п. 6 стр. 480)
14. Машина для маркировки листов краской
15. Устройство для укладки листов в 2 стопки пневмоприсосками
16. Соединительные ленточные конвейеры и рольганги

4. Консервация и упаковка листов

Перед упаковкой листы подвергают покрытию консервирующей смазкой для защиты от коррозии во время длительной перевозки и хранения. На каждый лист с двух сторон наносят слой смазки и лист обертывают в промасленную бумагу. Обычно для промасливания листов устанавливают приводные ролики, наносящие двухсторонний слой смазки. Смазанные листы перекладывают бумагой и упаковывают в деревянный ящик.

Так как обычно применяемая консервирующая смазка, проникая через спецодежду, вредно действует на кожу, то необходимо механизировать операции консервации и упаковки листов.

Ниже приведен состав агрегатов современной линии для консервации и упаковки листов шириной до 1500 *мм*.

1. Два устройства для раскладки листов из стопки с пневмоприсосками.
2. Ленточный конвейер.
3. Машина для промасливания листов.
4. Ленточный конвейер.
5. Два упаковщика для листов.

Упаковка на этой линии производится перекладыванием каждого листа промасленной бумагой, разматываемой из рулона. Пропитка бумаги маслом осуществляется на специальной перемоточной машине.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Крейндлин, Г. Н. Кручер. Производство листов и лент из легких сплавов, Металлургиздат, 1957.
2. А. И. Колпашников. Плакирование сплавов типа дуралюмин сплавами системы алюминий — магний, Филиал ВИНИТИ АН СССР, 1958.
3. А. И Колпашников, В. Д. Королев. Новое в технологии производства листов из алюминия и его сплавов, Филиал ВИНИТИ АН СССР, 1958.
4. P. Brenner, W. Rot, Journal Institute of Metals, 1947, v. 74. № 186.
5. В. А. Ливанов, С. М. Воронов. Отжиг листового алькледа, Оборонгиз, 1940.
6. С. М. Воронов. Деформируемые алюминиевые сплавы, ВНИТОМАШ, Машгиз, 1951.
7. G. Palm. Metaux Corosion Ind., 1954, v. 29, № 343.
8. Д. А. Петров. Вопросы теории сплавов алюминия, Металлургиздат, 1952.
9. Г. Н. Кручер. Бюллетень цветной металлургии, ЦИИН ЦМ, 1959, № 1.
10. Алюминиевые сплавы, сб. Оборонгиз, 1955.
11. С. Е. Павлов. Коррозия дуралюмина, Оборонгиз, 1949
12. А. К. Чертавских. Трение и смазка при обработке металлов, Металлургиздат, 1955.

ГЛАВА III

ПРОИЗВОДСТВО ФОЛЬГИ ИЗ АЛЮМИНИЯ

§ 1. СОРТАМЕНТ ИЗДЕЛИЙ

Холоднокатаная лента толщиной 0,2 *мм* и менее называется фольгой. В настоящее время основное количество фольги изготовляется из алюминия, почти полностью вытеснившего широко применявшиеся ранее олово, свинец и цинк.

Производятся следующие виды алюминиевой фольги: пищевая (ГОСТ 745—41), техническая (ГОСТ 618—50) и фольга из алюминия высокой чистоты для электролитических конденсаторов (ЦМТУ 4800—57).

Таблица 99а

Сортамент выпускаемой алюминиевой фольги (по ГОСТ 745-41, ГОСТ 618-50 и ЦМТУ 4800-57)

Толщина фольги *мм*	Допускаемые отклонения по толщине *мм*	Ширина фольги *мм*	Примечание
Пищевая фольга			
0,010	±0,001	40—480	Гладкая и тисненая
0,014	+0,001 −0,002	40—470	Гладкая
0,018	±0,002	40—470	»
0,030	±0,003	470—500	»
0,050	±0,005	470—500	»
0,070	±0,007	470—500	»
0,100	±0,010	470—500	»
Техническая фольга			
0,005	±0,001	10—440	Гладкая
0,0075	±0,0015	10—440	»
0,010	+0,001 −0,002	10—440	»
0,012	+0,001 −0,002	10—460	»
0,014	+0,001 −0,002	10—460	»
0,016	+0,002 −0,003	10—460	»
0,020	+0,002 −0,003	10—460	»
0,025	+0,002 −0,003	10—460	»
0,030	+0,002 −0,003	10—460	Гладкая
0,040	+0,002 −0,006	10—460	»
0,050	+0,002 −0,006	10—600	»
0,060	+0,005 −0,010	10—600	»
0,070	+0,005 −0,010	10—600	»
0,080	+0,005 −0,010	10—600	»
0,100	+0,005 −0,010	10—600	«
0,120	+0,005 −0,020	10—600	»
0,150	+0,005 −0,020	10—600	»
0,200	+0,005 −0,035	10—600	»
Фольга из алюминия высокой чистоты			
0,05	±0,005	5—460	Гладкая
0,08	±0,01	5—460	»
0,10	±0,01	5—460	»
0,12	±0,015	5—460	»
0,15	±0,015	5—460	»

Допускаемые отклонения по ширине фольги Таблица 99б

Пищевая фольга		Техническая фольга		Фольга из алюминия высокой чистоты	
ширина *мм*	допускаемые отклонения по ширине *мм*	ширина *мм*	допускаемые отклонения по ширине *мм*	ширина *мм*	допускаемые отклонения по ширине *мм*
До 100	±0,5	10— 39	+0,25 −0,5	5—9	±0,15
				10—39	±0,25
101—200	±1,0	40—130	±0,5	40—130	±0,5
201—500	±2,0	131—220	±1,0	131—200	±1,0
		221—600	±1,5	201—460	±1,5

За послевоенные годы ширина выпускаемой фольги сильно увеличилась в связи с появлением широких прокатных станов и достигла величины 1 *м*, а на некоторых новых заводах даже 1,3—1,66 *м*.

По химическому составу пищевая фольга должна соответствовать маркам алюминия А0, А1 и А2 по ГОСТ 3549—57, а техническая фольга должна соответствовать маркам алюминия АД1 и АД по ГОСТ 4784—49 и АВ2, А00, А0 и А1 по ГОСТ 3549—47.

Фольга из алюминия высокой чистоты изготовляется двух марок, одна из них имеет минимальное содержание алюминия 99,85%, а другая — 99,95 %.

Фольга поставляется мягкой (отожженной) и твердой (нагартованной).

Механические свойства регламентируются лишь у технической фольги (табл. 100).

Таблица 100

Механические свойства технической фольги

Толщина *мм*	Предел прочности при растяжении *кг/мм²* (не менее)		Относительное удлинение % (не менее)	
	мягкой	твердой	мягкой	твердой
0,005—0,006	Не регламентируются			
0,0075—0,011	3	10,0	0,5	Не регламентируются
0,012—0,040	3	10,0	2,0	0,5
0,050—0,200	3	10,0	3,0	0,5

Пищевая фольга поставляется гладкой, тисненой, окрашенной с последующим тиснением, наклеенной на парафинированную бумагу (кашированной) и т. д.

Техническая фольга поставляется гладкой, а также кашированной и перфорированной (для нужд кабельной промышленности).

§ 2. ПОДГОТОВКА К ПРОКАТКЕ

Заготовкой для алюминиевой фольги служит отожженная лента толщиной 0,5—0,7 *мм*, шириной 500—1700 *мм* в рулонах весом 120—2000 *кг*. В 1959 г. был введен в строй фольгопрокатный цех, где вес рулонов заготовки достигает 3,8 *т*. Допускаемые отклонения заготовки по толщине составляют —0,05 *мм*, по ширине ±2,0 *мм*.

Первой операцией производства фольги является перемотка ленты на стальные катушки — шпули, которые далее следуют по всему технологическому процессу. Основное назначение операции — получение плотно намотанного рулона. Жесткая шпуля предохраняет тонкую фольгу от порчи и повреждений на последующих операциях и облегчает закрепление рулонов на наматывающих устройствах и транспортировку.

Современная перемоточная машина (рис. 45) состоит из кантователя рулонов для поворота их из вертикального положения в

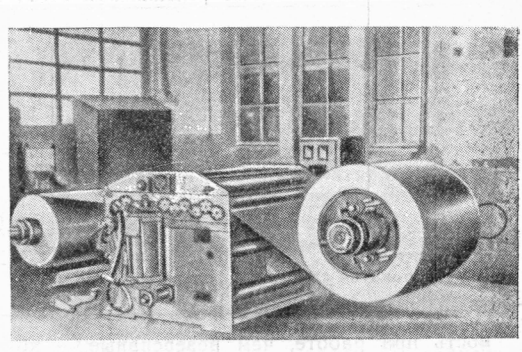


Рис. 45. Машина для перемотки фольговой заготовки на шпули

горизонтальное, барабанного разматывателя, 11-роликовой правильно-натяжной машины с роликами диаметром 120 *мм* (пять верхних роликов могут подниматься гидроцилиндром во время заправки ленты) и конусного наматывателя с приводом от двигателя постоянного тока. Скорость перемотки изменяется плавно и может достигать 5 *м/сек*. Лента при намотке натягивается с усилием 1—1,5 *т*. Перемотка часто сопровождается обрезкой боковых кромок фольги на 5—6 *мм* с каждой стороны. В этом случае перемоточная машина снабжается двумя парами неприводных дисковых ножей. Резка кромок производится за счет протаскивания ленты между ножами.

§ 3. ПРОКАТКА ФОЛЬГИ

Ввиду высокой пластичности алюминия при прокатке фольги обычной технологией является применение обжатий за проход, достигающих 50—60%, с общим обжатием между отжигами 90—99%.

Заготовка для фольги, как сказано выше, обычно имеет толщину 0,5—0,7 *мм*. Средняя толщина пищевой фольги составляет 0,010—0,014 *мм*, а фольги, применяемой для технических нужд (конденсаторов), 0,005—0,0075 *мм*. Таким образом, для прокатки до требуемого размера необходимо 5 или 6 проходов.

В табл. 101 приведено несколько схем производства фольги разной толщины.

В современных фольговых цехах с программой выпуска 6—10 тыс *т* в год устанавливают комплект из 5—6 нереверсивных станов, каждый из которых специализирован на соответствующем проходе. Нереверсивные станы обеспечивают большую точ-

Таблица 101

Схемы прокатки разных размеров фольги

№ прохода	Проход, *мм* при сечении фольги, *мм*		
	0,014×670	0,0075×670	0,009×1000
	Четырехвалковый стан 160/450×750		*Четырехвалковый стан 254/610×1220*
1	0,5—0,23	0,5—0,23	0,7—0,28
2	0,23—0,11	0,23—0,11	0,28—0,14
3	0,11—0,055	0,11—0,055	0,14—0,0075
4	0,055—0,027	0,055—0,027	0,075—0,038
	Двухвалковый стан 320×750		
5	0,027—0,014	0,027—0,014	0,038—0,019
6	—	0,014×2*—0,0075×2	0,019×2*—0,009×2

* Прокатка сдвоенной фольги.

ность при работе, чем реверсивные, в которых схема приложения сил в каждом проходе меняется на противоположную.

В большинстве новых цехов устанавливаются станы кварто с рабочими валками малого диаметра (160—260 *мм*), так как только такие валки дают возможность прокатывать фольгу толщиной 5—7 *мк* из заготовки толщиной 0,5—0,7 *мм* без промежуточных отжигов. Однако среди действующих станов имеется еще много двухвалковых станов с валками диаметром 260—460 *мм*.

Современным фольгопрокатным станам свойственны многие особенности обычных скоростных ленточных станов, прокатывающих цветные металлы. К ним относятся, например, жесткая конструкция рабочей клети, изготовленной с высокой точностью, установка валков в роликоподшипниках или подшипниках жидкостного трения, плавная регулировка скорости прокатки в течение прохода, быстрое достижение номинальной скорости (за 10—20 сек. после пуска), регулируемые переднее и заднее натяжение ленты, интенсивное внешнее охлаждение валков и прокатываемой ленты специальной смазкой, дающее возможность производить термическую профилировку валков. Поэтому ниже будут рассмотрены некоторые особенности, относящиеся лишь к фольгопрокатным станам.

1. Регулировка толщины фольги

На современных фольгопрокатных станах применяются три метода регулировки толщины фольги.

Первый, наиболее старый метод — это изменение расстояния между осями валков. Известно, что прокатку тонкой фольги практически всегда производят на прижатых валках, так как ее толщина соизмерима с суммарной величиной упругих деформаций всех элементов клети (валков, нажимных винтов, станин). Толщина получаемой фольги, таким образом, зависит от степени сжатия валков, находящихся в контакте.

В этих условиях взамен обычного механизма установки валков с нажимными винтами более целесообразно применение гидравлических нажимных цилиндров, устанавливаемых в поперечных стойках станины. Этот механизм проще по конструкции и удобнее в работе, чем установочное устройство обычного типа с электроприводом. В гидроцилиндры индивидуальными насосами подается масло. Для устранения перекоса валков насосы соединены между собой электромагнитными муфтами. Точную регулировку давления на валки производят дополнительными ручными насосами. Каждый цилиндр допускает максимальное давление 150—200 *т*. Гидравлическое устройство для установки валков на фольгопрокатных станах стало применяться лишь в последние 5—6 лет.

Вторым методом регулирования толщины является воздействие на переднее и заднее натяжения ленты.

По формуле Стоуна, учитывающей сплющивание валков, минимальная толщина ленты, которую можно получить на данном стане, равна [5]

$$t_{мин} = 3{,}58\,\frac{D\,\mu\,(S_0 - S)}{E},$$

где D — диаметр рабочих валков, *мм*;

μ — коэффициент трения;

S_0 — вынужденный предел текучести;

$S_0 = 1{,}155\,\sigma_{0{,}2\,ср}$;

$\sigma_{0{,}2\,ср}$ — средний предел текучести по дуге захвата;

S — среднее удельное натяжение ленты;

$$S = \frac{S_1 + S_2}{2};$$

S_1 — заднее удельное натяжение;

S_2 — переднее удельное натяжение;

E — модуль упругости материала валков, $E = 2{,}2 \cdot 10^4$ *кг/мм*^{2}.

Таблица 102

Примеры влияния скорости прокатки на толщину получаемой фольги при неизменных прочих условиях

Скорость прокатки *м/мин*	Толщина ленты *мм*		Относительное обжатие за проход %	Скорость прокатки *м/мин*	Толщина ленты *мм*		Относительное обжатие за проход %
	начальная	конечная			начальная	конечная	
51	0,060	0,035	41,7	300	0,070	0,045	35,7
94	0,060	0,028	53,2	600	0,070	0,035	64,2
				900	0,070	0,020	71,5

Подставив в эту формулу величины, соответствующие случаю прокатки сдвоенной фольги на выход на двухвалковом стане 320 с коэффициентом трения 0,02 при $\sigma_{0{,}2ср}=14$ *кг/мм²*, видим, что минимальная толщина фольги, которую можно получить в этих условиях при прокатке без натяжения, равна 16,8 *мк*.

Приложение переднего и заднего удельных натяжений величиной 8 и 2 *кг/мм²* соответственно позволяет достичь минимальной толщины 11 *мк*.

Третий метод регулирования толщины получаемой фольги основан на изменении скорости прокатки. С повышением скорости толщина фольги понижается и наоборот. В табл. 102 приведены примеры, показывающие влияние скорости прокатки на толщину фольги.

Качество выкатки ленты зависит от формы зазора между валками при прокатке. Для любых данных условий прокатки (температура и расход охлаждающейся жидкости, профиль валков, натяжение ленты, расстояние между осями валков) существует только одна величина давления металла на валки, обеспечивающая получение параллельного зазора между валками, т. е. наилучшую выкатку ленты. В этом случае наиболее целесообразным методом контроля толщины ленты является регулирование скорости прокатки. Такой метод применяется на ряде современных фольгопрокатных станов [3, 6]. Некоторые современные станы [8] имеют автоматическую систему регулирования толщины фольги путем связывания микрометра с регулировкой скорости прокатки и натяжения ленты.

2. Намоточно-натяжные устройства

Согласно рекомендации Эмике [7], при прокатке алюминиевой фольги для предохранения от обрывов максимальное удельное натяжение ленты $\sigma_{макс}$ (как переднее, так и заднее) не должно превышать полусуммы пределов текучести и пропорциональности:

$$\sigma_{макс} < \frac{\sigma_{0,2}+\sigma_{0,01}}{2}.$$

Минимальные удельные натяжения, при которых фольга хорошо наматывается на шпулю, составляют около 0,4 *кг/мм²* для заднего и от 2 до 4 *кг/мм²* для переднего натяжения (при прокатке с 0,5 до 0,014 *мм* за несколько проходов) [2].

В соответствие с этим намоточно-натяжные устройства современных станов обычно конструируют для получения заднего удельного натяжения в диапазоне 1,2—2,0 *кг/мм²* и переднего удельного натяжения — от 3,0 до 8,0 *кг/мм²*. При этом переднее натяжение принимают примерно в 4—5 раз больше заднего.

Наматывающие устройства, как правило, имеют двигатели постоянного тока, которые обеспечивают регулирование натяжения в диапазоне до 1 : 10. Разматывающие устройства у нереверсивных станов имеют тормозной генератор постоянного тока или (у отделочных станов) водоохлаждаемые тормоза с механическим, гидравлическим или пневматическим управлением.

Диапазон регулирования заднего натяжения у современных станов достигает 1 : 14. Точность поддержания заданной величины переднего и заднего натяжений составляет ± 1%.

Рулоны, намотанные на трубчатые шпули, закрепляются на стане в конусах, соединенных с приводом или с тормозом. Для центрирования ленты при прокатке относительно валков на некоторых станах намоточно-натяжные устройства могут перемещаться на небольшое расстояние вдоль оси валков.

Для снижения потерь времени на заправку ленты и снятие рулонов фольгопрокатные станы иногда снабжаются двойными наматывателями и разматывателями, так что при работе на одном комплекте моталок другой комплект готовится к прокатке следующего рулона. Оба комплекта моталок размещаются на платформах, передвигаемых по рельсам вдоль оси валков с помощью гидроцилиндров или ходовых винтов.

На некоторых заводах отделочную прокатку фольги совмещают с операцией сдваивания и обрезки кромок, для чего станы оборудуют двумя разматывателями и неприводными дисковыми ножами

малого диаметра. Обрезанная кромка отсасывается в коллекторы эксгаустерной системы.

Остатки смазки между сдваиваемыми лентами удаляют, растворяя ее бензином, который подают каплями между лентами с помощью специальной трубки с отверстиями. Это необходимо для предохранения тонкой ленты, прокатываемой в сдвоенном состоянии, от порчи, так как остатки смазки между лентами способствуют появлению дырчатости.

Наматывающие устройства у всех фольгопрокатных станов снабжены прижимным роликом, который служит для приглаживания тонкой фольги и удаления складок и волнистости.

3. Валки и их охлаждение

Рабочие валки фольгопрокатных станов обычно делают из стали, легированной хромом (марки 9Х и 9Х2); твердость бочки 95—100 единиц по Шору. Твердость бочки стальных опорных валков составляет 65—70 единиц по Шору.

В целях компенсации прогиба рабочие, а иногда и опорные валки фольгопрокатных станов шлифуют для получения выпуклого профиля. Величина горбика определяется в первую очередь шириной валков и скоростью прокатки. С увеличением ширины ленты горбик увеличивают, а с увеличением скорости прокатки (т. е. тепловыделений) — уменьшают, так как необходимый горбик компенсируется увеличением термического расширения валков. В табл. 103 показаны величины горбика на станах разных типов.

Хорошо известно, что основной трудностью при скоростной прокатке фольги является поддержание стабильности температурного поля валков. Даже незначительные изменения температуры на отдельных участках бочки валка изменяют его профиль вследствие неравномерного термического расширения, что приводит к обрыву фольги.

Прокатка фольги с большой скоростью (до 1000 *м/мин*) и с высокими обжатиями за проход (50—60%) приводит к значительным выделениям тепла, основная часть которого передается валкам. Это тепло должно полностью отводиться охлаждающей жидкостью, поливаемой на валки во избежание нарушения нормального хода прокатки.

К охлаждающей смазке для скоростной прокатки предъявляется целый ряд зачастую противоречивых требований. К ним относятся следующие [3]:

1) смазка должна иметь большую теплопроводность и теплоемкость и максимально снижать коэффициент трения при прокатке;

2) пленка смазки должна прочно удерживаться на поверхности фольги даже при высоких удельных давлениях металла;

3) смазка не должна вызывать коррозии фольги;

4) смазка должна легко выгорать при отжиге, не давая коксующихся остатков, т. е. температура выгорания должна быть минимальной;

5) смазка должна иметь высокую температуру вспышки для снижения пожарной опасности при работе;

6) смазка должна быть стабильной во времени и легко очищаться от алюминиевой пыли, окислов алюминия и других загрязнений простыми и дешевыми методами;

7) испарения смазки должны быть безвредны для здоровья и смазка не должна быть чрезмерно дорогой и дефицитной.

Повсеместно в качестве охлаждающих смазок при прокатке фольги применяют легкие минеральные масла с добавками поверхностно активных веществ и иногда керосина, хотя, конечно, они удовлетворяют не всем перечисленным требованиям.

В табл. 104 приведены физико-химические свойства некоторых охлаждающих смазок, используемых при прокатке фольги.

Таблица 103

Профиль прокатных валков для фольгопрокатных станов разных типов

Тип стана	Прокатываемые переделы *мм*	Скорость прокатки *м/мин*	Ширина фольги *мм*	Величина горбика валка *мм*	
				рабочего	опорного
Обжимной двухвалковый, 260×800 *мм* . .	0,5—0,048	60—150	500	0,11—0,115	0,00
Отделочный двухвалковый 320×800 *мм*	0,048—2×0,0075	160—180	500	0,065—0,085	0,00
Обжимной четырехвалковый 255/610×1220 *мм*	0,14—0,014	500—800	1000	0,012—0,015	0,00
Отделочный четырехвалковый 165/400×1200 *мм*	0,018—2×0,009	200—250	1000	0,03—0,10	0,14

Таблица 104

Физико-химические свойства охлаждающих смазок для фольгопрокатных станов

Показатели	Наименование и назначение смазки							
	индустриальное масло «12». Все проходы прокатки	индустриальное масло «20». Все проходы прокатки	велосит «Л». Проход с 25 до 14 *мк* под лакирование и для пищевой фольги	смазка «704». Все проходы прокатки, кроме последнего	добавка «720» (олеиновая кислота). Все проходы прокатки, кроме последнего, в виде добавки	смазка «ПРСА». Для последнего выходного прохода	керосин. Для последнего выходного прохода	бензин Б-70 или «Калоша». Для подачи между сдваиваемыми лентами и для промывки фольги
Скорость прокатки, *м/мин* . .	До 180	До 180	До 180	До 900	До 900	До 250	До 250	До 200 при сдваивании, 50—90 при промывке
Удельный вес при 20°, *г/см*³	—	—	—	0,87	0,875	0,867—0,877	0,785	0,74—0,73
Температура вспышки, °С . . .	165	170	112	150	150	85—110	—	—
Кислотное число, *мг* КОН на 1 *г* смазки	1,14	0,14	0,04	7,1	50—60	0,43—0,67	—	—
Число омыления	—	—	—	8,6	50—60	3,02—5,94	—	—
Вязкость по Энглеру:								
при 20°С . .	—	—	—	2,1	2,34	2,98—4,21	0,99	—
при 50°С . .	1,86—2,26	2,6—3,31	1,29—1,4	1,28	1,52	1,54—1,81	0,94	—
при 80°С . .	—	—	—	1,05	1,11	1,23—1,34	0,88	—
Кинетика испарения °С:								
начало . . .	—	—	—	277	—	195	160	100
25%	—	—	—	300	—	348	180	113
50%	—	—	—	310	—	354	193	122
75%	—	—	—	320	—	380	205	135
100%	—	—	—	340	—	385	249	160
Применение	—	—	С добавкой 0,5% олеиновой кислоты	—	С добавкой 1—3% к смазке «704» по мере ухудшения ее свойств при работе	В смеси с керосином (50%; 50%)	В смеси со смазкой «ПРСА» (50%; 50%)	—

Первые три смазки (масла марок «12», «20» и «Л») с трудом выгорают при отжиге. Для устранения всех следов масла на внутренних витках плотно смотанных рулонов требуется доведение температуры выходного отжига до 500—570° при выдержке садки в печи в течение 5—7 час. Чрезмерно высокая температура часто приводит к задержке коксующихся остатков смазки на поверхности фольги. Пятна невыгоревшей смазки и коксующиеся остатки портят внешний вид фольги и снижают ее коррозионную стойкость.

форсунок, размещаемых со стороны входа ленты в валки, напротив верхней и нижней пары валков. Форсунки имеют индивидуальную или групповую регулировку расхода смазки специальными кранами.

Расход охлаждающей смазки на фольгопрокатных станах зависит от скорости прокатки, ширины фольги, передела и других факторов.

В табл. 105 приведены данные по охлаждающим системам нескольких современных станов.

Ориентировочный расход охлаждаю-

Таблица 105

Характеристика систем охлаждения современных фольгопрокатных четырехвалковых станов

Размер валков	Скорость прокатки, наибольшая *м/мин*	Число форсунок по длине бочки валков	Расход охладителя на стане *л/мин*	Емкость основных резервуаров для охладителя *л*	Мощность привода валков *л. с.*
254/610×1220	500	30	1600	36000	800
165/400×1200	300	24	800	3000	250
210/500×1200	400	5 групп	800	12500	350
165/400×800	200	16	120 (макс. 205)	2000	150
254/610×1200	900	32	1600	60000	1000

Упомянутые смазки остаются на поверхности фольги и их следует удалять при прокатке перед сдваиванием фольги, а у фольги, идущей на упаковку пищевых продуктов, — перед выходным отжигом, так как коксующиеся остатки на такой фольге недопустимы. Для этого промывают фольгу бензином на специальных промывных станах. Эта операция очень нежелательна.

Более целесообразно применять для охлаждения фольги смазки типа «704» и «ПРСА». Первая смазка представляет собой легкое минеральное масло с поверхностно активными добавками. Ее можно применять на фольгопрокатных станах, имеющих скорости 800—900 *м/мин*. Так как эта смазка плохо выгорает при отжиге, то фольгу, прокатанную на скоростных станах со смазкой «704», перед окончательным отжигом прокатывают на отделочных станах со скоростями 200—250 *м/мин* с охлаждением легкокипящей смесью смазки «ПРСА» с керосином. Этот охладитель смывает с ленты остатки плохо выгорающего охладителя «704», что дает возможность получить после выходного отжига чистую поверхность фольги без запаха, пятен и коксующихся остатков, устранив операцию промывки фольги бензином.

Подача охлаждающей смазки на валки осуществляется через большое количество

щей смазки принимается некоторыми фирмами по следующей эмпирической формуле:

$$Q = 2N,$$

где Q — расход охладителя, *л/мин*;

N — мощность привода валков, *л. с.*

Давление охладителя в форсунках составляет 3—6 *ат*. Температура охлаждающей жидкости равна 50—60°.

На рис. 46 приведена типичная принципиальная схема циркуляционной системы

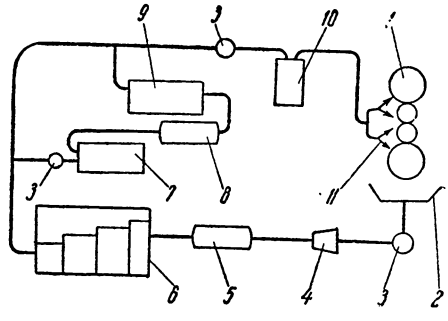


Рис. 46. Схема циркуляционной системы охлаждения валков современного фольгопрокатного стана:
1 — рабочая клеть; *2* — сборный лоток; *3* — центробежный насос; *4* — магнитный фильтр; *5* — механический фильтр; *6* —отстойный бак; *7* — теплообменник для подогрева; *8* — абсорбентный фильтр; *9* — сборный бак; *10* — холодильник; *11* — форсунки

охлаждения валков скоростного обжимного фольгопрокатного стана. Отработанная смазка стекает под стан и попадает в сборный лоток *2*, откуда насосом *3* она прокачивается через магнитный фильтр *4*, очищающий ее от мелкой стальной пыли, образующейся при износе валков и роликов, через механический фильтр *5*, задерживающий частицы алюминия и его окислов крупнее 0,01 *мм*, и поступает в отстойный бак *6*. Бак разделен перегородками на несколько отсеков с переливом смазки через них. Примерно 70—80% всего потока жидкости из этого бака насосом перекачивается через холодильник *10* и подается к форсункам *11*.

Остальная часть потока жидкости пропускается через теплообменник *7* для подогрева и через абсорбентный фильтр *8* с набивкой из инфузорной земли. Этот фильтр задерживает даже коллоидальные частицы примеси. Предварительный подогрев смазки ускоряет процесс фильтрации.

Отделочные прокатные станы имеют циркуляционные системы, в которых через земляные фильтры за один цикл пропускается 100% потока жидкости. Срок службы земляной набивки в фильтрах составляет 1,5—2,0 месяца.

Безвозвратные потери охладителя при прокатке (унос, испарение и т. д.) составляют до 5 *кг/т* прокатанной фольги. На выходной стороне клети устанавливаются пневматические сдуватели для уменьшения уноса смазки лентой. Кроме того, на опорных валках с этой же целью иногда ставятся фетровые прижимы.

Работа скоростных фольгопрокатных станов сопровождается разогревом поверхности валков и ленты, доходящим иногда до температур, превышающих 100°, в результате чего происходит сильное испаре-

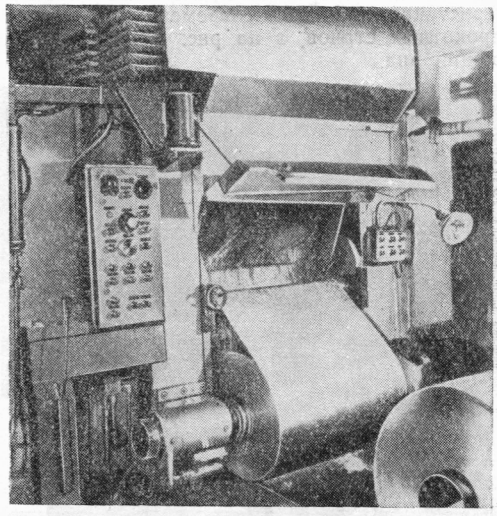


Рис. 47. Скоростной фольгопрокатный четырехвалковый стан 254/610 × 1220 *мм* со стороны задачи металла в валки

Таблица 106

Основные характеристики современных фольгопрокатных станов

Основные данные	Типы станов				
	обжимной нереверсивный четырехвалковый 750	отделочный нереверсивный двухвалковый 750	обжимной нереверсивный четырехвалковый 1220	отделочный нереверсивный четырехвалковый 1200	универсальный четырехвалковый 1830
Размер валков *мм* . .	$\frac{160}{450}\times 750$	320×750	$\frac{254}{610}\times 1200$	$\frac{165}{400}\times 1200$	$\frac{255}{865}\times 1830$
Скорость прокатки, *м/мин*	0—9—300	0—9—180	До 900	До 300	До 1000
Ширина фольги, *мм* .	До 670	До 670	До 1000	До 1000	До 1680
Толщина заготовки, *мм*	0,5—0,8	2×0,013	0,5—1,0	2×0,06	0,2
Толщина готовой ленты, *мм*	0,05—0,027	2×0,006	0,05—0,01	2×0,006	2×0,006
Наибольший вес рулона, *кг*	240	240	2000	2000	3600
Мощность привода валков *л. с.*	204	52	800	250	800
Мощность привода наматывателя, *л. с.* . . .	27	6	150	23	—
Мощность привода разматывателя, *л. с.* . . .	27	6	90	17	—
Мощность привода нажимного устройства, *л. с.*	2×0,7/2,0	2×0,6/0,85	Гидравлическое	Гидравлическое	—
Скорость перемещения валков, *мм/сек*	0,00425 и 0.0255	0,00425 и 0,0255	—	—	—
Диаметр шпули, *мм* .	192	192	300	300	—

ние охлаждающей смазки. Для удаления паров, вредных для здоровья, верхняя часть прокатной клети закрыта большим зонтом, соединенным с отсасывающим вентилятором. Иногда в состав вытяжной системы входят электростатические фильтры, в которых смазка концентрируется в виде капель и попадает в сборную ванну.

В табл. 106 приведены основные характеристики нескольких современных фольгопрокатных станов, а на рис. 47 и 48 — их общий вид.

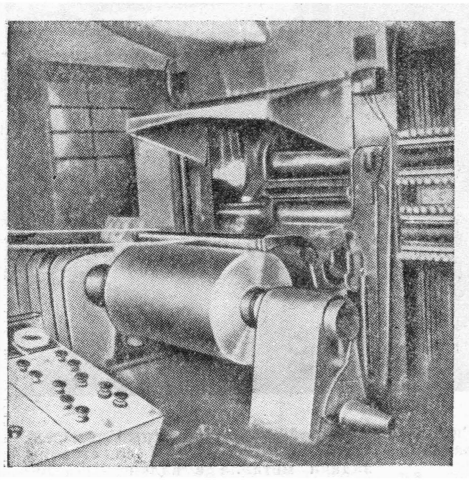


Рис. 48. Скоростной фольгопрокатный четырехвалковый стан 254/610 × 1220 *мм* со стороны выхода металла из валков

Производительность фольгопрокатных станов рассчитывается так же, как и производительность обычных ленточных станов холодной прокатки.

§ 4. ПРОМЫВКА ФОЛЬГИ

Операция промывки фольги толщиной 0,01—0,02 *мм* производится с целью полного удаления с ее поверхности следов смазки перед прокаткой в сдвоенном состоянии, чтобы избежать появления дырчатости. Кроме того, промывке подвергают всю готовую фольгу, идущую на упаковку пищевых продуктов, если ее последнюю прокатку вели со смазкой, плохо выгорающей при отжиге. Промывка фольги осуществляется на машинах, имеющих те же основные узлы, что и нереверсивные прокатные двухвалковые станы, но эти машины дополнительно снабжены системой подачи и отвода бензина.

Валки промывных станов имеют твердость не менее 95 единиц по Шору. Их шлифуют с выпуклостью 0,03—0,06 *мм* и полируют для достижения чистоты поверхности не ниже 12 класса. Промывку фольги ведут на прижатых валках, почти без вытяжки, так что давление металла на валки при этом составляет 2,5—3,5 *т* (обжатие не превышает 7%). Скорость промывки 70—90 *м/мин.*, а на промывных машинах с приводом, работающим на постоянном токе, она достигает 150 *м/мин.*

Для промывки фольги применяется авиационный бензин Б-70 (см. табл. 104) или бензин «Калоша» (ГОСТ 443—50). Подача бензина на фольгу производится каплями из бачка. Расход бензина на промывку фольги толщиной 0,012—0,0075 *мм* составляет 110—160 *кг/т* (соответственно).

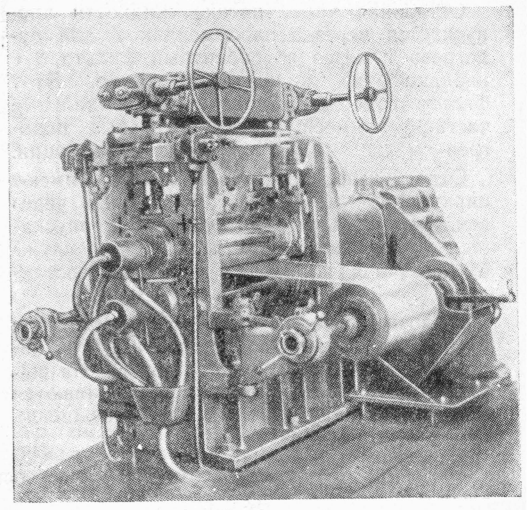


Рис. 49. Промывной стан с валками размером 260 × 750 *мм*

Бензин, идущий на промывку, применяется один раз без регенерации или повторно после регенерации.

Основные характеристики промывного стана с размером валков 260×750 *мм* (рис. 49) приведены ниже:

Размер валков, *мм*	260×750
Скорость промывки, *м/мин* .	0—90
Мощность привода валков, *квт*	10,8
Скорость вращения валков, об/мин	750—1500
Мощность привода намоточного устройства, *квт*	3,3
Мощность привода установки валков, *квт*	2×0,42/0,63

§ 5. СДВАИВАНИЕ И РАЗДВАИВАНИЕ ФОЛЬГИ

Фольгу толщиной менее 0,01—0,02 *мм* для облегчения вытяжки перед прокаткой сдваивают. В литературе упоминалось о

том, что для получения сверхтонкой конденсаторной фольги (толщиной 2,5—4 *мк*) одновременно прокатывают четыре [1] и даже восемь лент [9]. Для сдваивания и раздваивания фольги применяются специальные машины. Сдваивание может также производиться одновременно с отделочной прокаткой (см. §3).

Сдваивающие машины имеют два разматывающих и один намоточный барабаны. Если промывка как отдельная операция устранена, то между сдваиваемыми лентами подается бензин каплями через подающую трубку с отверстиями. При этом расход бензина составляет 0,5—1 *кг* на 1 *т* фольги. На станинах современных сдваивающих машин установлены дисковые ножницы для обрезки кромок после сдваивания, а также для разрезки широких рулонов (1100 *мм*) на два более узких.

Таблица 107

Характеристики сдваивающей и раздваивающей машин

Основные данные	Сдваивающая машина	Раздваивающая машина
Ширина фольги, *мм*	500—600	600
Диаметр разматываемых рулонов, *мм* . .	400	550
Диаметр наматываемых рулонов, *мм* . .	550	300—350
Скорость работы, *м/мин*	100—150	120—170
Скорость работы с одновременной обрезкой кромок, *м/мин* .	80—120	—
Двигатель привода: мощность, *квт*	5—8	2
число оборотов в минуту . . .	960	1140
Производительность машины[1], *кг/час* . .	190—220 (2×0,014)	120—150 (0,0075)
Габаритные размеры машины (длина × ширина × высота), *мм* .	2000× ×1700× ×1200	1185× ×840× ×1280

[1] В скобках дана толщина фольги в *мм*, которой соответствует данная производительность.

Скорость сдваивания фольги на современных машинах с приводом, работающим на постоянном токе, достигает 400—700 *м/мин*.

Для получения очень тонкой фольги могут сдваиваться ленты разной толщины. Например, после сдваивания лент толщиной 9 и 11 *мк* и отделочной прокатки в один проход получается готовая фольга толщиной 4. 5 и 6 *мк* [3].

Раздваивание фольги осуществляется на машинах, имеющих одно разматывающее и два наматывающих устройства. Современные машины для раздваивания с приводом на постоянном токе имеют скорость до 400 *м/мин*. При раздваивании (как и при сдваивании) разматыватели притормаживают для создания заднего натяжения. Новые машины для раздваивания имеют неприводные дисковые ножи для обрезки кромок и разрезки на части по ширине.

В табл. 107 приведены характеристики сдваивающей и раздваивающей машин, а на рис. 50 и 51 дан общий вид таких машин.

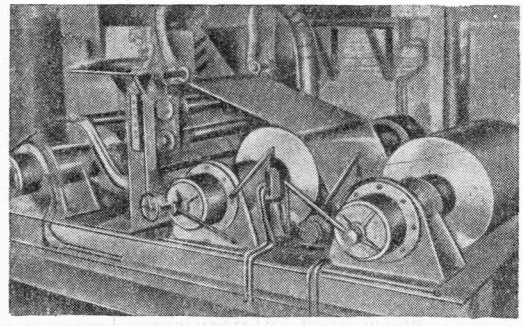


Рис. 50. Машина для промывки и сдваивания фольги

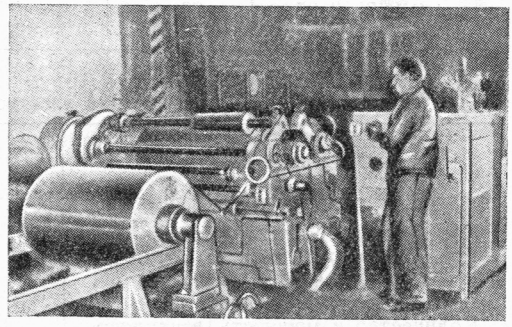


Рис. 51. Машина для раздваивания фольги шириной 1100 *мм*

§ 6. ОТЖИГ ФОЛЬГИ

Нагартованную фольгу отжигают с целью повышения пластичности металла после его деформации и для удаления с поверхности фольги остатков охлаждающей смазки и бензина. Режимы отжига фольги приведены в табл. 108.

Промежуточный отжиг, производимый по некоторым технологиям после обжатия фольги на 90—95%, осуществляется при более низких, чем при окончательном отжиге, температурах, так как целью промежуточного отжига является лишь повышение пластичности без значительного снижения прочности. При этом отжиге не происходит полного выгорания смазки. Окончательный отжиг сопровождается полной рекристаллизацией металла и удалением всех следов смазки.

Режим отжига фольги [2,3] Таблица 108

Наименование фольги и толщина *мм*	Тип печи и мощность *квт*	Температура отжига °С	Продолжительность отжига час	Вес садки *кг*	Примечание
		Промежуточный отжиг			
Сдвоенная фольга 0,016—0,04	Камерная 42	360—400	0,5—1,0	350—450	Печь без циркуляции воздуха
		Окончательный отжиг			
Техническая и пищевая 0,01—0,2	Камерная 42	450—550	4—7	450—700	Печь с циркуляцией воздуха
Техническая и пищевая 0,01—0,08	Камерная 180	430—510	4—6	1000—1200	То же
Конденсаторная 0,0075—0,011	Камерная 42	280—290	3	180—200	Печь без циркуляции воздуха
Для термоизоляции 0,0075—0,011	Камерная 180	480	4	1000	Печь с циркуляцией воздуха
Из алюминия высокой чистоты	То же	430—450	6	1000—1200	То же
Техническая и пищевая 0,007—0,05	Тоннельная 220	400	24	8000	»

Таблица 109

Характеристика электропечей для отжига фольги

Основные данные	Печи	
	камерная круглая	тоннельная садочная
Мощность нагревателей, *квт* . . .	180	220
Размеры рабочей камеры, *мм* . . .	1500 × 2870	7200 × 3400 × 2400
Вес садки в печи, *кг*	1000—1200	8000—10000
Вес отжигаемых рулонов, *кг* . . .	До 240	До 2000
Количество и мощность вентиляторов для циркуляции воздуха, *квт* . .	1 × 10	6 × 7
Метод загрузки печи	Загрузочная тележка с рулонами, перемещаемая двигателем	Поддоны с рулонами, перемещаемые электрической лебедкой

Фольгу, идущую для изготовления конденсаторов, не подвергают максимальному размягчению, так как в отличие от пищевой упаковочной фольги она при использовании изгибается в незначительной степени.

Фольгу отжигают в электропечах как камерного, так и проходного типа. В табл. 109 приведены характеристики электропечей для отжига фольги.

На рис. 52 и 53 даны общие виды камерной и проходной электрических печей для отжига фольги. Современные печи снабжены вентиляторами для искусственной циркуляции воздуха.

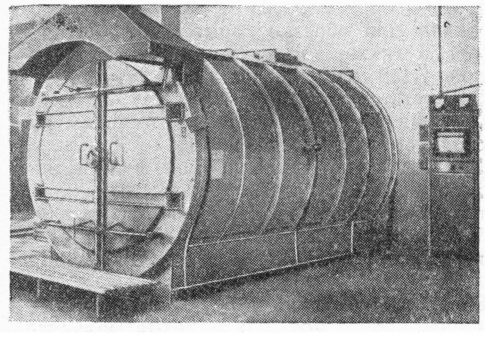


Рис. 52. Камерная электропечь для отжига фольги

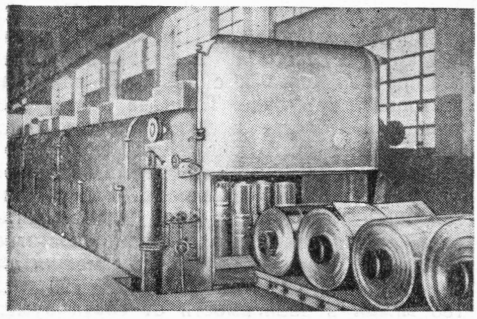


Рис. 53. Проходная электропечь для отжига фольги

§ 7. ОТДЕЛОЧНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ ОБРАБОТКИ ФОЛЬГИ

Пищевая и техническая фольга подвергается специальным видам обработки с целью улучшения внешнего вида, повышения коррозийной стойкости и прочности.

В табл. 110 приведен перечень применяемых методов обработки фольги разных сортов. Применяемая обработка обозначена знаком «+».

1. Лакирование

Эта операция заключается в покрытии поверхности фольги (с одной или двух сторон) бесцветным антикоррозионным лаком. Толщина лакируемой фольги составляет обычно от 9 до 25 *мк*. Иногда на специальных машинах лакируется более толстая фольга (до 300 *мк*). Современные машины позволяют обрабатывать фольгу шириной до 1 *м*. Лакировальные машины имеют скорость 20—40 *м/мин*. Количество наносимого лака при этом составляет 1—4 *г/м²*. Температура сушки лака 70—150°. Для сушки применяются барабаны и камеры с

Таблица 110

Методы специальной обработки фольги и последовательность их применения

Методы специальной обработки	Виды фольги										
	фольга для упаковки								фольга для этикеток	фольга для электрических кабелей	фольга для нитей («Люрекс», «Рексор» и т. п.)
	кофе и кондитерских изделий	плавленого сыра	сливочного масла и мороженого	химических товаров	молочных и кондитерских изделий и фотоматериалов	пробок на бутылки и банки	сухого молока, сухих фруктов, хлебопродуктов				
Лакирование одной стороны антикоррозионным лаком							+				
Лакирование одной стороны подслоем для гелиогравирования	+		+		+						
Лакирование двух сторон антикоррозионным лаком		+				+					+
Покрытие двух сторон слоем химически стойкой пластмассы				+							
Наклейка бумаги (каширование) клеем или лаком	+						+		+	+	
Наклейка бумаги (каширование) парафином			+		+						
Тиснение	+		+						+		
Гелиогравирование	+		+		+						
Окрашивание и печатание анилиновыми красителями									+		
Наклейка с двух сторон пластмассовой пленки											+
Перфорирование										+	
Резка по ширине	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
Вырезка этикеток	+		+		+				+		

нагревом от элементов сопротивления, с инфракрасными излучателями и с подачей воздуха от газовых горелок.

2. Окрашивание

Окрашивание — это покрытие фольги цветными лаками. Оно производится на тех же машинах, что и лакирование, с одинаковыми режимами работы.

3. Печатание анилиновыми красителями

На поверхность фольги наносится многоцветный рисунок (от одного до четырех цветов). Части рисунка, наносимые разными красками, не перекрывают одна другую. Рисунок наносится резиновыми печатными валиками диаметром 250—750 *мм* с выпуклым рельефом. Обычно толщина фольги, подвергаемой печатанию, составляет 7—15 *мк*. Для обработки более толстой фольги (до 50 *мк*) применяют специальные машины. Скорость печатания у машин разных типов лежит в диапазоне от 6 до 60 *м/мин*. Сушка фольги на этих машинах производится теми же методами, что и на лакировальных машинах. Описываемый метод не позволяет получать полутоновые рисунки, и качество рисунков при этом невысоко, низкая четкость получаемых рисунков объясняется упругостью резины. Поэтому за последние годы стал широко внедряться более совершенный способ печати — гелиогравирование.

4. Гелиогравирование (глубокая печать)

Этот метод позволяет получать многоцветные (от 4 до 8 цветов) полутоновые рисунки очень высокого качества, подобно лучшим образцам полиграфической печати на бумаге. Полутона получаются за счет перекрытия одних красок другими. Краска переносится на фольгу со стального хромированного валика, имеющего вогнутый рельеф глубиной в десятые доли миллиметра, в котором и задерживается краска. Излишки краски снимаются с валика стальным ножом — ракелем. Гелиогравированию подвергается кашированная фольга толщиной от 40 до 200 *мк*, шириной 300—1000 *мм*. Скорость гелиогравирования составляет 20—50 *м/мин*. Настройка машины на новый рисунок занимает примерно по 2 часа на один цвет. В настоящее время разрабатывается электронная система автоматической настройки. Этот метод экономически целесообразен лишь при большом объеме заказов.

5. Каширование (наклейка на бумагу)

Каширование фольги бумагой увеличивает ее прочность. Плотность, изоляционная способность и красивый внешний вид фольги при этом сохраняются. По виду применяемых склеивающих веществ различают три способа каширования: клеевой, парафиновый и с помощью лаков, не растворимых в воде. Толщина кашируемой фольги колеблется в диапазоне от 9 до 50 *мк*. Чаще всего кашируется фольга толщиной от 9 до 15 *мк*, что экономически более выгодно. Бумага, склеиваемая с фольгой, имеет вес 1 $м^2$ от 18 до 300 *г*. Ширина кашированной фольги достигает 1000 *мм*. Скорость современных машин для каширования составляет от 20 до 100 *м/мин* в зависимости от сорта бумаги и типа клея. Наиболее современные машины для каширования имеют камеру сушки с обдувкой фольги потоком горячего воздуха от газовых горелок.

6. Покрытие химически стойким слоем

За последние годы разработаны покрытия для фольги в виде пластмассовых пленок, химически стойких ко многим реактивам. Такая фольга применяется для упаковки химических продуктов.

Для полимеризации покрытия фольга проходит через камеру с температурой 340—370°. Скорость движения ленты при этом составляет около 2 *м/мин*. Толщина такой фольги равна 0,15—0,30 *мм*, ширина 400 *мм;* вес пластмассового слоя составляет 3 $г/м^2$.

7. Тиснение

Это наиболее простой вид декоративной отделки фольги, заключающийся в выдавливании на ней рельефного рисунка. Тиснению подвергается только отожженная фольга толщиной 9—14 *мк*. Скорость машин для тиснения составляет 25—80 *м/мин*.

8. Перфорирование

Перфорированию (т. е. пробивке мелких отверстий) подвергается кашированная фольга, идущая для обертки электрических кабелей. Эта операция производится на специальных машинах и на машинах для тиснения и каширования. Скорость перфорирования составляет обычно 15—30 *м/мин*.

9. Изготовление нитей из фольги

Несколько лет тому назад из лакированной и окрашенной фольги, склеенной с пластмассовой пленкой, стали изготовлять нити, предназначенные для вплетения в декоративные ткани (так называемые нити и ткани «Люрекс» и «Рексор»). Фольгу с двух сторон покрывают цветным лаком, поверх которого на нее наклеивают ацетобутератцеллюлозную пленку. После этого фольгу режут сначала на ленты шириной

25—50 *мм* на обычных дисковых ножницах, а затем — на нити шириной 0,4—2,0 *мм* на специальных ножницах. Один килограмм нитей шириной 0,4 *мм* имеет длину около 20 *км*.

10. Резка фольги

Готовую фольгу всех выпускаемых толщин (от 0,005 до 0,2 *мм*) режут на ленты требуемой ширины на дисковых ножницах. Скорость резки фольги тоньше 12 *мк* составляет 40—100 *м/мин*, более толстую фольгу можно разрезать со скоростью 100—250 *м/мин*.

При резке с рисунком, имеющим форматные линии, скорость снижается до 40—60 *м/мин*. Ширина дисковых ножниц составляет 500—1100 *мм*. Минимальная ширина готовых лент равна 4—5 *мм*; число ремней, на которые режется лента, у лучших дисковых ножниц не лимитируется. Обрезаемые кромки отсасываются в эксгаустерную систему удаления отходов и пакетируются.

Гелиогравированную фольгу можно разрезать на карточки по формату рисунка с помощью автоматических гильотинных ножниц со стопоукладчиком.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Крейндлин, Г. Н. Кручер. Производство листов и лент из легких сплавов, Металлургиздат, 1957.
2. С. Н. Черняк, В. И. Карасевич. Производство фольги, Металлургиздат, 1957.
3. М. Ф. Баженов, Г. Н Кручер. Современная техника производства алюминиевой фольги во Франции, ЦИИН ЦМ, 1959.
4. Г. Н. Кручер. Бюллетень ЦИИНЦМ 1959, № 1.
5. Stone. Iron and Steel Engineer, 1953, v. 30 № 2; 1956, v. 33, № 12.
6. Metal Industry, 1957, v. 91, № 14.
7. Emike, Metall, 1950, № 19/20.
8. Aluminium, 1958, dec., № 12.
9. Modern Metals, 1957, dec.

Раздел шестой

ПРОИЗВОДСТВО ПРОВОЛОКИ

ГЛАВА I

ОСНОВЫ ГОРЯЧЕЙ ПРОФИЛЬНОЙ ПРОКАТКИ

§ 1. ОСОБЕННОСТИ ПРОФИЛЬНОЙ ПРОКАТКИ

1. Основные определения

Наружный диаметр валка $D_{нар}$ — диаметр бочки валка.

Ручей — кольцевая выточка в бочке валка.

Бурты — промежутки между ручьями в теле валков, ограничивающие боковые стороны соседних валков.

Глубина ручья c — расстояние от бурта калибра до дна ручья.

Рабочий диаметр валка $D_{раб}$ — диаметр валка, замеренный по глубине ручья:

$$D_{раб} = D_{нар} - 2c.$$

Ширина бурта для чугунных валков равна глубине ручья; для стальных — половине глубины ручья; при расчете ширины буртов необходимо учесть возможность установки направляющих линеек.

Калибр — просвет между валками, образованный ручьями двух валков, в котором прокатывается полоса.

Профиль — сечение полосы, перпендикулярное оси полосы.

Зазор между валками z_n — расстояние между наружными диаметрами двух валков, предназначаемое для регулировки и настройки валков при прокатке и для предотвращения соприкосновения валков друг с другом при вращении. Величину зазора принимают в момент прохождения полосы через калибр; для промежуточных калибров $Z_n = (0{,}01 \div 0{,}02)\ D_{нар}$; для отделочных и предотделочных $z_n = (0{,}005 \div 0{,}01)\ D_{нар}$.

Раздел калибра — место, где граница профиля переходит с одного валка на другой.

Открытый калибр — калибр, у которого угол между осью валка и линиями раздела калибра меньше 60°; чаще всего раздел открытого калибра ограничен линиями, параллельными оси валка.

Закрытый калибр — калибр, у которого угол между осью валка и линиями раздела калибра больше 60°; часто применяются закрытые калибры, у которых раздел ограничен линиями, мало отклоняющимися от перпендикуляра к оси валков.

Средняя или нейтральная линия — прямая, на которой расположены центры тяжести поперечных сечений всех калибров; нейтральная линия параллельна оси валков и расположена в вертикальной плоскости, проходящей через оси верхнего и нижнего валков.

Верхнее давление — сила, прижимающая полосу вниз; обеспечивается тем, что на практике при открытых калибрах $D_{нар}$ верхнего валка делается на 1—2% больше $D_{нар}$ нижнего валка.

Средняя глубина ручья

$$c_{ср} = \frac{S_n - b_n z_n}{2b_n},$$

где S_n — сечение калибра, *мм*²;
b_n — ширина расточки ручья, *мм*;
z_n — зазор между валками, *мм*.

Максимальный рабочий диаметр валка $D_{раб} \geqslant 0{,}67\ D_{нар}$.

Средний рабочий диаметр валков $D_{раб} = D_{нар} - 2\ c_{ср}$.

Максимальная глубина ручья $c \geqslant 0{,}16\ D_{нар}$

Максимальная высота калибра $h_n \geqslant 0{,}33\ D_{нар}$.

Абсолютное обжатие по высоте Δh — разность между высотой полосы до прохода (h_0) и высотой полосы после прохода (h_k):

$$\Delta h = h_0 - h_k.$$

При профильной прокатке величина Δh определяется как максимальная разность высот задаваемого и получаемого профилей.

Относительное обжатие по высоте — отношение абсолютного обжатия по высоте (Δh) к высоте полосы до пропуска:

$$\delta_h = \frac{\Delta h}{h_0}.$$

Относительное обжатие по сечению — отношение разности площадей поперечных сечений полосы до и после прохода к площади сечения полосы до прохода, %:

$$\delta_S = \frac{S_0 - S_k}{S_0} \cdot 100.$$

Относительная вытяжка или просто вытяжка — отношение длины полосы после прохода к начальной длине:

$$\mu = \frac{l_k}{l_0}.$$

Угол захвата α определяется по формуле

$$\cos\alpha = \frac{D_{раб} - (h_0 - h_k)}{D_{раб}} = 1 - \frac{\Delta h}{D_{раб}}.$$

Величины углов захвата по известным Δh и $D_{раб}$ могут быть определены по табл. 1 или номограмме (рис. 1).

Максимальный угол захвата при горячей профильной прокатке

$$\alpha_{макс} \geqslant 32°.$$

Максимальное абсолютное обжатие по высоте

$$\Delta h \geqslant 0{,}15\, D_{раб};$$

$$\Delta h \geqslant 0{,}10\, D_{нар}.$$

Максимальная толщина слитка или заготовки

$$H_c \geqslant 0{,}43\, D_{нар}.$$

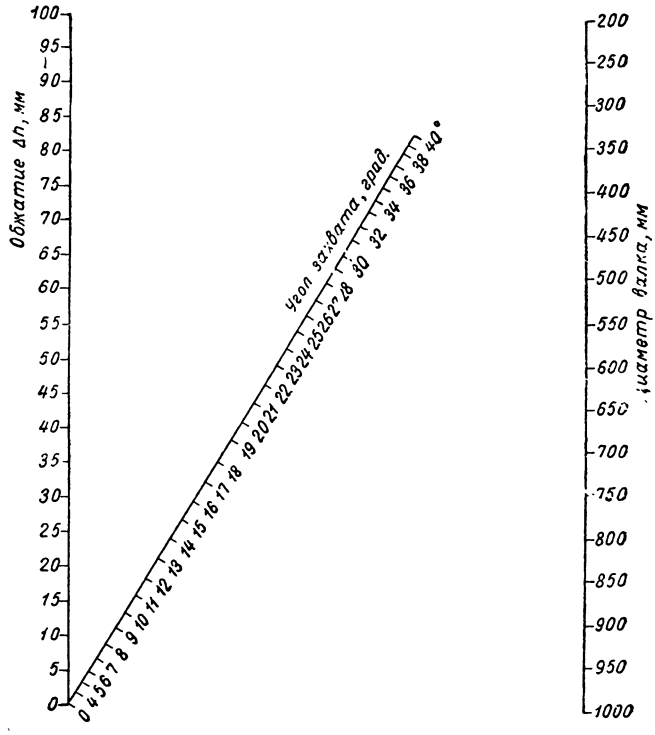


Рис. 1. Номограмма для определения углов захвата

Таблица 1

Углы захвата в зависимости от абсолютного обжатия Δh и рабочего диаметра валка $D_{раб}$

Абсолютное обжатие Δh, мм	Диаметр валк раб, мм									
	150	200	225	250	275	300	350	400	450	500
2	9°22′	8°6′	7°39′	7°15′	6°55′	6°37′	6°8′	5°44′	5°24′	5°8′
4	13°16′	11°29′	10°49′	10°16′	9°47′	9°22′	8°40′	8°6′	7°39′	7°15′
6	16°16′	14°4′	13°16′	12°35′	12°00′	11°29′	10°37′	9°56′	9°22′	8°53′
8	18°48′	16°16′	15°20′	14°32′	13°51′	13°16′	12°17′	10°29′	10°49′	10°16′
10	21°2′	18°12′	17°9′	16°16′	15°30′	14°50′	13°44′	12°50′	12°6′	11°29′
12	23°4′	19°57′	18°48′	17°49′	16°59′	16°16′	15°3′	14°4′	13°16′	12°35′
14	24°57′	21°34′	20°19′	19°16′	18°23′	17°34′	16°16′	15°12′	14°20′	13°35′
16	26°42′	23°4′	21°44′	20°37′	19°38′	18°48′	17°23′	16°16′	15°20′	14 32′
18	28°21′	24°30′	23°4′	21°52′	20°51′	19°57′	18°28′	17°15′	16°16′	15°25′
20	29°56′	25°51′	24°20′	23°04′	21°59′	21°2′	19°28′	18°12′	17°9′	16°16′

Продолжение табл. 1

Абсолютное обжатие Δh, мм	Диаметр валка $D_{раб}$, мм									
	150	200	225	250	275	300	350	400	450	500
22	31°25′	27°8′	25°33′	24°13′	23°04′	22°5′	20°25′	19°5′	17°59′	17°4′
24	32°52′	28°21′	26 42′	25°19′	24°07′	23°4′	21°20′	19°57′	18°48′	17°49′
26	34°15′	29°32′	27 49′	26 22′	25°07′	24°2′	22°13′	20°46′	19 34′	18°34′
28	35°35′	30°41′	28°53′	27°23′	26°05′	24°57′	23°4′	21°34′	20°19′	19°16′
30	36°52′	31°47′	29°56′	28°21′	27°01′	25°51′	23°54′	22 20′	21°2′	19°57′
32	38°8′	32°52′	30°56′	29°19′	27°55′	26°42′	24°42′	23°4′	21°44′	20°37′
34	39°21′	33°54′	31°55′	30°14′	28°48′	27°33′	25°28′	23 48′	22°25′	21°15′
36	—	34 55′	32°52′	31°8′	29°39′	28°21′	26 13′	24°30′	23 4′	21°52′
38	—	35°54′	33°47′	32°0′	30°29′	29°9′	26°57′	25°11′	23°43′	22 29′
40	—	36°52′	34°42′	32°52′	31°17′	29°56′	27°40′	25°51′	24°20′	23°4′
42	—	37°49′	35°35′	33°42′	32°5′	30°41′	28°21′	26 30′	24°57′	23°39′
44	—	38°45′	36°27′	34°31′	32°52′	31°25′	29°2′	27°8′	25 33′	24°13′
46	—	39°39′	37 18′	35°19′	33 37′	32°9′	29°42′	27 45′	26°8′	24°46′
48	—	—	38°8′	36°6′	34°22′	32°52′	30°22′	28°21′	26°42′	25°19′
50	—	—	38°57′	36°52′	35°6′	33°33′	31°0′	28°57′	27°16′	25°51′
52	—	—	39°45′	37°38′	35°49′	34°15′	31°38′	29°32′	27 49′	26°22′
54	—	—	—	38°22′	36°31′	34°55′	32°15′	30°7′	28°21′	26°53′
56	—	—	—	39°6′	37°13′	35°35′	32°52′	30 41′	28°53′	27°23′
58	—	—	—	39°50′	37°54′	36°14′	33°28′	31°14′	29°25′	27°52′
60	—	—	—	—	38°34′	36°52′	34°3′	31 47′	29°56′	28°21′

2. Неравномерность деформации по ширине полосы

При профильной прокатке деформация полосы неравномерна во всех случаях. Неравномерность обжатия по ширине полосы может явиться следствием фасонной формы как входного (рис. 2), так и выходного сечения (рис. 3) и сопровождается всегда вынужденной вытяжкой и вынужденным уширением полосы.

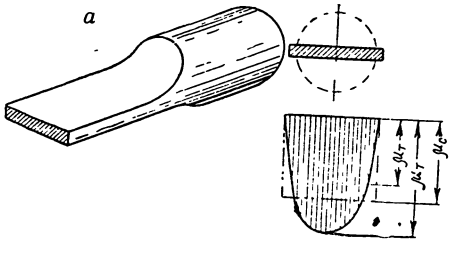


Рис. 2. Неравномерность обжатия по ширине полосы вследствие фасонной формы выходного сечения

а — исходное сечение — прямоугольник, выходное сечение — сложный профиль; *б* — исходное сечение — прямоугольник, выходное сечение — коллекторные полосы; μ_T — теоретическая вытяжка; μ_c — средняя вытяжка

Неравномерное обжатие сильно отражается на форме полосы. При симметричных сечениях сильно обжатые части, стремясь получить большую вытяжку, гофрируются (рис. 4), дают волнистую стенку (рис. 5) и даже получают разрывы, если велика вынужденная вытяжка их соседними элементами (рис. 6). При несимметричных сечениях энергичная вытяжка одной стороны влечет за собой искривление полосы (рис. 7), доходящее иногда до скручивания полосы в винт (рис. 8).

Неправильная установка валков также приводит к неравномерному обжатию. Последнее делает сечение несимметричным и влечет искривление полосы (рис. 9). Сдвиг в направлении оси одного валка по отношению к другому также сопровождается неравномерностью обжатия (рис. 10).

Против искривления полосы при прокатке могут быть приняты следующие меры:

а) превращение несимметричных сечений в симметричные с разрезкой после прокатки (рис. 11);

б) применение соответствующих входных сечений, построенных применительно к методу пропорциональных обжатий (рис. 12);

в) придание полосе при прокатке искривления, равного и противоположного ее искривлению при остывании;

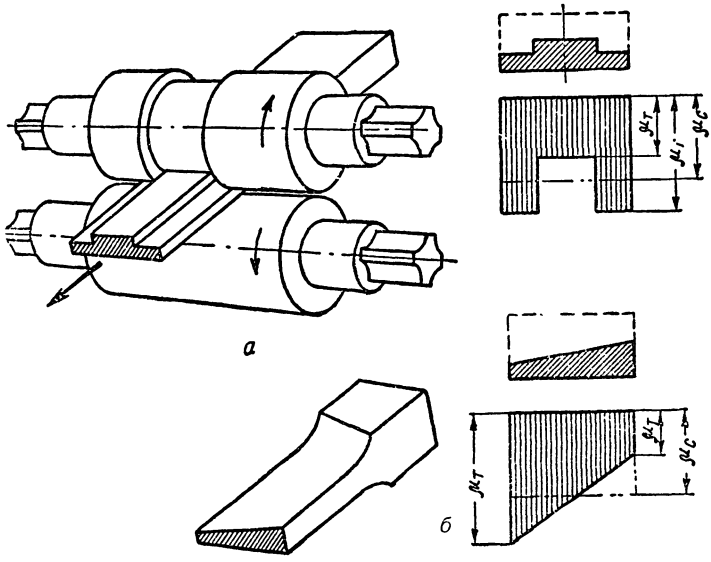


Рис. 3. Неравномерность обжатия по ширине полосы вследствие фасонной формы выходного сечения

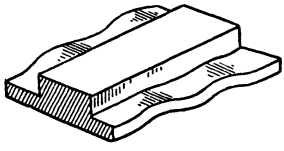


Рис. 4. Гофрирование сильно обжатых частей

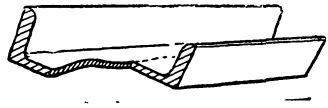


Рис. 5. Волнистая стенка

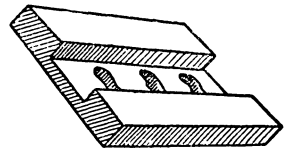


Рис. 6. Разрывы сильно обжатых частей

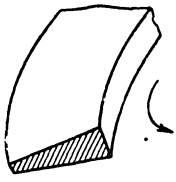


Рис. 7. Искривление полосы

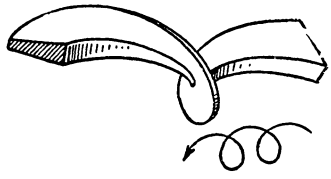


Рис. 8. Скручивание полосы **в винт**

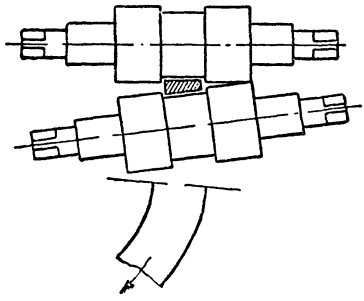


Рис. 9. Искривление полосы из-за непараллельной установки валков

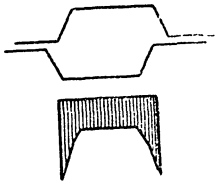


Рис. 10. Неравномерное обжатие полосы вследствие сдвига одного валка по отношению к другому

Рис. 11. Прокатка сдвоенных несимметричных сечений

Рис 12 Уменьшение неравномерности обжатия рациональным подбором входного сечения

г) применение неравномерных обжатий по возможности в черновых проходах и все более равномерных по мере приближения к отделочному проходу, так как в начале прокатки металл более горяч и пластичен.

3. Прокатка клиновидного профиля

По принципу неравномерных обжатий входное сечение *АБЕД* (рис. 13) должно

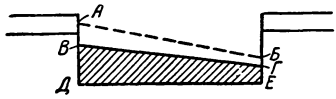


Рис. 13. Подбор калибров для прокатки клиновидного профиля

было бы быть построено по выходному сечению *ВГЕД* на основании пропорции

$$\frac{БГ}{БЕ} = \frac{АВ}{АД}.$$

Но так как окружная скорость верхнего валка в точке *Г* больше, чем в точке *В*, полоса все-таки получит искривление, как будто обжатие на стороне *ГЕ* было слишком велико.

Для компенсации неравных скоростей валка применяется правило: относительное обжатие на толстой стороне клина берут больше, чем на тонкой стороне, и вычисляют его умножением относительного обжатия на тонкой стороне на корень кубичный из отношения скоростей валка на тонкой и толстой сторонах:

$$\frac{БГ}{БЕ} = \sqrt[3]{\frac{v_Г}{v_В}} \cdot \frac{АВ}{АД}.$$

Пример. Для прокатки с минимальным искривлением коллектора размером 8×6×50 *мм* в валках 250 *м* при обжатии 25% надо взять заготовку 10,67×7,99×50 *мм*, если не учитывать уширения, так как

$$\frac{10{,}67 - 8{,}00}{10{,}67} \cdot 100 = 25\%$$

или

$$\frac{7{,}99 - 6{,}00}{7{,}99} \sqrt[3]{\frac{250}{248}} \cdot 100 = 25\%.$$

4. Неравномерность деформации по высоте полосы

Неравномерность деформации по высоте полосы при профильной прокатке может быть следствием различия пластических свойств металла в одном и том же сечении Это различие может обусловливаться: различием температур (неравномерный нагрев или захолодание поверхностных слоев); поверхностным наклепом; ликвацией; искусственной многослойностью, например в биметалле; подпирающим действием сил трения.

Так как зоны большей или меньшей пластичности взаимно связаны, возникают вынужденные уширение и вытяжка и связанные с этим внутренние напряжения, что может проявиться в форме разрывов, расслоения и оковывания валков (рис. 14) Возможны поверхностные разрывы более жестких слоев с заполнением трещин пластичным металлом изнутри. Если централь-

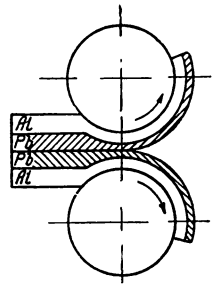


Рис. 14. Схема расслоения полосы при более жестком поверхностном слое

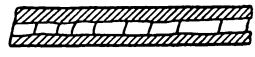


Рис 15. Разрывы железного сердечника при горячей прокатке биметаллической проволоки (медь-железо)

ный слой имеет бо́льшую жесткость, чем наружные, в нем также возможны разрывы (рис. 15).

Частные абсолютные обжатия слоев металла, имеющих различную пластичность, обратно пропорциональны квадратам сопротивлений деформации этих слоев (И. М Павлов):

$$\frac{H_1 - h_1}{H_2 - h_2} = \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\right)^2,$$

где $H_1 - h_1$ — обжатие по высоте слоя с сопротивлением деформации σ_1;

$H_2 - h_2$ — обжатие по высоте слоя с сопротивлением деформации σ_2.

Если $H - h$ полное обжатие, то

$$H_1 - h_1 = (H - h)\frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2},$$

$$H_2 - h_2 = (H - h)\frac{\sigma_1^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}.$$

5. Правило естественных длин

При калибровке валков для профильной прокатки приходится отступать от принципа равномерного обжатия, так как при построении калибров исходя из чистового фасонного сечения при равномерном обжатии невозможно прийти к простым формам заготовки.

Неравномерное обжатие может быть допущено в известных пределах за счет воздействия соседних частей профиля друг на друга. Части, подвергающиеся большому обжатию, увлекают за собой в длину малообжатые части профиля, и наоборот: части

профиля, подвергающиеся малому обжатию, не позволяют сильно обжатым частям удлиняться в полной мере. В результате такого воздействия частей профиля прокатываемая полоса получит некоторую среднюю длину.

Естественные длины — длины, которые получили бы при прокатке части профиля под влиянием приходящегося на них обжатия, если бы они не составляли одного целого. Взаимодействие отдельных частей профиля состоит в выравнивании естественных длин.

Средняя длина полосы, подвергаемой при прокатке неравномерному обжатию, равна среднему арифметическому естественных длин отдельных частей профиля.

Математическое выражение правила естественных длин:

$$l_k = l_0 \frac{\frac{H_1}{h_1} + \frac{H_2}{h_2} + \frac{H_3}{h_3} + .., + \frac{H_k}{h_k}}{k},$$

где l_k — длина полосы после прокатки;
l_0 — длина полосы до прокатки;
k — число отдельных частей, на которые разбит профиль;
$H_1, H_2, H_3 \ldots H_k$ — высота отдельной части профиля до прокатки;
$h_1, h_2, h_3 \ldots h_k$ — высота отдельной части профиля после прокатки.

6. Уширение при профильной прокатке

Абсолютное уширение подсчитывается по эмпирической формуле:

$$\Delta b = b_k - b_0 = \beta' \Delta h,$$

где b_0 и b_k — ширина полосы до и после прохода, *мм*;
Δh — абсолютное обжатие по высоте, *мм*;
β' — коэффициент уширения, для меди $\beta' = 0{,}36$; для алюминия $\beta' = 0{,}40$.

Относительное уширение измеряется в процентах, как отношение абсолютного уширения к первоначальной ширине:

$$\beta = \left(\frac{b_k - b_0}{b_0}\right) 100 = \left(\frac{b_k}{b_0} - 1\right) 100 = \frac{\Delta b}{b_1} 100\%.$$

При прокатке фасонных сечений в калибрах с вынужденным уширением рекомендуется применять метод сечения полосы и калибра плоскостями, параллельными осям валков и перпендикулярными оси полосы. Разбивая сечение на две части — на часть, ограниченную калибром и не поддающуюся уширению, и на часть, способную уширяться, оценивают их влияние друг на друга и выбирают коэффициент уширения по вытяжке в данном сечении. По этому коэффициенту определяют увеличение ширины и форму сечения после прокатки.

Если давление металла на валок направлено под углом к оси валка, его можно разложить на составляющую, перпендикулярную оси валка (прямое давление), и на составляющую, направленную вдоль оси валка (боковое давление). Могут быть случаи когда боковое давление появляется в виде двух равных и противоположных сил и на опоры валка не передается (рис. 16).

Боковые давления могут случайно возникнуть и дать значительные осевые усилия в симметричных калибрах, например вследствие смещения или неодинакового заполнения калибров (рис. 17).

Рис. 16. Прямое и боковое давление в калибре

В несимметричных калибрах почти всегда имеет место боковое давление (рис. 18). Только в отдельных случаях удается так расположить несимметричный калибр, что

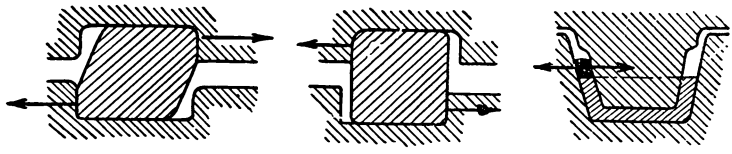


Рис. 17. Возникновение бокового давления в симметричных калибрах

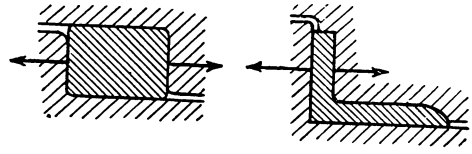


Рис. 18. Боковое давление в несимметричных калибрах

у него боковое давление вдоль оси валка получается уравновешенным (рис. 19).

Вынужденное уширение особенно опасно при переполнении калибра, когда металл течет в узкую щель между валками. Небольшое переполнение еще может быть закатано без вреда для профиля в последующем калибре (рис. 20). Большое же переполнение, называемое заусенцем, заминается и

вдавливается в сечение, сохраняя свою поверхность раздела. Это явление называется закатом и дает брак (рис. 21).

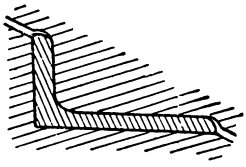


Рис 19. Несимметричный калибр с уравновешенным боковым давлением

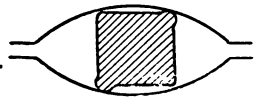


Рис. 20. Переполнение калибра, которое может быть исправлено в следующем калибре

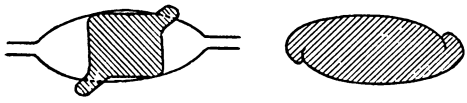


Рис. 21. Переполнение калибра, ведущее к заусенцам и закату

Для предупреждения образования заусенцев принимают следующие предохранительные меры:

1) калибровку валков рассчитывают так, чтобы калибры не могли переполняться; небольшое незаполнение калибра вреда не приносит;

2) применяют достаточно большие закругления острых углов калибра;

3) правильно устанавливают валки, так как при сдвинутых валках или уменьшенном зазоре заусенцы могут появиться и в хорошо выполненных калибрах;

4) отделочный круглый калибр расширяют по направлению к месту разъема (рис. 22);

5) стороны крупных черновых прямоугольных калибров делают вогнутыми (рис. 23).

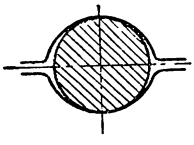


Рис. 22. Расширение круглого чистового калибра по направлению к месту разъема

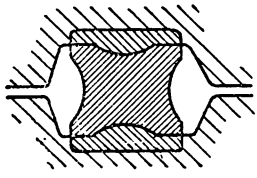


Рис. 23. Вогнутость сторон крупных черновых прямоугольных калибров

7. Определение давления металла на валки

Давление металла на валки определяют по формуле

$$P = 0{,}001\,\sigma_F q \cdot 1{,}15F,$$

где P — давление металла на валки, $т$;

σ_F — сопротивление деформации, $кг/мм^2$, которое принимают примерно равным пределу прочности σ_b и определяют по табл. 2;

q — коэффициент, определяемый по номограмме (рис. 24) в зависимости от величин u и δ_h:

$$u = f\sqrt{\frac{2D_{раб}}{\Delta h}};$$

$$\delta_h = \frac{\Delta h}{h_0};$$

f — коэффициент трения, равный 0,8 (1,05—0,0005 t);

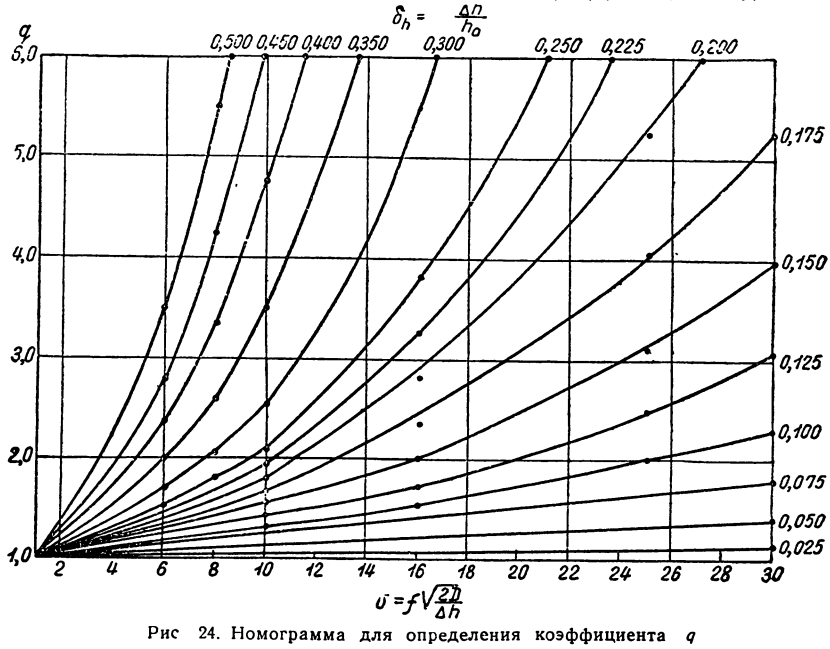


Рис 24. Номограмма для определения коэффициента q

Значение предела прочности на растяжение σ_b, *кг/мм²*, в зависимости от температуры

Таблица 2

Наименование металлов и марки сплавов	Температура прокатки, °С																						
	20	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
Медь	24,0	22,5	20,2	18,7	17,3	16,0	14,7	13,6	12,3	11,1	10,0	8,4	7,0	5,7	4,5	3,6	2,8	2,3	1,9	1,5	1,2	—	—
Л80	31,9	30,6	29,6	28,4	26,4	24,0	21,4	17,7	12,0	7,5	5,0	3,6	2,4	2,1	1,8	1,4	1,2	1,1	1,0	—	—	—	—
Л68	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	32,0	24,5	17,0	13,0	9,0	7,0	5,0	3,8	2,6	1,8	1,0	—	—	—	—	—	—
Л62	36,0	34,0	32,5	30,5	28,5	25,5	23,0	19,5	16,0	12,0	8,0	6,0	4,0	3,0	2,0	1,5	1,0	—	—	—	—	—	—
ЛС59-1	37,6	36,2	34,2	32,0	30,0	24,6	20,0	14,8	10,0	7,2	4,8	3,1	1,6	1,0	0,4	0,3	0,2	—	—	—	—	—	—
Бр. Кд0,5	26,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Бр. Х0,5	45,0	43,5	42,0	39,5	37,0	34,7	32,5	30,5	28,0	25,0	22,0	19,3	16,5	14,0	11,5	8,7	6,0	4,2	2,5	1,7	1,0	—	—
Бр Т	27,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Бр. Кд1,0	28,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Бр. Б2	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	47,0	40,0	28,0	16,0	13,0	10,0	7,5	5,0	—	—	—	—	—	—
Бр.КМц3-1	38,0	38,0	38,0	38,0	38,0	38,0	38,0	38,0	26,0	20,5	15,0	10,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Бр. ОФ6,5—0,4	40,0	39,0	38,0	37,0	36,0	35,0	34,0	32,8	31,0	27,5	24,0	19,0	15,0	12,2	9,5	7,5	—	—	—	—	—	—	—
Бр. ОЦ4-3	35,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
МН0,6	27,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
МНМц3-12	47,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
МН16	39,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
МН19	40,0	39,0	38,0	37,2	36,6	35,8	35,0	33,5	32,0	28,5	25,0	20,5	16,0	12,0	8,5	5,1	3,5	2,6	2,2	2,1	2,0	—	—
МНЦ15-20	41,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,0	4,2	3,8	3,0	2,2	—	—	—	—
МНМц40-1,5	45,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
МНМц43-0,5	40,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Н1	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	44,8	40,0	35,0	30,0	26,9	23,5	20,2	17,4	14,6	11,8	9,2	7,8	6,4	5,2	4,0	3,2	2,8
НК0,2	45,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
НМц2,5	50,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
НМц5	57,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
НМцАК2-2-1	56,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
НХ9,5	65,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Х20Н80	40,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
НМЖМц28-2,5-1,5	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	47,0	43,5	38,0	33,0	27,0	21,0	17,5	14,0	12,0	10,0	8,2	6,3	5,1	4,4
Х15Н60	64,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17,0	12,9	8,9	7,1	5,2
А1	9,0	8,5	8,0	7,0	5,3	4,0	2,9	2,0	1,3	0,9	0,6	0,4	0,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$А_д$	11,0	9,5	9,0	7,5	5,4	4,1	3,1	2,2	1,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
АМц	13,0	12,0	10,0	8,0	5,5	4,2	3,3	2,4	1,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
АМг	20,0	19,0	17,5	16,0	12,5	9,2	6,3	4,2	3,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Д18П	16,0	15,0	14,0	13,0	12,0	6,8	3,7	2,3	1,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Д3П	17,0	16,0	15,0	14,0	13,0	8,0	4,6	3,0	2,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Д1П	21,0	20,5	20,0	19,0	18,0	10,3	5,1	3,4	2,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
АМг5П	27,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Д16	21,0	20,7	20,3	20,0	19,5	11,7	6,7	4,0	2,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Титан	70,0	62,0	52,0	43,5	37,0	31,0	28,0	27,5	27,0	22,5	17,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ц1	11,3	9,9	7,7	5,0	3,6	2,3	1,6	0,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

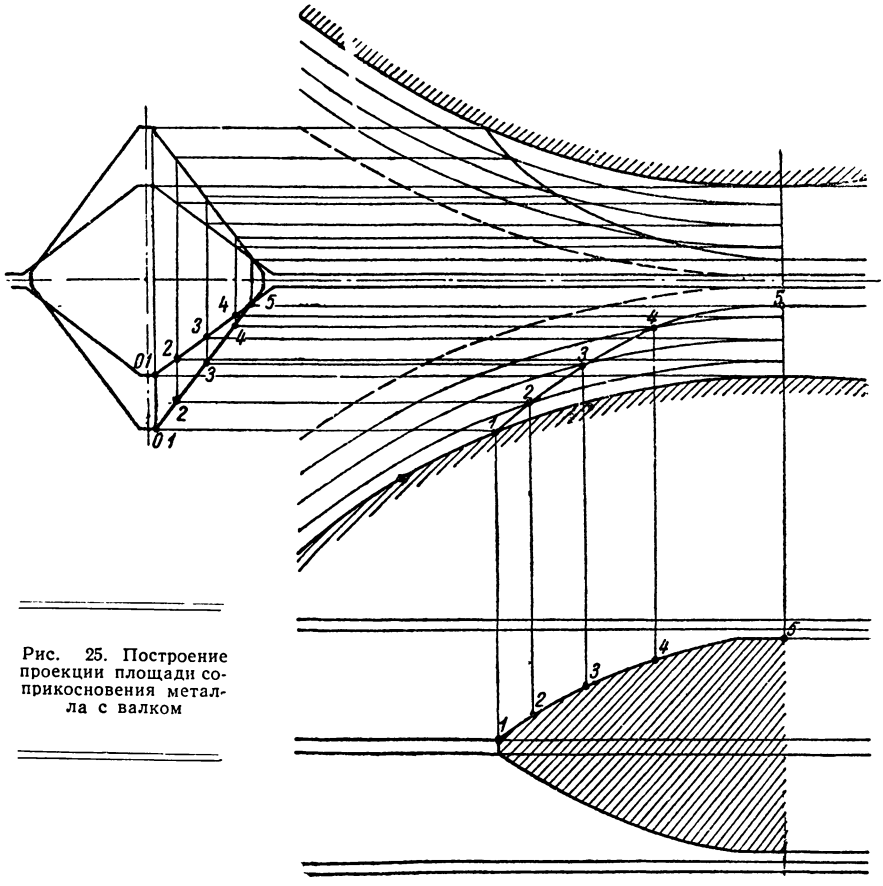


Рис. 25. Построение проекции площади соприкосновения металла с валком

t — температура прокатки, °С;
$D_{раб}$ — рабочий диаметр валка, *мм*;
Δh — абсолютное обжатие полосы по высоте, *мм*;
h_0 — начальная высота прокатываемой полосы, *мм*;
F — проекция поверхности соприкосновения металла с одним валком, *мм*^{2}, определяемая графическим путем по методу, показанному на рис. 25. Приближенно ее можно вычислить по формуле

$$F \cong \frac{b_0 + b_k}{2} \sqrt{D_{раб} \frac{\Delta h}{2}} \quad мм^2,$$

где b_0 — ширина полосы до прокатки, *мм*;
b_k — ширина полосы после прокатки, *мм*

8. Определение мощности двигателя для одного прохода при отсутствии маховика

Мощность двигателя для одного прохода при отсутствии маховика определяется по формуле

$$N_{ст} = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 \quad квт.$$

Мощность, потребная для осуществления деформации, определяется по формуле

$$N_1 = 0{,}001\, P \sqrt{\frac{D_{раб}}{2} \Delta h}\; n \quad квт,$$

где P — давление металла на валки, *т*;
$D_{раб}$ — рабочий диаметр валка, *мм*;
Δh — абсолютное обжатие, *мм*;
n — число оборотов валков в минуту.

Мощность, потребная для преодоления трения шеек валков в подшипниках, определяется по формуле

$$N_2 = P d_ш f' n \quad квт,$$

где P — давление металла на валки, *т*;
$d_ш$ — диаметр шейки валка, *м*;
f' — коэффициент трения шеек валков (в подшипниках с металлическими вкладышами $f' = 0{,}070 \div 0{,}100$; с пластмассовыми вкладышами 0,010÷0,030; жидкостного трения 0,003÷0,004 и в подшипниках качения 0,003);
n — число оборотов валков в минуту.

Мощность, потребная для преодоления по-

терь в передаче, определяется по формуле

$$N_3 = \varphi (N_1 + N_2) \ квт,$$

где φ — коэффициент, зависящий от конструкции передачи (для зубчатой одноступенчатой передачи $\varphi = 0{,}05 \div 0{,}02$; для ременной передачи $0{,}25 \div 0{,}11$; для канатной передачи $0{,}25 \div 0{,}18$).

Мощность холостого хода стана определяется по формуле

$$N_4 = \sum \frac{G_n f_n d_n}{2 i_n} n_д \ квт,$$

где G_n — вес данной вращающейся детали стана, $т$;
f_n — коэффициент трения цапфы данной детали;
d_n — диаметр цапфы данной детали, $м$;
i_n — передаточное число между двигателем и данной деталью;
$n_д$ — число оборотов двигателя в минуту.

9. Определение мощности двигателя для одного прохода при наличии маховика

Определение мощности двигателя для одного прохода при наличии маховика производится по формуле

$$N_{дин} = N_{ст} - (N_{ст} - N_0) e^{-\frac{t}{T}} \ квт,$$

где $N_{дин}$ — мощность двигателя при наличии маховика, $квт$;
$N_{ст}$ — расчетная мощность двигателя, $квт$, при отсутствии маховика, равная $N_1 + N_2 + N_3 + N_4$;
N_0 — начальная мощность двигателя, $квт$, равная для одного прохода мощности холостого хода стана $N_0 = N_4$;
e — основание натуральных логарифмов;
t — продолжительность прохода, сек.;
T — постоянная инерции двигателя-маховика, сек.;

$$T = \frac{GD^2 n^2 s_н}{366\,000\, N_н (1 - s_н)} \text{ сек.};$$

G — вес маховика, $кг$;
D — диаметр обода маховика, $м$;
n_0 — число оборотов двигателя в минуту при нулевой нагрузке (синхронное число оборотов);
n — число оборотов двигателя в минуту при нагрузке, равной номинальной мощности двигателя;
$s_н$ — номинальное скольжение двигателя;

$$s_н = \frac{n_0 - n}{n_0} = 0{,}03 \div 0{,}10;$$

$N_н$ — номинальная мощность двигателя, $квт$.

Для определения $N_{дин}$ необходимо знать величину T, в свою очередь зависящую от величины $N_н$; поэтому подсчитывают приближенно величину $N_н$ и уже затем определяют по формуле величину $N_{дин}$. Если при таком подсчете полученная величина $N_{дин}$ сильно отличается от принятой величины $N_н$, то следует произвести расчет повторно с внесением необходимых коррективов.

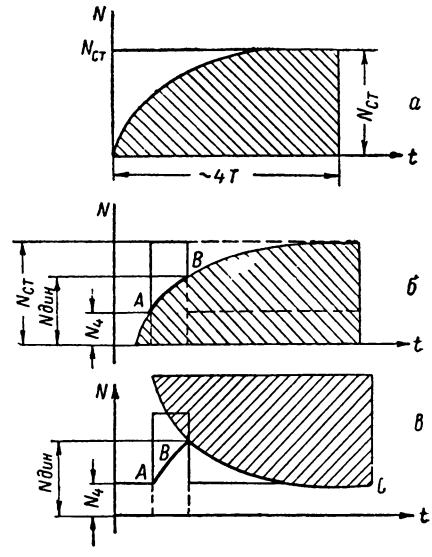


Рис. 26. Построение величины $N_{дин}$ посредством шаблона

Определение $N_{дин}$ графическим методом.

Для графического определения мощности двигателя надо вычертить на плотной бумаге шаблон (рис. 26, *а*) в масштабе нагрузочной диаграммы по уравнению

$$N = N_{ст} (1 - e^{-\frac{t}{T}}),$$

где $N_{ст}$ — расчетная мощность двигателя при отсутствии маховика, $квт$.

Значение времени при построении шаблона принимают от $t = 0$ до $t \cong 4\ T$.

Кривую загрузки двигателя строят с помощью шаблона, накладывая его на диаграмму статической нагрузки таким образом, чтобы он касался точки, в которой $N = N_4$, и чтобы его асимптота совпадала с прямой, проходящей параллельно оси асбцисс на расстоянии от нее, равном $N_{ст}$ (рис. 26, *б*). Шаблон очерчивают в пределах рассматриваемого прохода и получают кривую загрузки двигателя. Для построения кривой разгрузки двигателя в период паузы поворачивают шаблон на 180° (рис. 26, *в*) и накладывают его на диаграмму таким образом, чтобы он касался точки, в которой $N = N_{дин}$ и чтобы его асимптота совпадала с прямой, проходящей параллельно оси абсцисс на расстоянии от нее, равном N_4 мощности холостого хода стана в киловат-

тах. Шаблон очерчивают в пределах рассматриваемой паузы и получают кривую разгрузки двигателя.

§ 2. КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ

1. Формы калибров

Калибры при профильной прокатке могут иметь форму, приведенную на рис. 27.

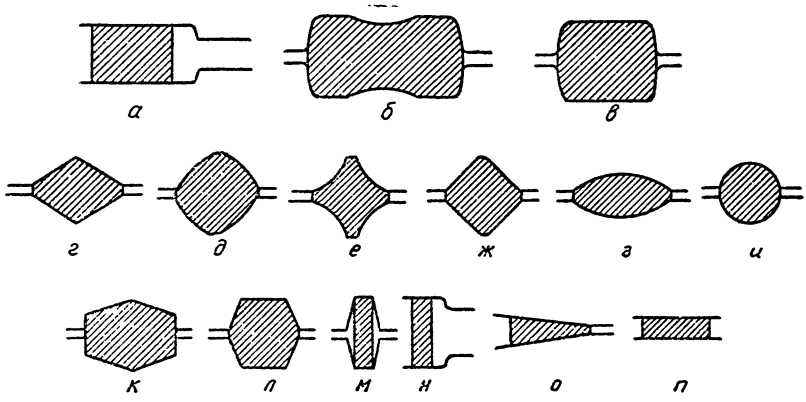


Рис. 27. Различные формы калибров:
а — плоский; *б* — прямоугольный ящичный; *в* — прямоугольный, приближающийся к квадрату; *г* — ромбический; *д* — стрельчатый; *е* — трефовидный; *ж* — квадратный, *з* — овальный, *и* — круглый; *к* — шестигранный предотделочный; *л* — шестигранный отделочный; *м* — ребровой; *н* — ребровой ступенчатый; *о* — клиновидный; *п* — прогладочный

2. Система калибровки

При профильной прокатке проволочной, прутковой и полосовой заготовок наиболее часто применяют следующие системы калибровок (рис. 28): прямоугольных калибров (*а*), калибров квадрат — овал — квадрат (*б*), ромбических калибров (*в*), стрельчатых калибров (*г*), калибров квадрат — ромб — квадрат (*д*), калибров круг — овал — круг (*е*).

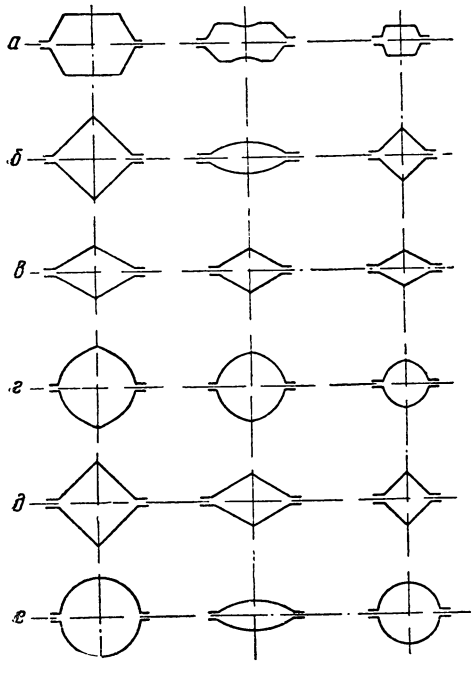


Рис. 28. Система калибровок

3. Метод расчета сечений системы калибров при постоянной величине частной вытяжки

При постоянной величине частной вытяжки μ_c длина профиля после прохода n определяется из формулы

$$L_n = L_0 \mu_c^n,$$

откуда

$$\frac{L_n}{L_0} = \frac{S_0}{S_n} = \mu_{\Sigma_n^0} = \mu_c^n.$$

Зависимость между суммарной вытяжкой $\mu_{\Sigma_n^0}$ и номером прохода n может быть представлена формулой

$$\lg \mu_{\Sigma_n^0} = n \lg \mu_c = nc.$$

Зная величину суммарной вытяжки до отделочного прохода, $\mu_{\Sigma_k^0}$ и общее число проходов k, можно определить среднюю величину вытяжки μ_c по формуле

$$\lg \mu_c = C = \frac{\lg \mu_{\Sigma_k^0}}{k} = \frac{\lg \dfrac{S_0}{S_k}}{k}.$$

Величина μ_c может быть определена также по номограмме (см. рис. 103 гл. III).

Зная величину $\mu_{\Sigma_k^0}$ и выбрав среднюю

величину частной вытяжки μ_c, можно определить число проходов k по формуле

$$k = \frac{\lg \mu_{\Sigma_k^0}}{\lg \mu_c} = \frac{\lg \frac{S_0}{S_k}}{\lg \mu_c}.$$

Число проходов k может быть определено также по номограмме (см. рис. 103, гл. III).

Если известно начальное сечение S_0, конечное сечение S_k и общее число проходов k, то промежуточное сечение профиля S_n после прохода n можно определить по формуле

$$\lg S_n = \lg S_0 - \frac{\lg \frac{S_0}{S_k}}{k} n.$$

Все промежуточные сечения S_n могут быть также определены непосредственно по номограмме (рис. 29).

ной вытяжкой $\mu_{\Sigma_n^0}$ и номером прохода n может быть представлена в виде следующей эмпирической формулы:

$$\lg \mu_{\Sigma_n^0} = \frac{n}{1 + \alpha n} c',$$

где α — коэффициент;

$$c' = \frac{\lg \frac{S_0}{S_k} (1 + \alpha k)}{k}$$ — коэффициент.

Если известно начальное сечение S_0, конечное сечение S_k и общее число проходов k, то сечение профиля S_n после прохода n определяют по формуле

$$\lg S_n = \lg S_0 - \frac{\lg \frac{S_0}{S_k} (1 + \alpha k)}{k} \cdot \frac{n}{1 + \alpha n}.$$

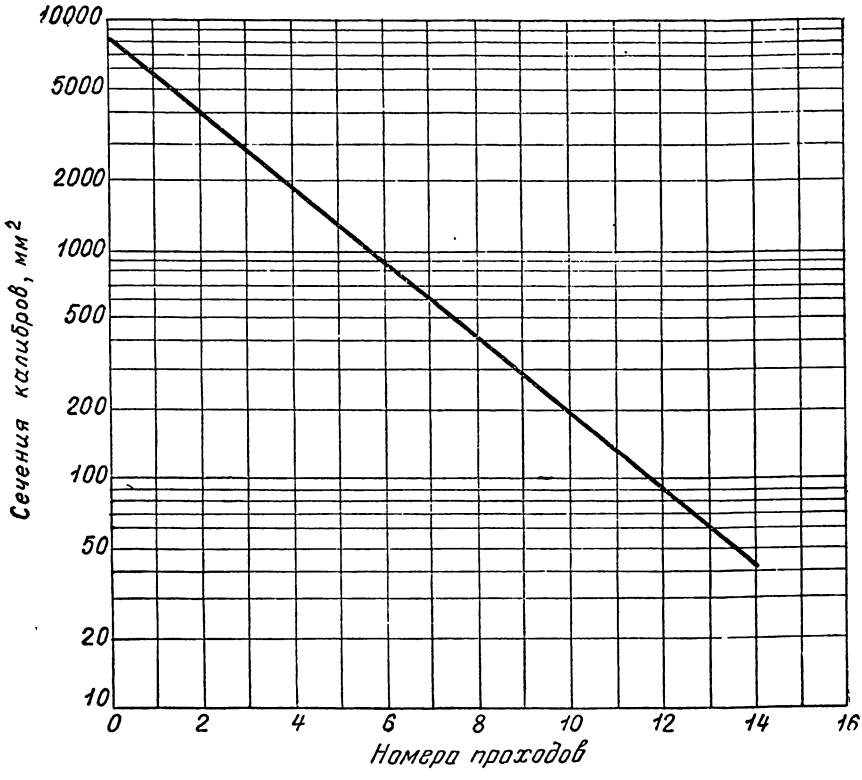


Рис. 29. Номограмма для определения сечения калибров при $\mu_{n-1} = \mu_n = \mu_{n+1}$

4. Метод расчета сечений системы калибров при непрерывном уменьшении величины частной вытяжки $\mu_{n-1} > \mu_n > \mu_{n+1}$

На практике величина вытяжки обычно непрерывно уменьшается к концу прокатки. В этом случае зависимость между суммар-

Промежуточные сечения S_n могут быть определены также по номограмме (рис. 30), если принять $\alpha = 0{,}03$.

Возможность осуществления прокатки при выбранном числе проходов должна быть проверена по величинам частных вытяжек за проход и углам захвата.

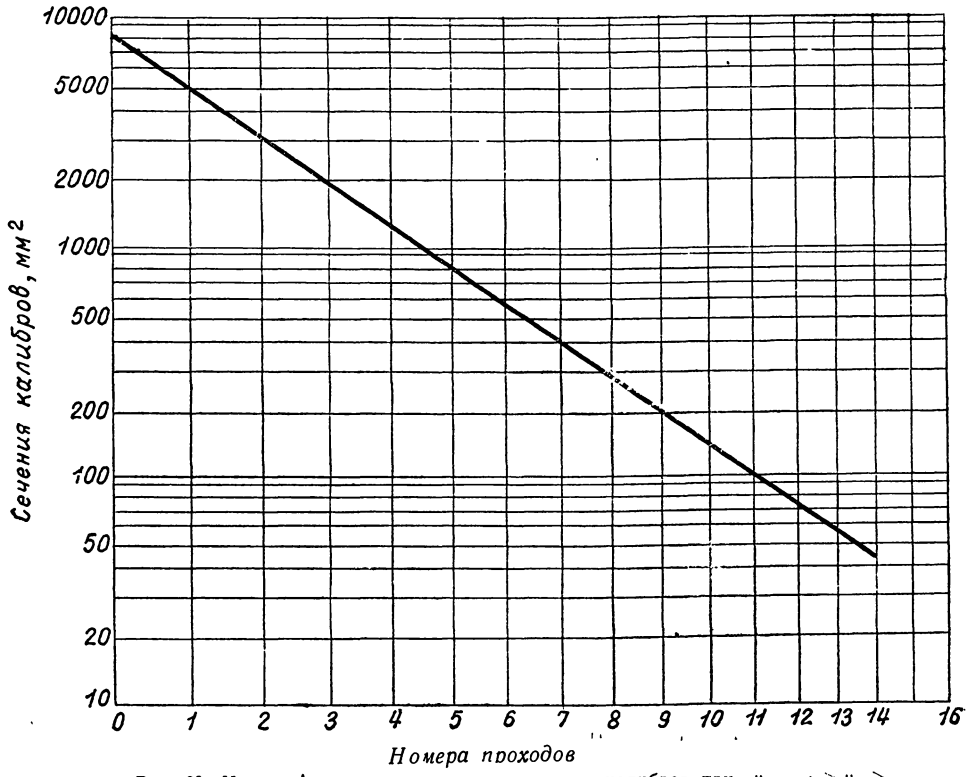


Рис. 30. Номограмма для определения сечения калибров при $\mu_{n-1} > \mu_n > \mu_n + 1$

5. Система прямоугольных калибров

Построение прямоугольных калибров

При построении прямоугольных калибров различают: прямоугольный калибр ящичного типа и прямоугольный калибр квадратной формы. Построение прямоугольного калибра ящичного типа по известным величинам его основных размеров представлено на рис. 31.

При построении принято, что углы при вершине прямоугольника и у зазора закругляются радиусами $r = 0{,}15\ H$.

Вырезы в верхней и нижней гранях калибра делают по радиусу

$$R = \frac{a_1^2 + (H - h_1)^2}{4(H - h_1)},$$

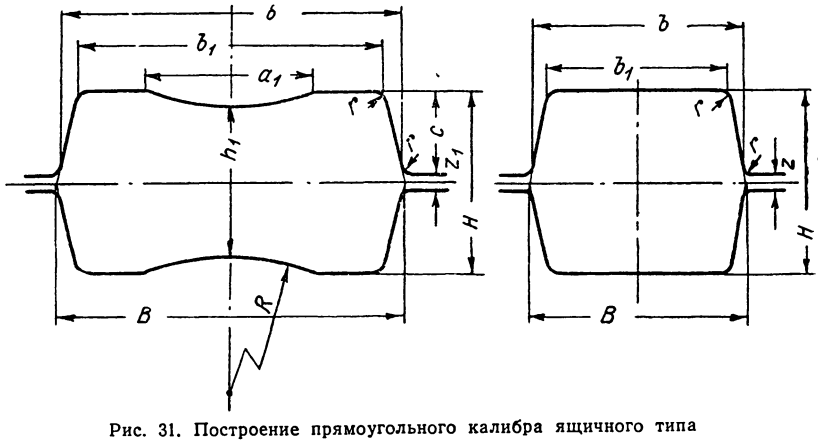


Рис. 31. Построение прямоугольного калибра ящичного типа

где $a_1 = 0{,}6\ b_1$; $h_1 = 0{,}9\ H$.

Построение прямоугольного калибра, близкого к квадрату, производится анало-

гично построению прямоугольного калибра ящичного типа за исключением вырезов в верхней и нижней гранях калибра, которые в этом случае не делают.

Расчет системы прямоугольных калибров

Высоту H_n в прямоугольном калибре определяют по принятой частной вытяжке μ_n.

$$H_n = \frac{H_{n-1}}{\mu_n}.$$

Допустимость принятой вытяжки проверяют по углу захвата:

$$\cos\alpha = 1 - \frac{\Delta h}{D_{раб}},$$

где Δh — абсолютное обжатие по высоте, *мм*;

$D_{раб}$ — рабочий диаметр валка, *мм*.

проверяют площадь сечения калибра S_n и действительную частную вытяжку μ_n в нем:

$$\mu_n = \frac{S_{n-1}}{S_n}.$$

6. Система калибров квадрат — овал — квадрат

Построение квадратных и овальных калибров

Построение квадратного калибра при известной стороне его A показано на рис. 32 Вертикальную диагональ H квадрата принимают равной 1,41 A. Горизонтальную диагональ B квадрата принимают равной 1,44 A. При указанных размерах диагоналей угол при вершине квадрата составит 91° Углы при вершине квадрата и у зазора закругляются радиусом r, равным 0,1 A.

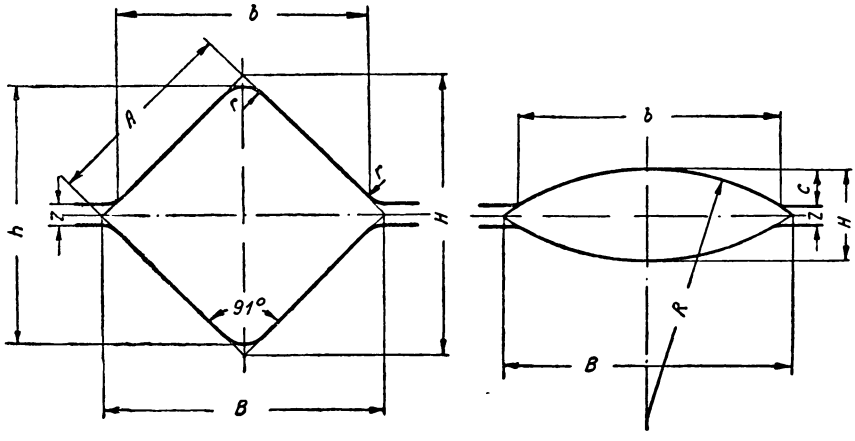


Рис. 32. Построение квадратных и овальных калибров

Предельный угол захвата составляет для меди 26—32°, для алюминия 24—25°, для прочих металлов и сплавов 22—24°.

Ширину калибра b_n' у дна ручья берут равной ширине поступающего в калибр профиля $b_n' = b_{n-1}$.

Ширина расточки калибра по бурту валка b_n равна ширине задаваемого в этот калибр профиля b_{n-1} плюс абсолютное уширение:

$$b_n = b_{n-1} + \Delta b.$$

Величина абсолютного уширения Δb может быть определена из величины абсолютного обжатия по высоте Δh

$$\Delta b = \beta' \Delta h.$$

Коэффициент абсолютного уширения β' для меди равен 0,36, для алюминия 0,40.

Величина b_n должна быть проверена по величине уклона стенок калибра; этот уклон не должен быть менее 0,05, иначе ширину необходимо будет увеличить.

После определения основных размеров

Фактическая высота калибра

$$h = 1{,}41A - 0{,}08A = 1{,}33A.$$

Фактическая ширина расточки ручья по бурту валка

$$b = 1{,}44A - z.$$

Построение овального калибра по его основным размерам представлено на рис. 32. Радиус дуг, образующих калибр, может быть подсчитан по формуле:

$$R = \frac{b^2 + 4c^2}{8c} = c\frac{m^2 + 4}{8},$$

где m — отношение ширины расточки ручья к его глубине, $m = \frac{b}{c}$.

Сечение овального профиля может быть рассчитано как сумма площадей двух сегментов и прямоугольника, соответствующего зазору между валками, т. е.

$$S = 2S' + bz.$$

Глубину овального ручья или стрелку сегмента вычисляют по формуле

$$c = \frac{H - z}{2}.$$

Площадь сегмента может быть определена по приближенной формуле

$$S' = 0{,}667bc + 0{,}472\frac{c^3}{b},$$

откуда

$$\frac{S'}{bc} = 0{,}667 + \frac{0{,}472}{m^2}.$$

Таблица 3

Площадь и радиус дуги сегмента овального калибра

$\frac{b}{c}$	$\frac{S'}{bc}$	$\frac{R}{c}$	$\frac{b}{c}$	$\frac{S'}{bc}$	$\frac{R}{c}$	$\frac{b}{c}$	$\frac{S'}{bc}$	$\frac{R}{c}$
2,0	0,785	1,000	7,0	0,677	6,625	12,0	0,670	18,500
2,1	0,775	1,051	7,1	0,676	6,801	12,1	0,670	18,801
2,2	0,766	1,105	7,2	0,676	6,980	12,2	0,670	19,105
2,3	0,759	1,162	7,3	0,676	7,111	12,3	0,670	19,411
2,4	0,752	1,220	7,4	0,676	7,345	12,4	0,670	19,720
2,5	0,746	1,281	7,5	0,675	7,531	12,5	0,670	20,031
2,6	0,740	1,345	7,6	0,675	7,720	12,6	0,670	20,345
2,7	0,735	1,411	7,7	0,675	7,911	12,7	0,670	20,661
2,8	0,731	1,480	7,8	0,675	8,105	12,8	0,670	20,980
2,9	0,726	1,551	7,9	0,675	8,301	12,9	0,670	21,301
3,0	0,723	1,625	8,0	0,674	8,500	13,0	0,670	21,625
3,1	0,719	1,701	8,1	0,674	8,701	13,1	0,669	21,951
3,2	0,716	1,780	8,2	0,674	8,905	13,2	0,669	22,280
3,3	0,713	1,861	8,3	0,674	9,111	13,3	0,669	22,611
3,4	0,711	1,945	8,4	0,674	9,320	13,4	0,669	22,945
3,5	0,709	2,030	8,5	0,674	9,530	13,5	0,669	23,281
3,6	0,706	2,120	8,6	0,673	9,745	13,6	0,669	23,620
3,7	0,704	2,211	8,7	0,673	9,961	13,7	0,669	23,961
3,8	0,702	2,305	8,8	0,673	10,180	13,8	0,669	24,305
3,9	0,701	2,401	8,9	0,673	10,401	13,9	0,669	24,651
4,0	0,699	2,500	9,0	0,673	10,625	14,0	0,669	25,000
4,1	0,697	2,601	9,1	0,673	10,851	14,1	0,669	25,351
4,2	0,696	2,705	9,2	0,672	11,080	14,2	0,669	25,705
4,3	0,694	2,810	9,3	0,672	11,311	14,3	0,669	26,061
4,4	0,693	2,920	9,4	0,672	11,545	14,4	0,669	26,420
4,5	0,692	3,031	9,5	0,672	11,781	14,5	0,669	26,781
4,6	0,691	3,145	9,6	0,672	12,020	14,6	0,669	27,145
4,7	0,690	3,261	9,7	0,672	12,261	14,7	0,669	27,511
4,8	0,689	3,380	9,8	0,672	12,505	14,8	0,669	27,880
4,9	0,688	3,500	9,9	0,672	12,751	14,9	0,669	28,251
5,0	0,687	3,625	10,0	0,672	13,000	15,0	0,669	28,625
5,1	0,687	3,751	10,1	0,671	13,251	15,1	0,669	29,001
5,2	0,686	3,880	10,2	0,671	13,505	15,2	0,669	29,390
5,3	0,685	4,011	10,3	0,671	13,761	15,3	0,669	29,761
5,4	0,684	4,145	10,4	0,671	14,020	15,4	0,669	30,145
5,5	0,684	4,281	10,5	0,671	14,281	15,5	0,669	30,531
5,6	0,683	4,420	10,6	0,671	14,545	15,6	0,669	30,920
5,7	0,683	4,561	10,7	0,671	14,811	15,7	0,669	31,311
5,8	0,682	4,705	10,8	0,671	15,080	15,8	0,669	31,705
5,9	0,682	4,851	10,9	0,671	15,351	15,9	0,669	32,101
6,0	0,681	5,000	11,0	0,671	15,625	16,0	0,669	32,500
6,1	0,681	5,151	11,1	0,671	15,901	16,1	0,669	32,901
6,2	0,680	5,305	11,2	0,671	16,180	16,2	0,669	33,305
6,3	0,680	5,561	11,3	0,670	16,461	16,3	0,668	33,711
6,4	0,680	5,620	11,4	0,670	16,745	16,4	0,668	34,120
6,5	0,679	5,780	11,5	0,670	16,831	16,5	0,668	34,531
6,6	0,679	5,945	11,6	0,670	17,320	16,6	0,668	34,945
6,7	0,679	6,111	11,7	0,670	17,611	16,7	0,668	35,361
6,8	0,678	6,280	11,8	0,670	17,905	16,8	0,668	35,780
6,9	0,678	6,451	11,9	0,670	18,201	16,9	0,668	36,201

Значения величин $\frac{S'}{bc}$ и $\frac{R}{c}$ в зависимости от отношения $\frac{b}{c}$ находят также по табл. 3.

На рис. 36 приведена диаграмма вытяжек при прокатке овального профиля в квадратном калибре.

На рис. 37 приведена проекция поверхности соприкосновения металла с валком при прокатке овального профиля в квадратном калибре.

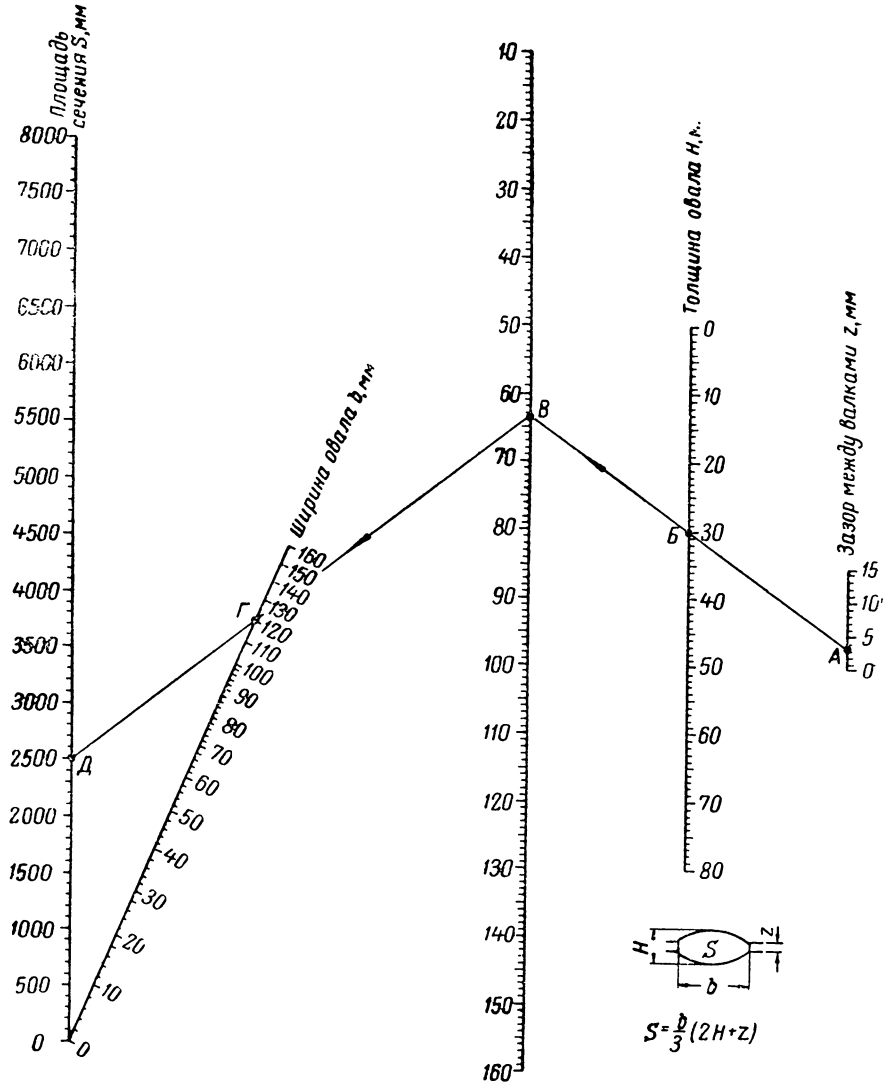


Рис 33. Номограмма для определения площадей овалов

Площадь сечения овального калибра может быть определена и по номограмме рис. 33.

На рис. 34 приведена диаграмма вытяжек при прокатке квадратного профиля в овальном калибре.

На рис. 35 приведена проекция поверхности соприкосновения металла с валком при прокатке квадратного профиля в овальном калибре.

Расчет системы калибров квадрат — овал —квадрат

Сначала определяют размеры предотделочного квадрата A_{k-2}, после чего определяют размеры всех квадратов, представляющих собой опорные пункты системы калибровки и настройки на заданный конечный размер.

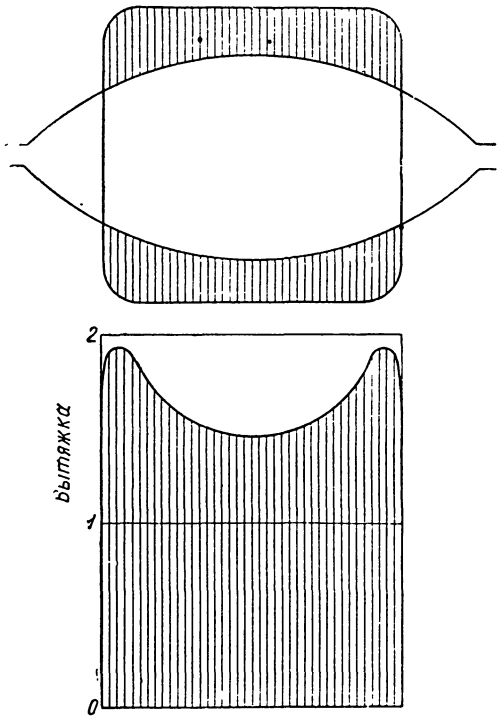


Рис. 34. Диаграмма вытяжки при прокатке квадрата в овальном калибре

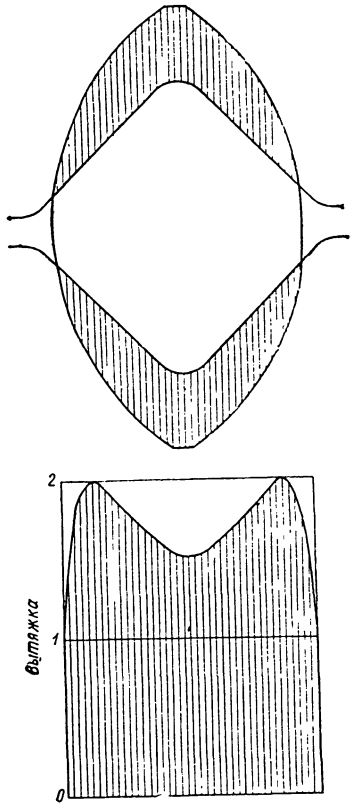


Рис. 36. Диаграмма вытяжки при прокатке овала в квадратном калибре

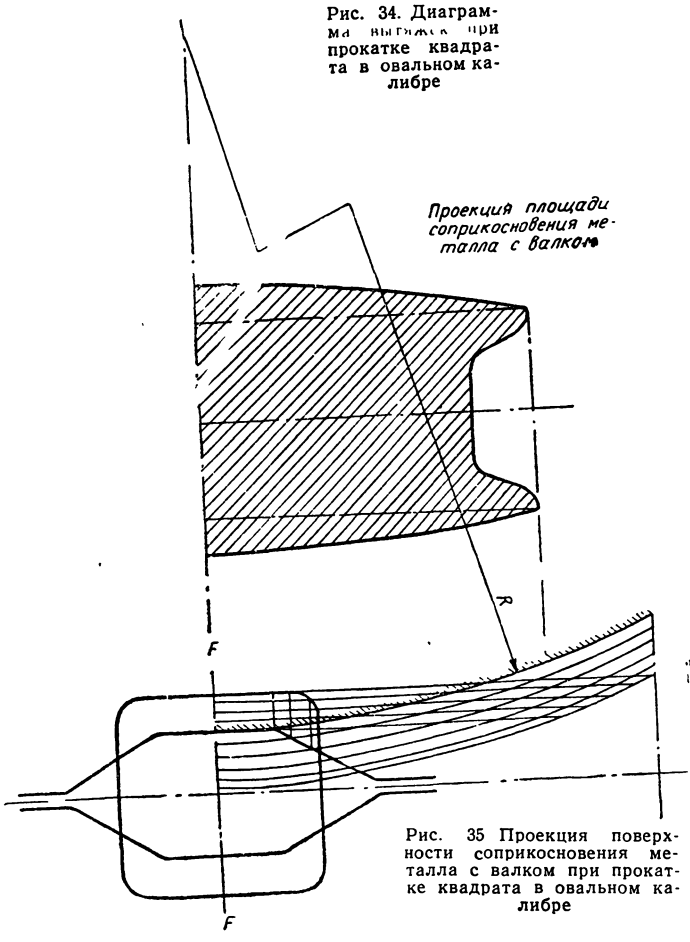


Рис. 35 Проекция поверхности соприкосновения металла с валком при прокатке квадрата в овальном калибре

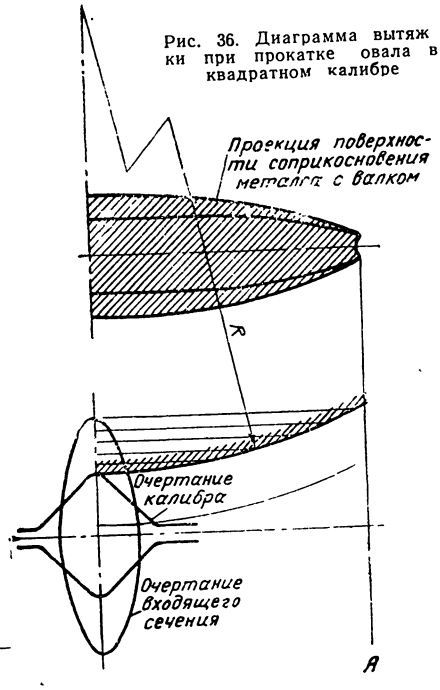


Рис. 37. Проекция поверхности соприкосновения металла с валком при прокатке овала в квадратном калибре

Сторона n-ого вытяжного квадрата равняется

$$A_n = \sqrt{S_n} = \frac{\sqrt{S_0}}{\sqrt{\frac{S_0}{S_n}}} = \frac{\sqrt{S_0}}{\sqrt{\mu_{\Sigma_n^0}}} =$$

$$= \frac{\sqrt{S_0}}{\sqrt{\lambda_{\Sigma_n^0} + 1}} = \frac{\sqrt{S_0}}{\sqrt{\frac{S_0 - S_{k-2}}{S_{k-2}(k-2)^{2,4}} n^{2,4} + 1}},$$

где S_0 — начальное сечение слитка или заготовки;

S_n — сечение n-ого вытяжного калибра;

$\mu_{\Sigma_n^0}$ — суммарная вытяжка от исходного сечения S_0 до сечения n-ого калибра включительно;

Размеры промежуточных вытяжных овальных калибров, играющих роль компенсаторов между двумя соседними вытяжными квадратами, определяются по следующим эмпирическим формулам.

Толщина n-го вытяжного овального калибра, промежуточного между квадратными калибрами $n-1$ и $n+1$, определяется по формуле

$$h_n = 1{,}41\, A_{n+1} - \sqrt{14\sqrt{\frac{A_{n+1}}{A_{n-1}}}(A_{n-1} - A_{n+1}) + z_{n+1}^2}\left(1 + \frac{7}{\sqrt{A_{n-1} A_{n+1}}}\right),$$

$\lambda_{\Sigma_n^0}$ — суммарное удлинение от исходной длины L_0 до длины после n-ого калибра L_n;

S_{k-2} — сечение предотделочного квадрата, *мм*^{2};

$k-2$ — число вытяжных проходов, равное общему числу проходов за вычетом двух (предотделочного овала и отделочного круга);

n — номер прохода; значения величины $n^{2,4}$ приведены в табл. 4.

Значения величины $n^{2,4}$ Таблица 4

n	lg n	2,4 lg n	$n^{2,4}$
0	0,00000	0,00000	0,00
2	0,30103	0,72247	5,28
4	0,60206	1,44494	27,86
6	0,77815	1,86756	73,72
8	0,90309	2,16742	147,03
10	1,00000	2,40000	251,19
12	1,07918	2,59003	389,07
14	1,14613	2,75071	563,26
16	1,20412	2,88989	776,05
18	1,25527	3,01265	1029,55
20	1,30103	3,12247	1325,80
22	1,34242	3,22181	1666,50
24	1,38021	3,31250	2053,50
26	1,41497	3,39593	2488,47
28	1,44716	3,47318	2973,93

где A_{n-1} — сторона предыдущего квадрата, *мм*;

A_{n+1} — сторона последующего квадрата, *мм*;

Z_{n+1} — величина зазора между валками у последующего квадрата, *мм*.

Ширина расточки вытяжного овального калибра по бочке валка

$$b_n = A_{n-1} + \left(\frac{10}{A_{n-1}} + 1\right) \cdot (A_{n-1} - h_n).$$

Номограмма для определения ширины овальных калибров приведена на рис 38.

Размеры предотделочных овальных калибров, являющихся промежуточными между квадратным и круглым калибрами (но не между двумя вытяжными квадратами), определяются не по вышеприведенным формулам, а по номограмме (см. рис. 56).

Примерный расчет основных размеров калибров

Дан исходный слиток (медный вайербарс) с сечением, равновеликим сечению квадрата со стороной 92 *мм*. Размер отделочного круглого калибра 7,2 *мм*. Число проходов $k = 14$.

Определяем:

1. Размер стороны предотделочного квадрата, который принимается равным 7,2 *мм*,

исходя из целесообразности получения петель минимальной длины.

2. Размеры промежуточных вытяжных квадратных калибров для получения квадратного сечения со стороной 7,2 *мм* в 12 проходов, принимая условно, что калибровка выполнена точно по системе квадрат — овал — квадрат (табл. 5).

3. Толщину вытяжных овальных калибров (табл. 6).

4. Ширину вытяжных овальных калибров (табл. 7).

5. Величину сечений и вытяжек, принимая, что сечения овальных калибров при нормальном процессе прокатки заполняются на 99—90% (табл. 8).

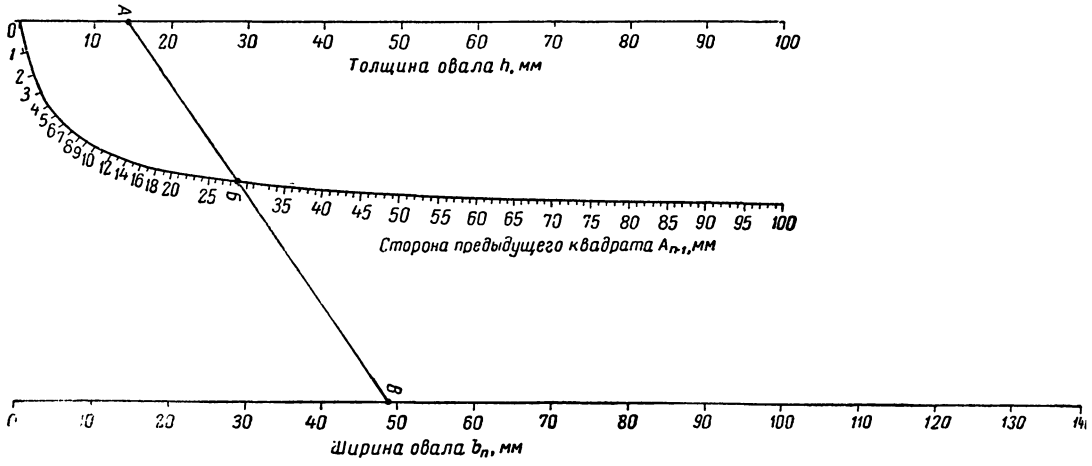


Рис. 38 Номограмма для определения ширины овального калибра по его толщине и по стороне предыдущего квадрата: $h_n = 14.0$ *мм*, $A_{n-1} = 29{,}0$; $b_n = 49$ *мм*

Таблица 5

Примерный расчет размеров квадратных калибров для прокатки в 12 проходов предотделочного квадрата 7,2 *мм*

Формулы	№ прохода n						
	0	2	4	6	8	10	12
$n^{2,4}$	0,00	5,28	27,86	73,72	147,03	251,19	389,07
$\lambda_{\Sigma_n^0} = \frac{S_n - S_{12}}{S_{12} \cdot 12^{2,4}} n^{2,4} = 0{,}4171 n^{2,4}$	0,00	2,20	11,62	30,75	61,32	104,77	162,27
$\mu_{\Sigma_n^0} = \lambda_{\Sigma_n^0} + 1{,}00$	1,00	3,20	12,62	31,75	62,32	105,77	163,27
Сторона квадрата A_n, *мм*	92,0	51,4	25,9	16,3	11,6	8,7	7,2
Сечение $S_n = A_n^2$, *мм*^{2}	8464,0	2642,4	670,8	265,7	134,6	75,7	51,8
Вытяжка от квадрата квадрату $\mu_{\Sigma_n^{n-2}}$	—	3,21	3,93	2,52	1,97	1,78	1,46

6. Сводные результаты расчета (табл. 9) с внесением следующих исправлений по сравнению с условным расчетом:

а) нулевая исходная квадратная заготовка заменена трапецеидальной;

б) первый овальный калибр заменен прямоугольным;

в) второй квадратный калибр заменен прямоугольным, близким к квадрату;

г) третий овальный калибр заменен шестигранным овалом;

д) тринадцатый овальный калибр принят по нормальным размерам для предотделочных овалов;

е) четырнадцатый круглый калибр принят по нормальным размерам для отделочных круглых калибров.

Рассчитанная калибровка приведена на рис. 39.

Таблица 6

Примерный расчет толщины h_n вытяжных овальных калибров, *мм*

Формулы	№ прохода n					
	1	3	5	7	9	11
A_{n-1}	92,0	51,4	25,9	16,3	11,6	8,7
A_{n+1}	51,4	25,9	16,3	11,6	8,7	7,2
z_{n+1}	6	6	3	3	2	2
$\frac{A_{n+1}}{A_{n-1}}$	0,559	0,504	0,629	0,712	0,750	0,828
$\sqrt{\frac{A_{n+1}}{A_{n-1}}}$	0,747	0,710	0,793	0,844	0,866	0,909
$N = 14\sqrt{\frac{A_{n+1}}{A_{n-1}}}$	10,47	9,93	11,10	11,82	12,12	12,70
$A_{n-1} - A_{n+1}$	40,6	25,5	9,6	4,7	2,9	1,5
$P = N(A_{n-1} - A_{n+1})$	425,08	253,22	106,56	55,55	35,15	19,05
z_{n+1}^2	36	36	9	9	4	4
$A_{n-1}\ A_{n+1}$	4728,8	1331,3	422,2	189,1	100,9	62,6
$\sqrt{A_{n-1}\ A_{n+1}}$	68,70	36,45	20,55	13,73	10,04	7,91

Продолжение табл. 6

Формула		№ прохода n					
		1	3	5	7	9	11
$\frac{7}{\sqrt{A_{n-1}\ A_{n+1}}}$		0,102	0,192	0,341	0,510	0,697	0,885
$M = 1 + \frac{7}{\sqrt{A_{n-1}\ A_{n+1}}}$		1,102	1,192	1,341	1,510	1,697	1,885
$Q = z_{n+1}^2\ M$		39,65	42,95	12,07	13,59	6,79	7,54
$P + Q$		464,73	296,17	118,63	69,14	41,94	26,59
$\sqrt{P+Q}$		21,55	17,22	10,90	8,32	6,47	5,16
$1{,}41A_{n-1}$		72,45	36,50	23,00	16,34	12,27	10,14
$h_n = 1{,}41\ A_{n+1} - \sqrt{P+Q}$	расчетная	50,90	19,28	12,10	8,02	5,80	4,98
	принятая	51,0	19,0	12,0	8,0	5,8	5,0

Таблица 7

Примерный расчет ширины b_n овальных калибров, *мм*

Формула		№ прохода n					
		1	3	5	7	9	11
A_{n-1}		92,00	51,40	25,90	16,30	11,60	8,70
$\frac{10}{A_{n-1}}$		0,109	0,195	0,386	0,614	0,862	1,150
$\frac{10}{A_{n-1}} + 1$		1,109	1 195	1,386	1,614	1,862	2,150
h_n		51,00	19,00	12,00	8,00	5,80	5,00
$A_{n-1} - h_n$		41,00	32,40	13,90	8,30	5,80	3,70
$B = \left(\frac{10}{A_{n-1}} + 1\right)\left(A_{n-1} - h_n\right)$		45,40	38,70	19,25	13,40	10,80	7,95
$b_n = A_{n-1} + B$:	расчетная	137,40	90,10	45,15	29,70	22,40	16,65
	принятая	138,00	90,00	45,00	30,00	23,00	17,00

Таблица 8

Примерный расчет сечений и вытяжек при прокатке катанки диам. 7,2 *мм* (условная система квадрат—овал—квадрат)

Формула	№ прохода n														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Форма калибра	Квадрат	Овал	Квадрат	Овал	Квадрат	Овал	Квадрат	Овал	Квадрат	Овал	Квадрат	Овал	Квадрат	Предотделочный овал	Отделочный круг
A_n, *мм*	92,0	—	51,4	—	25,9	—	16,3	—	11,6	—	8,7	—	7,2	—	7,2
b_n, *мм*	—	138,0	—	90,0	—	45,0	—	30,0	—	23,0	—	17,0	—	11,0	—
z_n, *мм*	—	6	6	6	6	4	3	3	3	2	2	2	2	2	2
$b_n z_n$	—	828,0	—	540,0	—	180,0	—	90,0	—	46,0	—	34,0	—	22,0	—
h_n, *мм*	—	51,0	—	19,0	—	12,0	—	8,0	—	5,8	—	5,0	—	5,5	—
$c_n = \frac{h_n - z_n}{2}$	—	22,50	—	6,50	—	4,00	—	2,50	—	1,90	—	1,50	—	1,75	—
$\frac{b_n}{c_n}$	—	6,13	—	13,83	—	11,25	—	12,00	—	12,11	—	11,32	—	6,28	—
$m_2 = \frac{S'}{b_n \cdot c_n}$ (по табл. 3)	—	0,681	—	0,669	—	0,670	—	0,670	—	0,670	—	0,670	—	0,680	—
$b_n c_n$	—	3105,0	—	585,0	—	180,0	—	75,0	—	43,7	—	25,5	—	19,3	—
$m_2 b_n c_n$	—	2115,0	—	391,0	—	120,6	—	50,2	—	29,3	—	17,1	—	13,1	—
$2m_2 b_n c_n$	—	4230,0	—	782,0	—	241,2	—	100,4	—	58,6	—	34,2	—	26,2	—
S''_n *мм*$^2 = 2m_2 b_n c_n + b_n z_n$	8464,0	5058,0	2642,0	1322,0	670,8	421,2	265,7	190,4	134,6	104,6	75,7	68,2	51,8	48,2	40,7
Коэффициент заполнения	1,00	0,99	1,00	0,99	1,00	0,95	1,00	0,97	1,00	0,95	1,00	0,90	1,00	0,93	1,00
S_n, *мм*^{2}	8464,0	5007,4	2642,0	1309,0	670,8	400,1	265,7	184,5	134,6	99,7	75,7	61,3	51,8	44,8	40,7
μ_n	—	1,69	1,90	2,02	1,95	1,68	1,51	1,44	1,37	1,35	1,32	1,24	1,18	1,15	1,10
δ_n, %	—	40,8	47,3	50,5	48,6	40,4	33,7	30,4	27,1	25,9	24,0	19,0	15,5	13,5	9,1

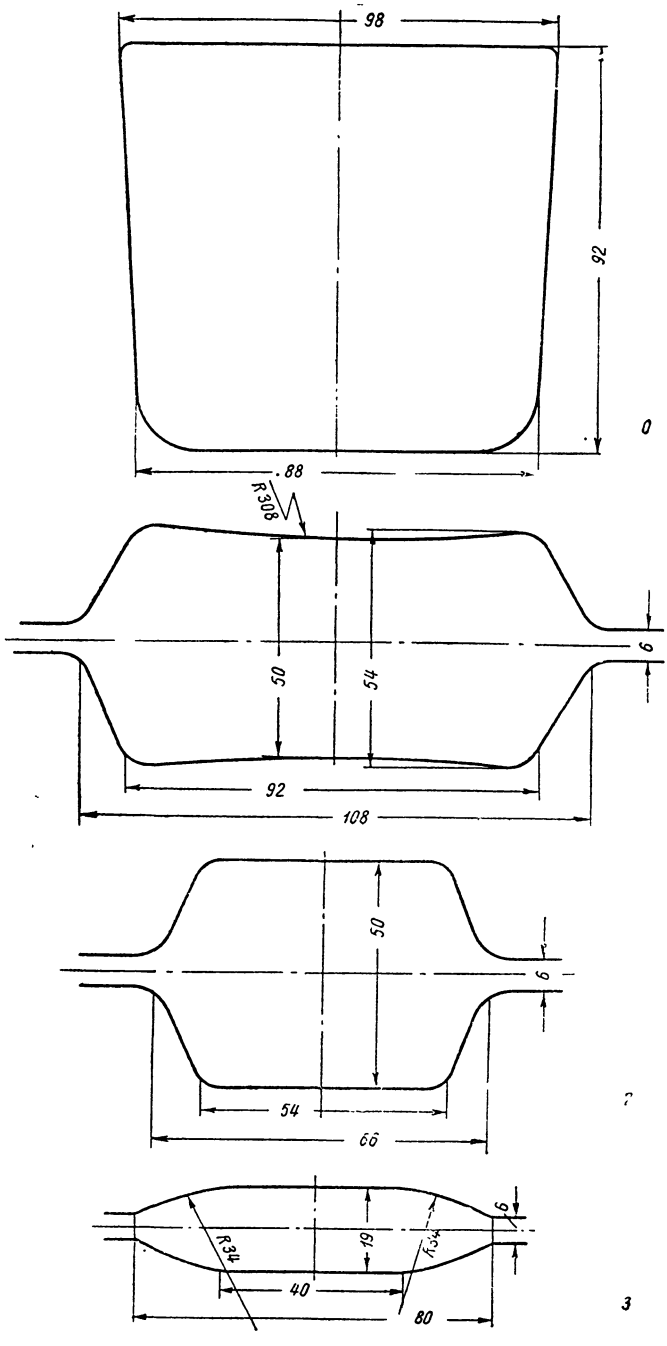
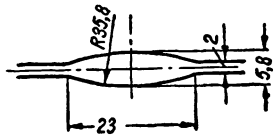
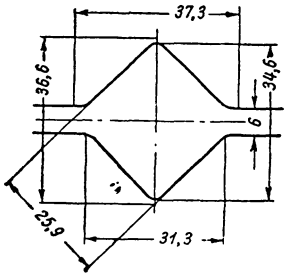


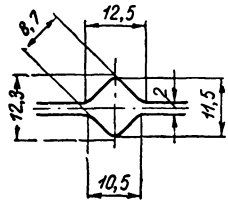
Рис. 39. Калибровка валков для прокатки медной катанки диаметром 7,2 *мм* в 14 проходов



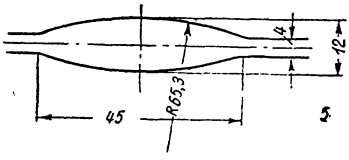
9



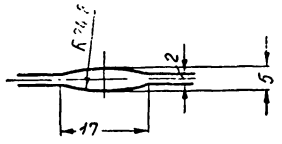
4



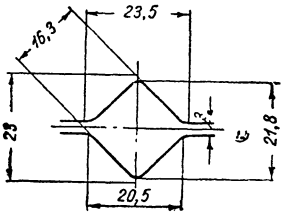
10



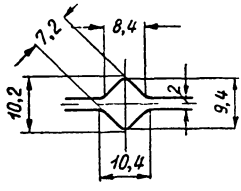
5



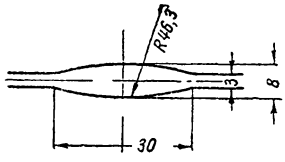
11



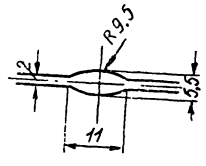
6



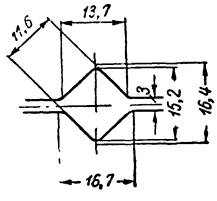
12



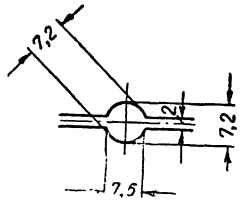
7



13



8



14

Таблица 9

Примерная сводная таблица калибровки для катанки диам. 7,2 *мм*

Формула	№ прохода n														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Форма калибра	Трапеция	Прямоугольник	Прямоугольник	Шестигранный овал	Квадрат	Овал	Квадрат	Овал	Квадрат	Овал	Квадрат	Овал	Квадрат	Овал	Круг
Номинальные размеры калибра, *мм*	92×88/98	50/54× ×92/108	50×54/66	19×40/80	25,9	12×45	16,3	8×30	11,6	5,8× ×23	8,7	5,0× ×17	7,2	5,5× ×11	7,2
Сечение полосы, *мм*^{2}	8464,0	5007,4	2642,0	1309,0	670,8	400,1	265,7	184,5	134,6	99,7	75,7	61,3	51,8	44,8	40,7
Размеры квадратных калибров:															
A_n	—	—	—	—	25,9	—	16,3	—	11,6	—	8,7	—	7,2	—	—
$H_n = 1{,}41\ A_n$	—	—	—	—	36,6	—	23,0	—	16,4	—	12,3	—	10,2	—	—
$B_n = 1{,}44\ A_n$	—	—	—	—	37,3	—	23,5	—	16,7	—	12,5	—	10,4	—	—
$r_n = 0{,}1\ A_n$	—	—	—	—	2,5	—	1,5	—	1,5	—	1,0	—	1,0	—	—
$h_n = H_n - 0{,}8\ r_n$	—	—	—	—	34,6	—	21,8	—	15,2	—	11,5	—	9,4	—	—
z_n	—	—	—	—	6	—	3	—	3	—	2	—	2	—	—
$b_n = B_n - z_n$	—	—	—	—	31,3	—	20,5	—	13,7	—	10,5	—	8,4	—	—
$c_n = \frac{h_n - z_n}{2}$	—	—	—	—	14,30	—	9,40	—	6,10	—	4,75	—	3,70	—	—
Размеры прямоугольных, овальных и круглых калибров:															
b_n	88/98	92/108	54/66	40/80	—	45,0	—	30,0	—	23,0	—	17,0	—	11,0	7,5
h_n	92,0	50/54	50,0	19,0	—	12,0	—	8,0	—	5,8	—	5,0	—	5,5	7,2
z_n	—	6	6	6	—	4	—	3	—	2	—	2	—	2	2
$c_h = \frac{h_n - z_n}{2}$	—	22/24	22,00	6,50	—	4,00	—	2,50	—	1,90	—	1,50	—	1,75	2,60
$R_n = \frac{b_n^2 + 4c_n^2}{8c_n}$	—	—	—	34,0	—	65,3	—	46,3	—	35,8	—	24,8	—	9,5	4,0

7. Система ромбических калибров

Построение ромбических калибров

На рис. 40 показано построение ромбического калибра по известной величине стороны C и углу при вершине α.

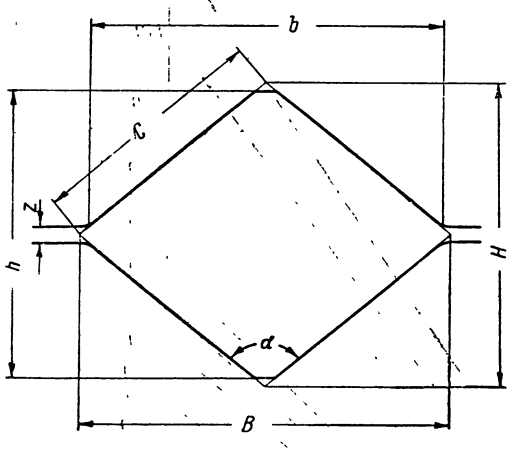


Рис. 40. Построение ромбических калибров

Теоретическая вертикальная диагональ ромбического калибра $H = 2C\cos\frac{\alpha}{2}$.

Теоретическая горизонтальная диагональ ромбического калибра

$$B = 2C\sin\frac{\alpha}{2}.$$

Теоретическая площадь сечения ромбического калибра

$$S = \frac{BH}{2} =$$

$$= 2C^2\sin\frac{\alpha}{2}\cos\frac{\alpha}{2} = C^2\sin\alpha.$$

Притупление угла у вершины ромбического калибра достигается тем, что величину h принимают равной 0,95 H.

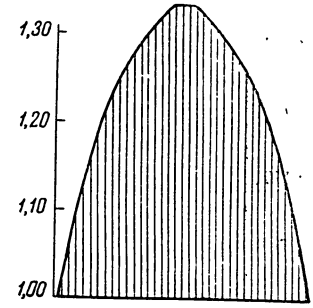
Диаграмма вытяжек при прокатке ромбического профиля в ромбическом калибре показана на рис. 41.

Проекция поверхности соприкосновения металла с валком при прокатке ромбического профиля в ромбическом калибре показана на рис. 25.

Расчет системы ромбических калибров

Сечения ромбических калибров при постоянной величине вытяжки могут быть определены по номограмме рис. 29, а при непрерывно уменьшающейся величине вытяжки — по номограмме рис. 30.

Определив сечения системы ромбических калибров и задавшись углом при их вершине, можно по номограммам рис. 42 и 43 определить стороны ромбических калибров C, для сторон размером от 120 до 60 *мм* рекомендуется пользоваться номограммой, приведенной на рис. 42; а для сторон от



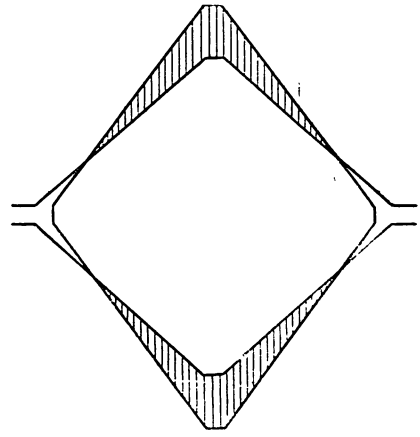


Рис 41 Диаграмма вытяжек при прокатке ромбического профиля в ромбическом калибре

60 до 30 *мм* — номограммой, приведенной на рис. 43.

В практике прокатки цветных металлов и сплавов размеры сторон больше 120 *мм* и меньше 30 *мм* обычно не встречаются.

По этим же номограммам можно определить сторону ромбического калибра, зная сечение входящего в этот калибр ромбического профиля, величину обжатия в калибре и угол у его вершины.

Пример. Дано $S_п = 6000$ *мм*^{2}; $\mu_п = 1{,}40$; $\alpha = 110°$.

Получаем: $C = 69$ *мм*.

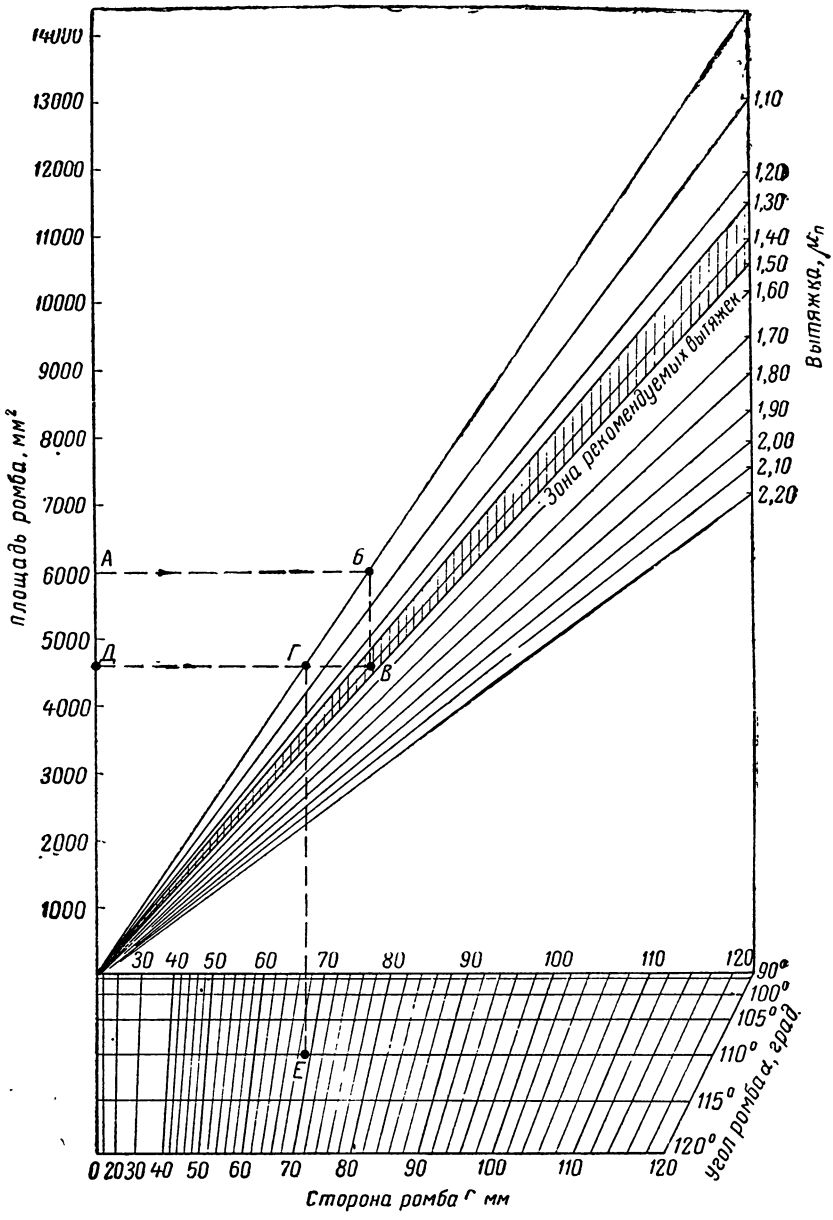


Рис. 42 Номограмма для определения стороны ромбических калибров

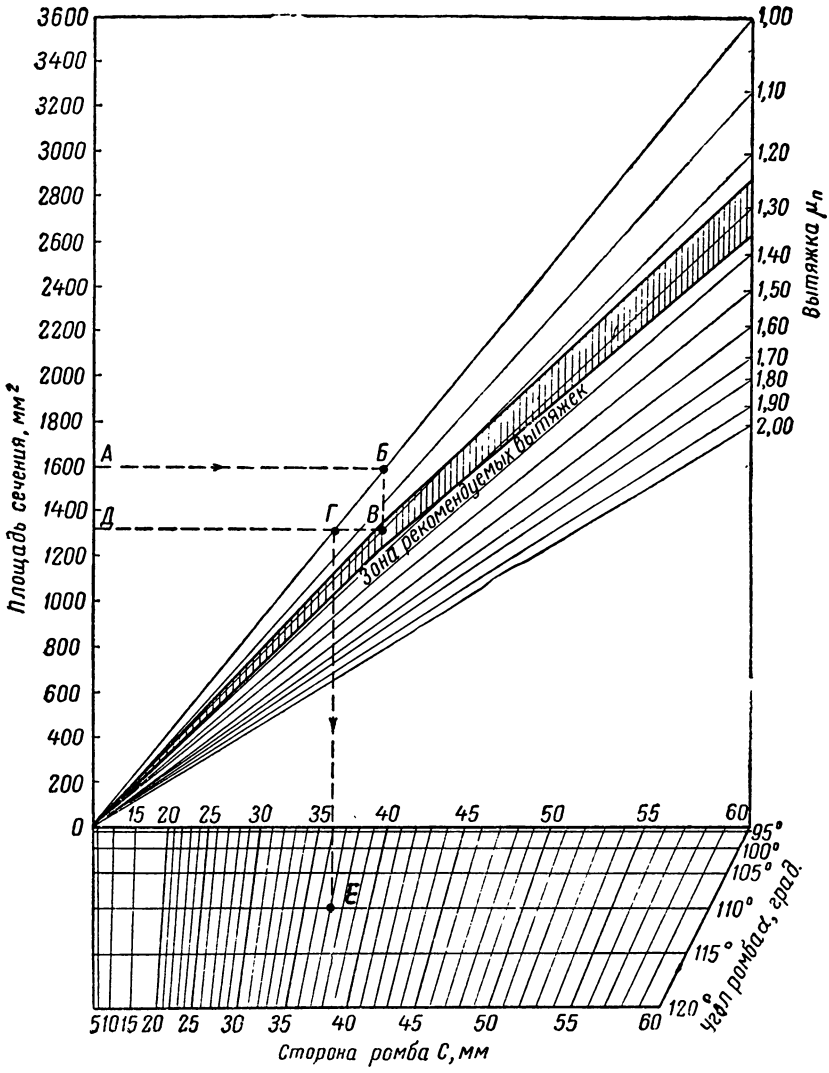


Рис. 43. Номограмма для определения стороны ромбических калибров

8. Система стрельчатых калибров

Построение стрельчатых калибров

На рис. 44 показано построение стрельчатого калибра по известной величине стороны C и отношению

$$m = \frac{B}{H},$$

где C — сторона стрельчатого калибра *мм*, равная расстоянию между серединами двух противолежащих дуг;
H — теоретическая вертикальная диагональ, *мм*;
B — теоретическая горизонтальная диагональ, *мм*.

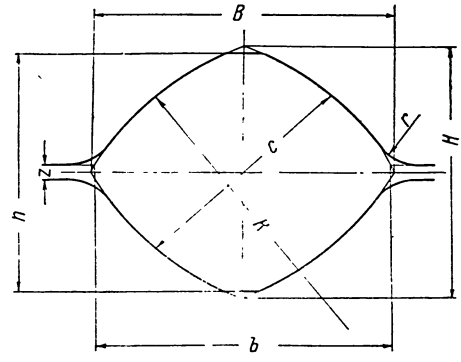


Рис 44. Построение стрельчатого калибра

$$\frac{C}{H} = 2m\sqrt{\left(2+\frac{1}{\sqrt{1+m^2}}\right)\cdot\left(1-\frac{\sqrt{15m^2-1}}{4m}\right)}$$

Радиус дуги стрельчатого калибра $R = B$.

Притупление угла при вершине стрельчатого калибра достигается тем, что величину h принимают равной 0,95 H.

Радиус закругления углов стрельчатого калибра у зазора принимают равным $r = 0{,}2\,C$.

Площадь поперечного сечения калибра определяют из формулы

$$\frac{S}{C^2} = \frac{\frac{1}{8}+\arcsin\frac{\sqrt{1+m^2}}{4m}-\frac{\sqrt{1+m^2}}{4m}\cdot\frac{\sqrt{15m^2-1}}{4m}}{\left(2+\frac{1}{\sqrt{1+m^2}}\right)\cdot\left(1-\frac{\sqrt{15m^2-1}}{4m}\right)}$$

Площадь поперечного сечения калибра может быть также определена с помощью табл. 10 или номограмм рис. 45 и 46. Для диапазона $m = 1{,}05 \div 1{,}40$, наиболее часто применяемого на практике, с достаточной точностью (ошибка ± 1%) площадь сечения может быть принята равной $0{,}88\,C^2$

Откуда

$$C = \sqrt{\frac{S}{0{,}88}} = 1{,}066\sqrt{S}$$

Диаграмма вытяжек при прокатке стрельчатого профиля в стрельчатом калибре показана на рис. 47.

Проекция поверхности соприкосновения металла с валком при прокатке стрельчатого профиля в стрельчатом калибре показана на рис. 48.

Расчет системы стрельчатых калибров

Определение сечений системы стрельчатых калибров может быть произведено по номограмме рис. 29. Сечения их до 14 000 *мм*² могут быть также определены по номограмме рис. 45, сечения до 3500 *мм*² — по номограмме рис. 46.

После установления сечений калибров S_n определяют величины сторон стрельчатых калибров C_n. С этой целью необходимо задаться отношением $\frac{B_n}{H_n} = m$. При прокатке цветных металлов это отношение в зависимости от стороны C_n принимают равным

для C_n до 40 *мм*

$$\frac{B_n}{H_n} = \frac{7}{6} = 1{,}17;$$

для C_n от 40 до 100 *мм*

$$\frac{B_n}{H_n} = \frac{8}{7} = 1{,}14.$$

для C_n от 100 до 200 *мм*

$$\frac{B_n}{H_n} = \frac{9}{8} = 1{,}13$$

Таблица 10

Таблица для вычисления размеров и площади сечения стрельчатых калибров

$m=\frac{B}{H}$	$\frac{C}{H}$	$\frac{S}{C^2}$	$m=\frac{B}{H}$	$\frac{C}{H}$	$\frac{S}{C^2}$
1,00	0,844	0,879	1,26	0,930	0,892
1,01	0,846	0,880	1,27	0,934	0,889
1,02	0,848	0,882	1,28	0,937	0,892
1,03	0,850	0,885	1,29	0,942	0,888
1,04	0,852	0,888	1,30	0,946	0,889
1,05	0,856	0,891	1,31	0,948	0,889
1,06	0,857	0,895	1,32	0,952	0,889
1,07	0,858	0,898	1,33	0,956	0,889
1,08	0,862	0,900	1,34	0,960	0,888
1,09	0,868	0,896	1,35	0,964	0,888
1,10	0,872	0,892	1,36	0,969	0,891
1,11	0,876	0,894	1,37	0,973	0,888
1,12	0,877	0,896	1,38	0,977	0,885
1,13	0,880	0,896	1,39	0,980	0,885
1,14	0,882	0,895	1,40	0,984	0,884
1,15	0,886	0,892	1,41	0,988	0,885
1,16	0,891	0,894	1,42	0,992	0,881
1,17	0,898	0,894	1,43	0,995	0,881
1,18	0,902	0,890	1,44	0,998	0,884
1,19	0,905	0,891	1,45	1,002	0,885
1,20	0,910	0,886	1,46	1,007	0,882
1,21	0,913	0,885	1,47	1,012	0,881
1,22	0,916	0,888	1,48	1,016	0,881
1,23	0,920	0,892	1,49	1,021	0,880
1,24	0,924	0,889	1,50	1,025	0,878
1,25	0,927	0,892			

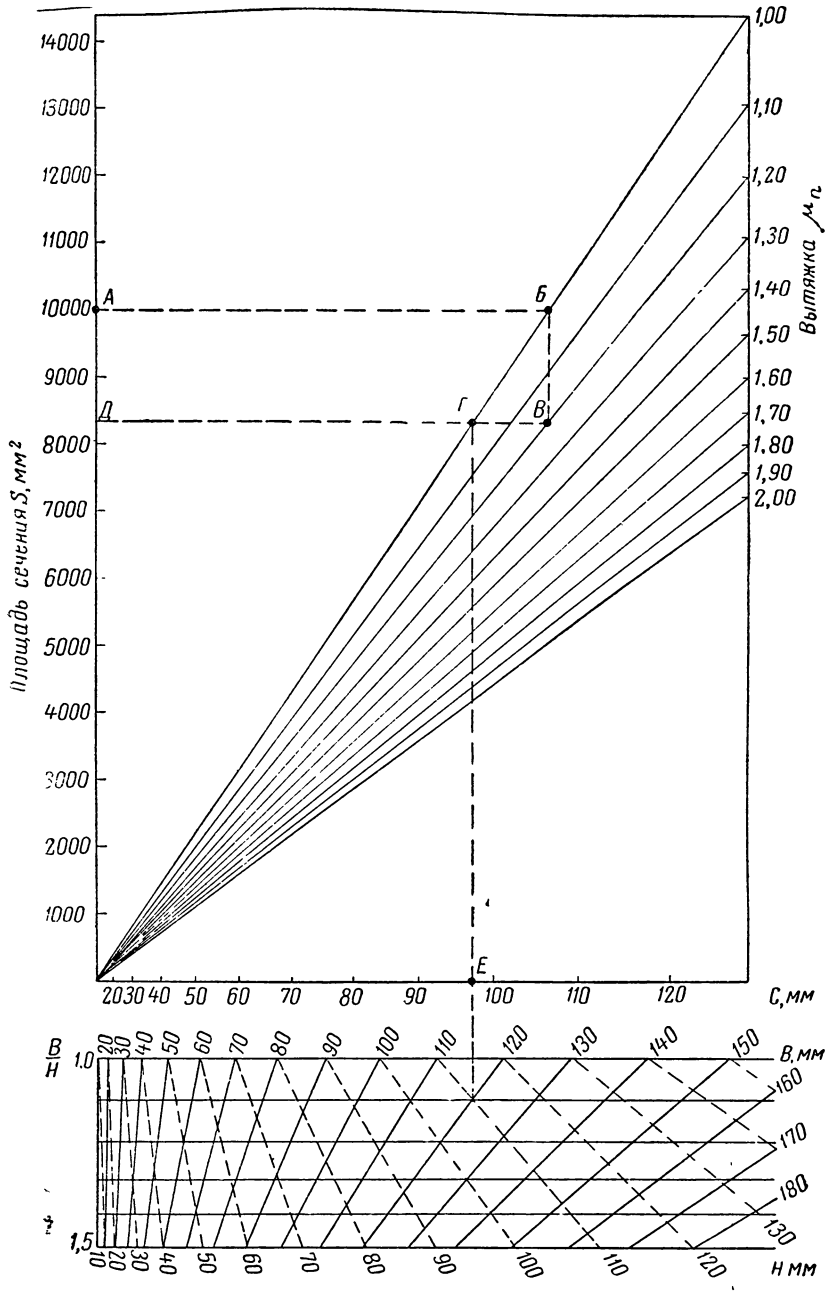


Рис. 45. Номограмма для определения площади поперечного сечения стрельчатых калибров

Определив $S_п$ и задавшись отношением $\frac{B_п}{H_п}$, производят определение сторон $C_п$ по номограммам рис. 45 и 46 с помощью табл. 10 или по вышеприведенной формуле. Затем с помощью тех же номограмм, табл. 10 или формулы определяют величины $H_п$ и $B_п$.

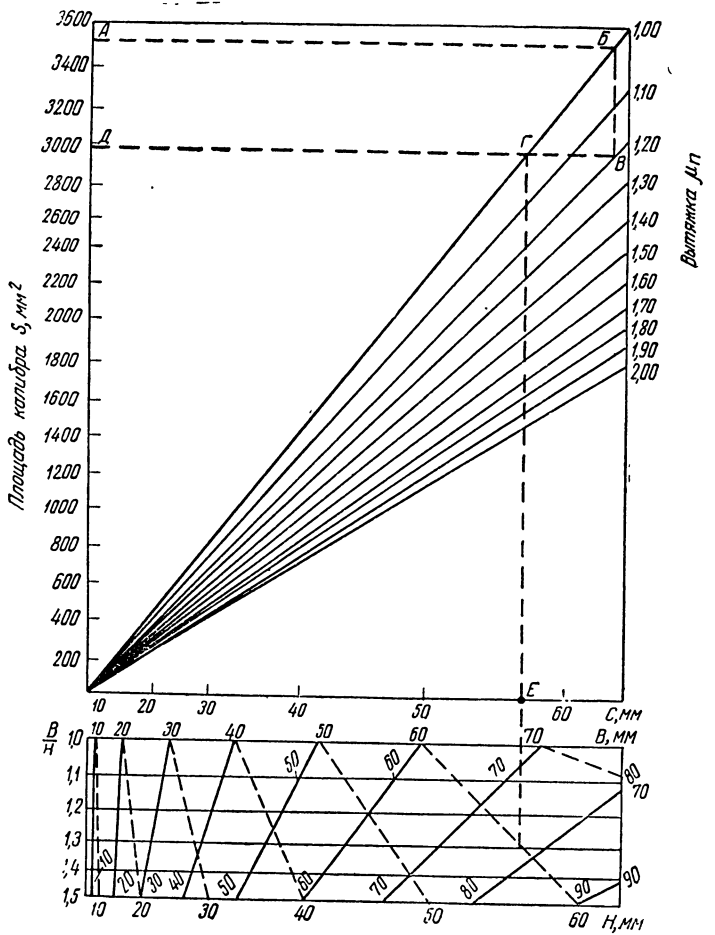


Рис. 46. Номограмма для определения площади поперечного сечения стрельчатых калибров

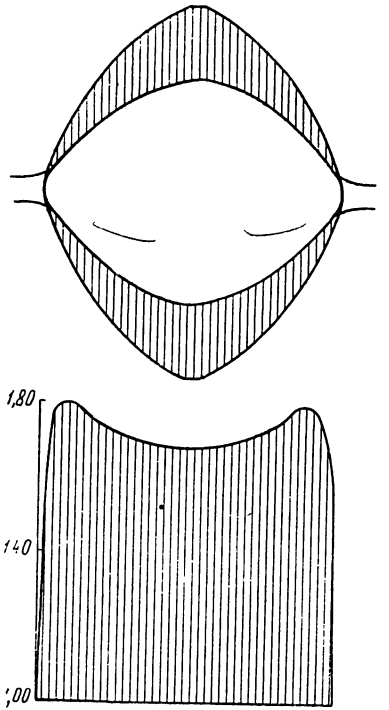


Рис 47. Диаграмма вытяжек при прокатке стрельчатого профиля в стрельчатом калибре

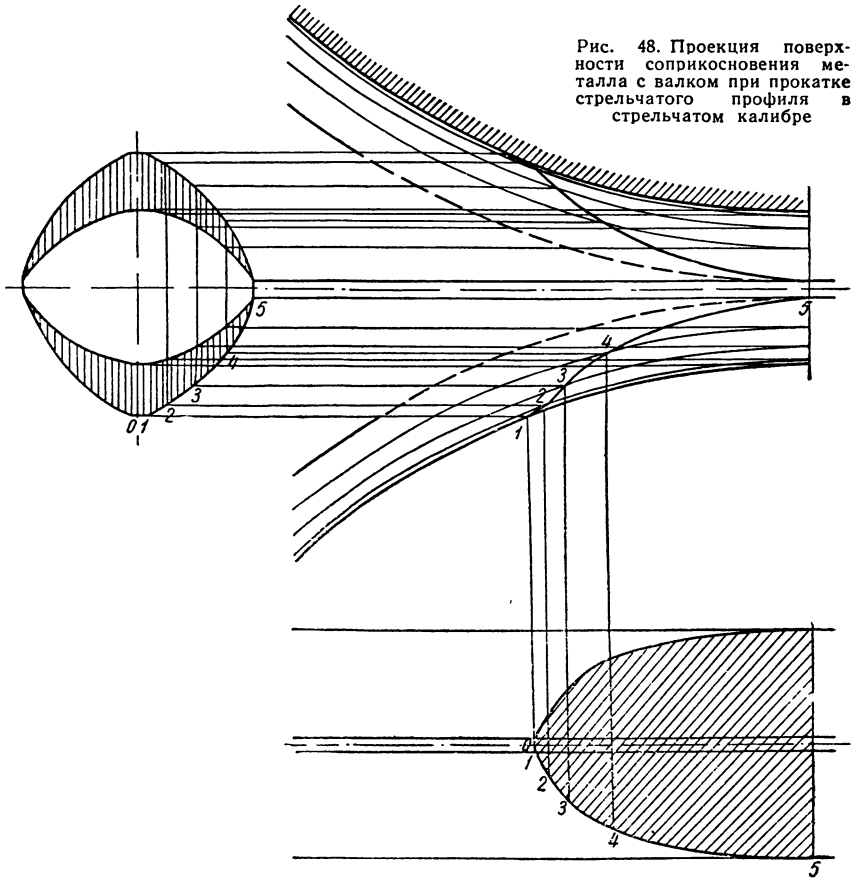


Рис. 48. Проекция поверхности соприкосновения металла с валком при прокатке стрельчатого профиля в стрельчатом калибре

9. Система калибров квадрат — ромб — квадрат

Система калибров квадрат — ромб — квадрат предназначается для получения прокаткой точных квадратов с острыми углами.

Подсчет сечений калибров при постоянной величине вытяжки производится по номограмме рис. 29.

Размеры сторон квадратных калибров принимают равными $A_n = \sqrt{S_n}$

Основные размеры ромбических калибров в зависимости от сечения устанавливают по номограммам рис. 42 и 43.

Построение квадратных и промежуточных ромбических калибров показано на рис. 49.

У отделочного квадратного калибра приняты: вертикальная диагональ $H_n = 1{,}41\ A_n$

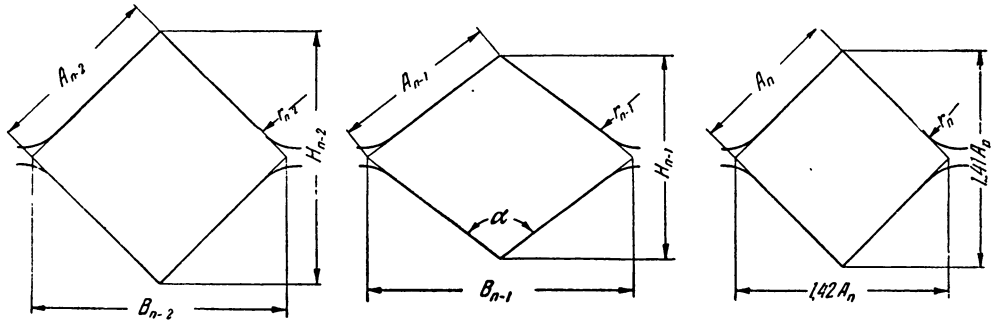


Рис. 49. Построение квадратных и промежуточных ромбических калибров:
$H_{n-2} = B_{n-1} - \Delta h$ мм, $B_{n-2} = 1{,}42\ A_{n-2}$, $r_{n-2} = 0{,}3\ A_{n-2}$; $\alpha = 105°$; $H_{n-1} = 1{,}42\ A_n - \Delta h$ мм; $r_{n-1} = 0{,}3\ A_{n-1}$; $r_n = 0{,}3\ A_n$

горизонтальная диагональ $B_n = 1{,}42\,A_n$, угол при вершине квадрата 90°30′.

Диаграмма вытяжек при прокатке промежуточного ромбического профиля в промежуточном квадратном калибре показана на рис. 50.

Проекция поверхности соприкосновения металла с валком при прокатке промежуточного ромбического профиля в промежуточном квадратном калибре показана на рис. 51

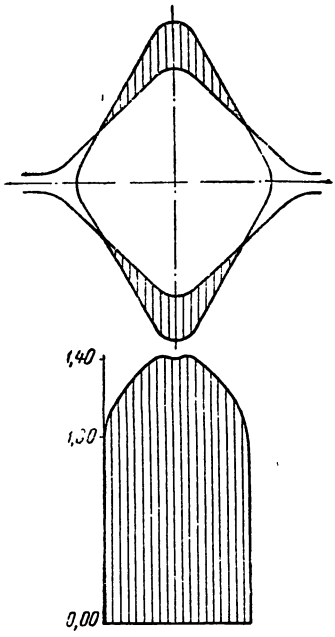


Рис 50 Диаграмма вытяжек при прокатке ромба в квадратном калибре

сравнению с последней она имеет следующие важные преимущества:

а) более плавное формоизменение и поэтому обеспечивается экономия электроэнергии;

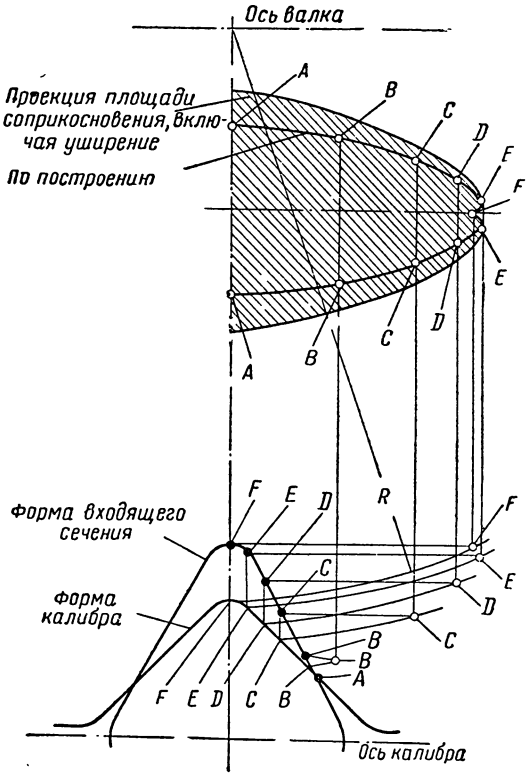


Рис. 51. Проекция поверхности соприкосновения металла с валком при прокатке ромба в квадратном калибре

10. Система калибров круг — овал — круг

Система калибров круг — овал — круг может применяться в тех же случаях, как и система квадрат — овал — квадрат; по

б) отсутствие острых углов, имеющихся у квадратных калибров, увеличивающих износ калибров и ухудшающих качество продукции;

в) более равномерное распределение вытяжек и получение металла без внутрен-

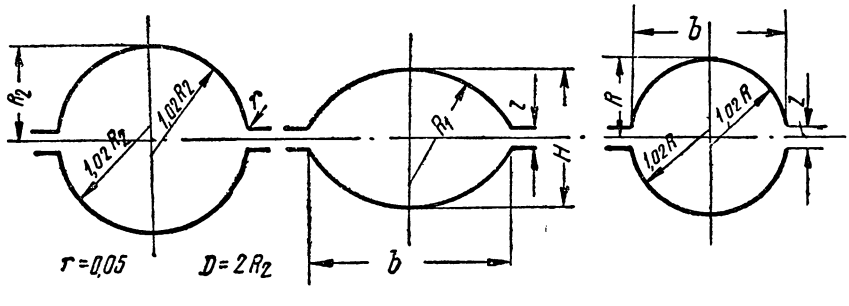


Рис. 52. Построение калибров системы круг — овал — круг

них напряжений и с более чистой поверхностью готового профиля;

г) упрощение устройства и облегчение работы обводок, так как устраняется возможность сваливания, получающегося при

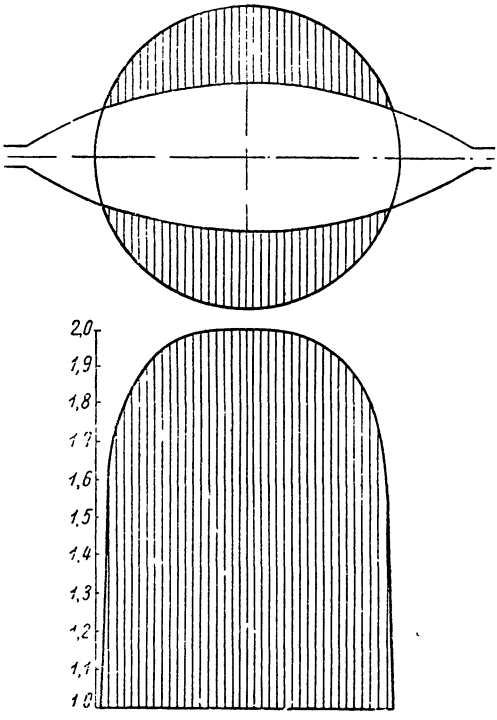


Рис 53 Диаграмма вытяжек при прокатке круглого профиля в овальном калибре

прокатке квадратных профилей и влекущего за собой массовый брак

Опорными пунктами калибровки в этой системе являются круги. Сечения их могут быть определены аналогично сечениям квадратов в системе квадрат — овал — квадрат, но с несколько меньшими средними вытяжками, т. е. с немного большим числом проходов.

По найденным величинам сечений определяют соответствующие диаметры кругов.

Толщину овального калибра принимают равной 0,9 от диаметра последующего меньшего круглого калибра:

$$h_n = 0{,}9d_{n+1}.$$

Ширина овального калибра в этой системе не должна быть меньше 1,25 от диаметра предыдущего большего круглого калибра:

$$b_n \geqslant 1{,}25d_{n-1}.$$

Построение калибров по этой системе показано на рис. 52. Диаграммы вытяжек представлены на рис. 53 и 54.

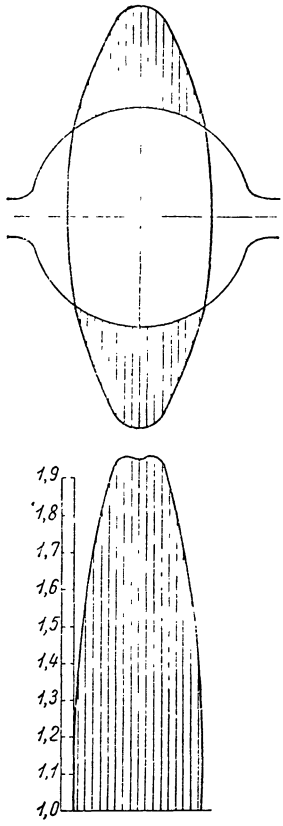


Рис. 54. Диаграмма вытяжек при прокатке овального профиля в круглом калибре

11. Системы отделочных калибров

Системы отделочных калибров представлены на рис. 55. В табл. 11 приведены рекомендуемые размеры предотделочных

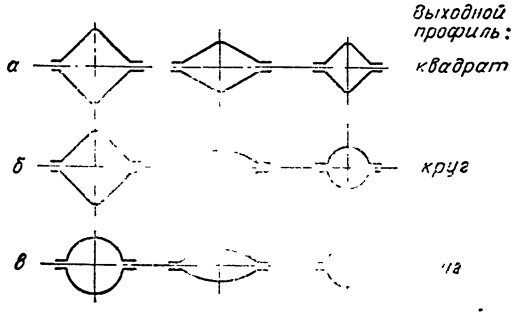


Рис 55 Системы отделочных калибров

Таблица 11

Размеры предотделочных калибров

Отделочный калибр	Система (см. рис. 55)	Предотделочные калибры			
		форма	проволочный	мелкосортный	среднесортный
Квадрат	*а*	Ромб $\angle\alpha$	110	106	102
		Квадрат $A_к - 2$	1,20 $A_к$	1,18 $A_к$	1,16 $A_к$
Круг	*б*	Овал $h_к - 1$	см. номограмму рис. 56		
		$b_к - 1$	То же		
		Квадрат $A_к - 2$	» »		
Круг	*в*	Овал $h_к - 1$	0,80 $d_к$	0,85 $d_к$	0,90 $d_к$
		$b_к - 1$	1,45 $d_к$	1,40 $d_к$	1,35 $d_к$
		Круг $d_к - 2$	1,16 $d_к$	1,14 $d_к$	1,12 $d_к$

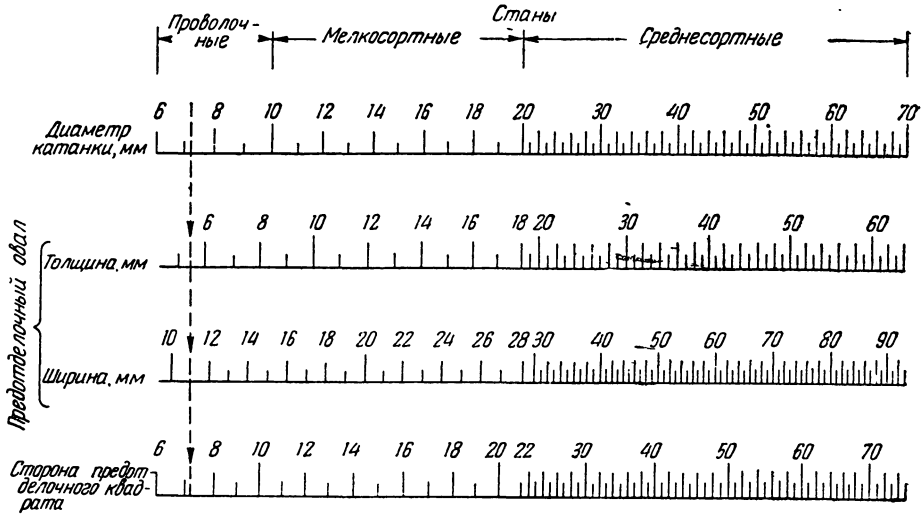


Рис. 56. Номограмма для определения предотделочных калибров

калибров для квадратного и круглого профилей. Размеры предотделочных калибров для круглых профилей могут быть определены также по номограмме рис. 56.

ЛИТЕРАТУРА

1. П И. Сюзев. Валы листокатальные и калиброванные, 1882.
2. Р. Р. Тонков. Прокатка и калибровка, 1901.
3. В. Е Грум-Гржимайло. Металлургия стали, ч. II, 1910.
4. А П Виноградов. Основы калибровки прокатных валков, Гос. Изд. Укр 1925.
5. И Дегец. Калибровка валков, перев. Э К. Крикента под ред. А. П. Виноградова, 1928.
6. Л. Жез. Калибровка валков при прокатке железа и стали. Изд. Техника и производство, Л. 1929.
7. Е. Кирхберг. Основы калибровки прокатных валков, Домез, 1929, № 1 и 2.
8. Школа калибровщика-прокатчика, Бюро заочного обучеиня Ломоносовского института, 1930
9 Г. М. Маковский. Металлург, 1930, № 2-стр. 219, № 3, стр. 384.
10 В. Тафель. Прокатка и калибровка, изд 1-е. Гостехиздат, 1930; изд. 2-е ОГИЗ, ГНТИ, 1931
11. Г. Н. Беляевский Основные понятия о калибровке валков для прокатки металла,

изд. 1-е, Гостехиздат, 1932, изд. 2-е, Госмашметиздат, 1932.

12 В. Е. Грум-Гржимайло. Прокатка и калибровка, Кубуч, 1933.

13 О. Эмике и Н. Альхаузен. Графический метод калибровки свободно уширяющихся профилей, Советская металлургия, 1934, № 10, стр. 289—298.

14. А. П. Виноградов. Калибровка прокатных валков, ГНТИ Укр. 1934.

15 М. И Злотников. Металлург, 1934, № 6.

16. М. В. Врацкий. Калибровка квадратного железа, Металлургиздат, 1934, стр. 1—56.

17. М. В. Врацкий. Калибровка круглого железа, Металлургиздат, 1934.

18 И. Л. Перлин (с участием Н. З. Днестровского). Прокатка цветных металлов, ч. 3, ОНТИ. 1934

19. В Тринкс. Калибровка прокатных валков, ч. I, ОНТИ — НКТП — Главредчермет, 1934; ч. 2, ОНТИ — Главредчермет, 1935.

20 Л С Гельдерман. Калибровка прокатных валков, ОНТИ — Главредчермет, 1935.

21. Н. З. Днестровский. Рационализация калибровки медной катанки на заводе «Москабель», Информац. материалы завода «Москабель», 1935, № 5, стр 74—91.

22 Н. З. Днестровский. Современное состояние и основные технические проблемы производства проволоки из цветных металлов в СССР, Информац материалы завода «Москабель», 1935, № 8, стр. 1—44

23. П. А. Александров, В. А. Писанко и С. Т. Богатырев. Рационализация калибровки валков сортовых прокатных станов, ОНТИ — ДНТВУ, 1938, стр. 1—258

24. А. Г. Петин и Г. А. Виноградов. Теория и практика металлургии, 1939, № 6 стр. 49—53.

25. В Д. Семков. Универсальная калибровка для прокатки простых профилей, ЦИТЭИН, 1940, стр. 1—36.

26. В. С. Смирнов. Труды Уральского индустриального ин-та, 1944, № 11, стр. 22—32.

27. В А. Писанко. Механическая обработка прокатных валков, Металлургиздат. 1947, стр. 1—156.

28. С. И. Губкин, П. С. Истомин и И Л. Перлин. Сб. «Деформируемость цветных сплавов». Изд. АН СССР, 1947, стр. 86—128.

29. А. П. Виноградов и Г. А. Виноградов. Калибровка прокатных валков, Металлургиздат, 1950, стр. 1—344.

30. Д. И. Старченко. Развернутая калибровка фасонных изделий, Металлургиздат, 1952.

31. В. С. Смирнов, К. Н. Богоявленский и Н. Н. Гавлов. Калибровка прокатных валков по методу соответственной полосы, Металлургиздат, 1953.

32 Б. П. Бахтинов и М. М. Штернов. Калибровка прокатных валков, Металлургиздат, 1953.

33. Н. З. Днестровский и С. Н. Померанцев. Краткий справочник по обработке цветных металлов и сплавов, Металлургиздат. 1958

ГЛАВА II

ПРОКАТКА ПРОВОЛОЧНОЙ И ПОЛОСОВОЙ ЗАГОТОВКИ

§ 1. ПРОДУКТЫ ПРОИЗВОДСТВА

Продукты производства в виде проволочной и полосовой заготовок, полученные в процессе горячей прокатки, разделяются по размерам и назначению на следующие 4 группы:

1. Горячекатаная проволочная заготовка в бухтах (так называемая катанка) сечением до 100 *мм*²

Типовые виды катанки с указанием марки сплава и размеров приведены в табл. 12.

Таблица 12

Типовые виды и размеры катанки из разных металлов и сплавов

Наименование металла или группы сплава	Наименование металла или сплава	Марка	Диаметр катанки *мм*
Медь	Медь	М1	6,5—12
Латуни . . .	Полутомпак	Л80	7—12
	Латунь	Л68	7—12
	Латунь	Л62	7—12
	Латунь с инцова я	ЛС59-1	7—12
Бронзы	Бронза кадмиевая	Бр.Кд0,	7—12
	Бронза хромовая	Бр.Х0,5	7—12
	Бронза телефонная	Бр Т	7—12
	Бронза кадмиевая	Бр Кд1	7—12
	Бронза бериллиевая	Бр Б2	7—12
	Бронза кремнистомарганцевая	Бр.КМц3-1	7—12
	Бронза оловянно-фосфористая	Бр ОФ6,5-0,4	—
	Бронза оловянно-цинковая	Бр О[illegible]4-3	7—12
Медноникелевые сплавы .	Сплав ТП	МН0,6	7—10
	Манганин	МНМц3-12	7—10
	Сплав ТБ	МН16	7—10
	Мельхиор	МН19	7—10
	Нейзильбер	МНц15-20	7—10
	Константан	МНМц40-1,5	7—10
	Копель	МНМц43-0,5	7—10
Никель	Никель	Н1	7—10
Никелевые сплавы . . .	Никель кремнистый	НК0,2	7—10
	Никель марганцевый	НМц2,5	7—10
	Никель марганцевый	НМц5	7—10
	Алюмель	НМцАК2-2-1	7—10
	Хромель 1	НХ 9,5	7—10
	Нихром	Х20Н80	7—10
	Монель-металл	НМЖМц28-2,5-1,5	7—10
	Ферронихром	Х15Н60	6—10
Алюминий . . .	Алюминий	А1	8—12
Алюминиевые сплавы . . .	Алдрей	Ад	8—12
	АМц	АМц	8—10
	Альмаг	АМг	8—10
	Дуралюмин	Д18П	8—10
	Дуралюмин	Д3П	8—10
	Дуралюмин	Д1П	8—10
	Альмаг 5	АМг5П	—
	Дуралюмин	Д16	8—10
Титан	Титан	ВТ1	10—12
Цинк	Цинк	Ц1	7—12

2 Горячекатаный мелкосортный подкат в бухтах сечением 100—300 *мм*².

Мелкосортный подкат предназначен для изготовления толстой круглой проволоки, толстого круглого бухтового металла, прямоугольной обмоточной меди, контактных (троллейных) проводов, узких лент в рулонах и тянутых прутков диаметром 10—18 *мм*. Типовые виды мелкосортного подката в бухтах с указанием марки сплавов, формы и размеров заготовки и назначения приведены в табл. 13.

изготовления узкой ленты шириной до 110 *мм*. Способ изготовления ленточной заготовки профильной прокаткой применяется только для меди марки М1, предназначенной для электротехнических целей. Ленточную заготовку из всех остальных цветных металлов и их сплавов изготовляют прокаткой между гладкими валками или прессованием. Типовые размеры и марки сплавов приведены в табл 14.

4. Горячекатаные прутки, которые для заводов по обработке цветных металлов и

Таблица 13

Типовые виды и размеры мелкосортного подката в бухтах для разных металлов и сплавов и их назначение

Наименование металла или сплава	Марка	Форма поперечного сечения	Размер заготовки			Назначение
			диаметр или толщина, *мм*	ширина *мм*	сечение *мм*²	
Медь . .	М1	Круг	12—20	—	100—300	Для круглой меди диам. 10—18 *мм*, контактных проводов и прямоугольной обмоточной меди
	М1	Прямоугольник	6—12	10—22	100—300	Для прямоугольной обмоточной меди
	М1	Трапеция	—	—	100—300	Для коллекторных пластин
Латунь . .	Л62	Круг	12—20	—	100—300	Для круглых прутков диам. 10—18 *мм*
Константан	МНМц40-1,5	Прямоугольник	6—12	10—22	100—300	Для узких лент в рулонах
Нихром . .	Х20Н80	Прямоугольник	6—12	10—22	100—300	Для узких лент в рулонах
Монель-металл . . .	НМЖМц28-2,5-1,5	Круг	12—20	—	100—300	Для круглых прутков диам. 10—16 *мм*
Феррохром	Х15Н60	Прямоугольник	6—12	10—22	100—300	Для узких лент в рулонах

3. Горячекатаный среднесортный подкат в полосах или рулонах сечением 300—10 000 *мм*².

Среднесортный подкат в полосах идет для изготовления круглых, квадратных и шестигранных прутков размером 20—40 *мм* путем протяжки на цепных станах, а также медных и алюминиевых прямоугольных полос (шин) для электротехнических целей К этому же типу подката следует отнести толстую горячекатаную заготовку в рулонах, предназначенную для

большинстве случаев являются законченной продукцией. На заводах-потребителях прутки обычно подвергаются механической обработке резанием.

Прутки из цветных металлов и сплавов диаметром до 30 *мм* поставляются потребителям в прессованном или тянутом состоянии. По этой причине в ГОСТ 1945—46 предусмотрены готовые горячекатаные прутки только диаметром 30 *мм* и более Стандартный сортамент на такие прутки приведен в табл. 15.

Таблица 14

Типовые виды и размеры среднесортного подката в полосах для разных металлов и сплавов и их назначение

Наименование металла или сплава	Марка	Форма поперечного сечения	Размеры заготовки				Назначение
			диаметр *мм*	толщина *мм*	ширина *мм*	сечение *мм²*	
Медь . . .	М1	Круг	20—45	—	—	300—2000	Для круглых прутков диам. 20—40 *мм*
	М1	Квадрат	20—40	—	—	300—2000	Для квадратных прутков до размера 36 *мм*
	М1	Шестигранник	20—40	—	—	300—2000	Для шестигранных прутков до размера 36 *мм*
	М1	Прямоугольник	—	6—8	50—105	300—800	Для ленты (в рулонах)
	М1	Прямоугольник	—	6—15	50—105	300—1500	Для прямоугольных полос—шин
	М1	Трапеция	—	До 15	80—105	300—1500	Для коллекторных пластин
Латунь . .	Л62	Круг	20—45	—	—	300—2000	Для круглых прутков до диам 40 *мм*
	Л62	Квадрат	20—40	—	—	300—2000	Для квадратных прутков до размера 36 *мм*
	Л62	Шестигранник	20—40	—	—	300—2000	Для шестигранных прутков до размера 36 *мм*
Бронза кремнистомарганцевая	Бр.КМц3-1	Круг	20—45	—	—	300—2000	Для круглых прутков до диам 40 *мм*
	Бр.КМц3-1	Квадрат	20—40	—	—	300—2000	Для квадратных прутков до размера 36 *мм*
	Бр.КМц3-1	Шестигранник	20—40	—	—	300—2000	Для шестигранных прутков до размера 36 *мм*
Бронза оловянноцинковая	Бр ОЦ4-3	Круг	20—45	—	—	300—2000	Для круглых прутков до диам 40 *мм*
Мельхиор	МН19	Круг	20—45	—	—	300—2000	То же
Монель-металл	НМЖМц28-2,5-1,5	Круг	20—45	—	—	300—2000	» »
Алюминий	А1	Круг	20—45	—	—	300—2000	» »
	А1	Прямоугольник	—	6—15	50—115	300—1500	Для прямоугольных полос (шин)

Таблица 15

Сортамент горячекатаных прутков из цветных металлов и сплавов (по ГОСТ 1945—46)

Номинальные диаметры *мм*	Допускаемые отклонения, *мм* при точности	
	класс 9	группа 10
30	—1,3	—1,5
35		
40		
45	—1,6	—2,0
50		
55		
60		
70	—1,9	—2,5
80		
90		
100		
110	—2,2	—3,2
120		

§ 2. СЛИТКИ И ЗАГОТОВКИ

Для производства проволочной, прутковой и полосовой заготовок горячей прокаткой применяют 5 видов слитков или заготовок:

1) для меди — горизонтально отлитый вайербарс трапецеидального сечения весом около 85 *кг*;

2) для латуней (медноцинковых сплавов) и бронз — вертикально отлитый цилиндрический слиток весом около 65 *кг*;

3) для никеля, никелевых и медноникелевых сплавов — вертикально отлитый конический слиток весом около 50 *кг*;

4) для алюминия — слиток квадратного сечения весом около 35 *кг*, отлитый методом полунепрерывного литья или в вертикальные изложницы;

5) для алюминиевых сплавов — слиток квадратного сечения весом около 30 *кг* или прессованная квадратная заготовка весом около 30 *кг*.

В целях уменьшения брака и улучшения качества продукции можно рекомендовать для никелевых сплавов предварительную проковку слитков, для алюминиевых сплавов — прессовку заготовки.

Форма и размеры наиболее типовых видов слитков или заготовок приведены в табл. 16.

Таблица 16

Типовые виды, размеры и вес слитков и заготовок для разных металлов и сплавов

Наименование группы металлов или сплавов	Наименование металла или сплава	Марка	Вид заготовки	Форма поперечного сечения	Размеры поперечного сечения *мм*		Продольная форма слитка	Длина слитка, *мм*	Вес слитка, *кг*
					верх слитка	низ слитка			
Медь	Медь	М1	Горизонтально отлитый слиток	Трапеция	—	—	—	1370	85—125
Латуни	Полутомпак	Л80	Вертикально отлитый слиток	Круг	120	120	Цилиндр	720	65
	Латунь	Л68	То же	«	120	120	«	720	65
	Латунь	Л62	« «	«	120	120	«	720	65
	Латунь свинцовая	ЛС59-1	« «	«	120	120	«	720	65
Бронзы	Бронза кадмиевая	Бр.Кд0,5	Прессованная заготовка	Квадрат	85	85	Параллелепипед	—	—
	Бронза хромовая	Бр.Х0,5	То же	—	—	—	—	—	—
	Бронза телефонная	Бр.Т	« «	—	—	—	—	—	—
	Бронза кадмиевая	Бр.Кд1	« «	Квадрат	85	85	Параллелепипед	—	—
	Бронза бериллиевая	Бр.Б2	Вертикально отлитый слиток	Круг	120	120	«	500	45
	Бронза кремнистомарганцевая	Бр.КМц3-1	Прессованная заготовка	Квадрат	85	85	«	—	—

Продолжение табл. 16

Наименование группы металлов или сплавов	Наименование металла или сплава	Марка	Вид заготовки	Форма поперечного сечения	Размеры поперечного сечения *мм*		Продольная форма слитка	Длина слитка, *мм*	Вес слитка, *кг*
					верх слитка	низ слитка			
	Бронза оловянно-фосфористая	Бр.ОФ6,5-0,4	Центробежно отлитый слиток	—	—	—	Диск	—	—
	Бронза оловянно-цинковая	Бр ОЦ4-3	Прессованная заготовка	Квадрат	62	62	Параллелепипед	—	—
Медноникелевые сплавы	Сплав ТП	МН0,6	Вертикально отлитый слиток	Круг	120	85	Конус	650	50
	Манганин	МНМц3-12	То же	«	120	85	«	650	50
	Сплав ТБ	МН16	« «	«	120	85	«	650	50
	Мельхиор	МН19	« «	«	120	85	«	650	50
	Нейзильбер	МНЦ15-20	« «	«	120	120	Цилиндр	500	45
	Константан	МНМц40-1,5	« «	«	120	85	Конус	650	50
	Копель	МНМц43-0,5	Вертикально отлитый слиток	Круг	120	85	Конус	650	50
Никель	Никель	Н1	То же	«	120	85	«	650	50
Никелевые сплавы	Никель кремнистый	НК0,2	« «	«	120	85	«	650	50
	Никель марганцевый	НМц2,5	« «	«	120	85	«	650	50
	Никель марганцевый	НМц5	« «	«	120	85	«	650	50
	Алюмель	НМцАК2-2-1	« «	«	120	85	«	650	50
	Хромель	НХ9,5	« «	«	120	85	«	650	50
	Нихром	Х20Н80	« «	«	120	85	«	650	50
	Монель-металл	НМЖМц28-2,5-1,5	« «	«	120	85	»	650	50
	Ферронихром	Х15Н60	« «	«	120	85	«	650	50
Алюминий	Алюминий	А1	« «	Квадрат	100	100	Параллелепипед	1300	35
Алюминиевые сплавы	Алдрей	Ад	« «	«	100	100	«	1300	35
	АМц	АМц	Прессованная заготовка	Квадрат	95	95	«	1300	30
	Альмаг	АМг	То же	«	95	95	«	1300	30
	Дуралюмин	Д18П	« «	«	95	95	«	1300	30
	Дуралюмин	Д3П	« «	«	95	95	«	1300	30
	Дуралюмин	Д1П	« «	«	95	95	«	1300	30
	Альмаг 5	АМг5П	« «	«	95	95	«	1300	30
	Дуралюмин	Д16	« «	«	95	95	«	1300	30
Титан	Титан	ВТ1	Вертикально отлитый слиток	Круг	100	100	Цилиндр	600	30
Цинк	Цинк	Ц1	То же	«	110	110	«	750	50

§ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

1. Температурные интервалы профильной прокатки

Температурные интервалы профильной прокатки для разных цветных металлов и их сплавов должны устанавливаться по соответствующим кривым ударной вязкости. Рекомендуемые температурные интервалы приведены в табл 17. Если в процессе прокатки температура полосы снизится и будет ниже указанной минимальной, то в этом случае рекомендуется прибегнуть к вторичному подогреву полосы

Таблица 17

Рекомендуемые температурные интервалы профильной прокатки цветных металлов и сплавов и оценка обрабатываемости их прокаткой в горячем состоянии

Наименование группы металлов или сплавов	Наименование металла или сплава	Марка	Температура начала прокатки °С	Допустимая температура конца прокатки °С	Оценка обрабатываемости металлов и сплавов прокаткой в горячем состоянии[1]
Медь	Медь	М1	900—850	500	О
Латуни	Полутомпак	Л80	860—820	500	У
	Латунь	Л68	830—800	550	У
	Латунь	Л62	800—780	550	О
	Латунь свинцовая	ЛС59-1	760—730	650	Н
Бронзы	Бронза кадмиевая	Бр Кд0,5	900—850	550	Х
	Бронза хромовая	Бр Х0,5	880—830	550	У
	Бронза телефонная	Бр Т	880—830	550	Х
	Бронза кадмиевая	Бр Кд-1	900—850	550	У
	Бронза бериллиевая	Бр Б2	—	—	Н
	Бронза кремнистомарганцевая	Бр.КМц3-1	840—800	600	У
	Бронза оловяннофосфористая	Бр.ОФ6,5-0,4	—	—	Н
	Бронза оловянноцинковая	Бр.ОЦ4-3	740—720	600	Х
Медноникелевые сплавы	Сплав ТП	МН0,6	880—820	600	Х
	Манганин	МНМц3-12	820—780	650	Н
	Сплав ТБ	МН16	940—900	600	Х
	Мельхиор	МН19	910—950	550	Х
	Нейзильбер	МНЦ15-20	940—900	650	Н
	Константан	МНМц40-1,5	1100—1050	650	У
	Копель	МНМц43-0,5	1150—1100	600	У
Никель	Никель	Н1	1200—1150	600	Х
Никелевые сплавы	Никель кремнистый	НК0,2	1180—1050	700	Х
	Никель марганцевый	НМц2,5	1160—1000	700	Х
	Никель марганцевый	НМц5	1160—1000	700	У
	Алюмель	НМцАК2-2-1	1200—1160	700	У
	Хромель	НХ9,5	1200—1180	700	У
	Нихром	Х20Н80	1200—1150	750	У
	Монель-металл	НМЖМц28-2,5-1,5	1150—1100	750	Н
	Ферронихром	Х15Н60	1180—1150	750	Н
Алюминий	Алюминий	А1	460—400	300	Х

Продолжение табл. 17

Наименование группы металлов или сплавов	Наименование металла или сплава	Марка	Температура начала прокатки °С	Допустимая температура конца прокатки °С	Оценка обрабатываемости металлов и сплавов прокаткой в горячем состоянии
Алюминиевые сплавы	Алдрей	Ад	460—420	300	Х
	АМц	АМц	450—380	300	У
	Альмаг	АМг	450—380	300	Н
	Дуралюмин	Д18П	450—380	300	У
	Дуралюмин	Д3П	450—380	300	У
	Дуралюмин	Д1П	450—380	300	У
	Альмаг 5	АМг5П	—	—	П
	Дуралюмин	Д16	450—380	300	Н
Титан	Титан	ВТ1	900—1000	—	Н
Цинк	Цинк	Ц1	170—150	135	У

[1] О — прокатывается в горячем состоянии без затруднений с большими обжатиями и не требует применения специального оборудования. Х — прокатывается без больших затруднений, однако требует применения специального оборудования и тщательного контроля. У — обрабатывается с ограниченными обжатиями, большими удельными давлениями и требует специального оборудования. Н — прокатывается в горячем состоянии с значительными трудностями. П — горячая прокатка данного сплава в промышленности не применяется.

2. Средние вытяжки при профильной прокатке

При профильной прокатке вытяжка не является постоянной величиной и в большинстве случаев она уменьшается по мере понижения температуры металла. Для первых двух—четырех калибров иногда принимают несколько заниженные вытяжки; величина вытяжки ограничивается малым диаметром валков и повышенными величинами углов захвата. По этой причине величина средней вытяжки может значительно отличаться от фактических вытяжек в каждом отдельном проходе и ее необходимо рассматривать как условную характеристику, позволяющую при заданных начальных и конечных сечениях относительно просто установить число проходов, необходимое для такой прокатки.

Рекомендуемые на практике величины средних вытяжек для разных цветных металлов и их сплавов приведены в табл. 18

Выходные скорости на различных стадиях процесса профильной прокатки определяются по формуле

$$v_n = \frac{1{,}05\pi D_{раб} n}{60 \cdot 1000} \quad м/сек,$$

где v_n — выходная скорость, *м/сек*;

1,05 — коэффициент опережения,

$D_{раб}$ — рабочий диаметр, равный $D_{пар} - 2c_n'$ *мм*;

c_n' — средняя глубина ручья, равна $\frac{S_n - b_n z_n}{2 b_n}$ *мм*;

S_n — сечение калибра, *мм*²;

b_n — ширина расточки ручья по наружному диаметру валка, *мм*;

z_n — расчетный зазор между валками, *мм*;

n — число оборотов валка в минуту.

Входные скорости на различных стадиях процесса определяют из выражения

$$v_n' = \frac{v_n}{\mu_n},$$

где v_n' — входная скорость, *м/сек*;

v_n — выходная скорость, *м/сек*;

μ_n — вытяжка задаваемого профиля в калибре n.

Расчет скоростей профильной прокатки для приведенного в табл. 9 примерного расчета калибровки дан в табл. 19.

Рекомендуемые на практике скорости профильной прокатки для цветных металлов и их сплавов приведены в табл. 20.

Таблица 18

Рекомендуемые средние частные вытяжки при горячей профильной прокатке цветных металлов и их сплавов

Наименование группы металлов или сплавов	Наименование металла или сплава	Марка сплава	Рекомендуемые средние величины вытяжки при прокатке							
			катанки				мелкосортной заготовки		среднесортной заготовки	прутков
			на стане μ	на обжимных клетях μ	на промежуточных клетях μ	на отделочных клетях μ	на обжимных клетях μ	на промежуточных клетях μ	μ	μ
Медь	Медь	М1	1,32—1,50	1,45—1,90	1,30—1,60	1,20—1,40	1,40—1,80	1,18—1,35	1,18—1,35	1,15—1,30
Латуни	Полутомпак	Л80	1,22—1,35	1,30—1,60	1,20—1,40	1,15—1,30	1,25—1,50	1,18—1,35	1,15—1,30	1,12—1,25
	Латунь	Л68	1,22—1,35	1,30—1,60	1,20—1,40	1,15—1,30	1,25—1,50	1,18—1,35	1,15—1,30	1,12—1,25
	Латунь	Л62	1,22—1,35	1,30—1,60	1,20—1,40	1,15—1,30	—	—	—	—
	Латунь свинцовая	ЛС59-1	1,20—1,30	1,25—1,50	1,18—1,35	1,12—1,25	1,18—1,35	1,18—1,35	1,15—1,30	1,12—1,25
Бронзы	Бронза кадмиевая	Бр. Кд0,5	1,25—1,40	1,25—1,50	1,22—1,45	1,20—1,40	1,25—1,50	1,18—1,35	—	—
	Бронза хромовая	Бр. Х0,5	1,22—1,35	1,28—1,55	1,20—1,40	1,18—1,35	—	—	—	—
	Бронза телефонная	Бр. Т	1,25—1,40	1,25—1,50	1,22—1,45	1,20—1,40	—	—	—	—
	Бронза кадмиевая	Бр Кд1	1,22—1,35	1,28—1,55	1,20—1,40	1,15—1,30	1,20—1,40	1,12—1,25	1,12—1,25	—
	Бронза бериллиевая	Бр. Б2	1,20—1,30	1,22—1,45	1,18—1,35	1,12—1,25	1,18—1,35	1,10—1,20	1,10—1,20	—
	Бронза кремнистомарганцевая	Бр. КМц3-1	1,22—1,35	1,25—1,50	1,20—1,40	1,15—1,30	1,20—1,40	1,12—1,25	1,15—1,30	1,12—1,25
	Бронза оловянноцинковая	Бр. ОЦ4-3	1,22—1,35	1,25—1,50	1,20—1,40	1,15—1,30	1,20—1,40	1,12—1,25	1,15—1,30	1,12—1,25
Медноникелевые сплавы	Сплав ТП	МН0,6	1,25—1,40	1,25—1,50	1,22—1,45	1,20—1,40	—	—	—	—
	Манганин	МНМц3-12	1,22—1,35	1,22—1,45	1,18—1,35	1,15—1,30	1,22—1,45	1,12—1,25	1,15—1,30	1,12—1,25
	Сплав ТБ	МН16	1,22—1,35	1,25—1,50	1,22—1,45	1,20—1,40	—	—	—	—
	Мельхиор	МН19	1,22—1,35	1,25—1,50	1,22—1,45	1,20—1,40	1,25—1,50	1,18—1,35	1,18—1,35	1,15—1,30
	Нейзильбер	МНЦ15-20	1,25—1,40	1,20—1,40	1,18—1,35	1,15—1,30	1,20—1,40	1,12—1,25	1,15—1,30	1,12—1,25
	Константан	МНМц40-1,5	1,22—1,35	1,25—1,50	1,20—1,40	1,15—1,30	1,25—1,50	1,12—1,25	1,15—1,30	1,12—1,25
	Копель	МНМц43-0,5	1,20—1,30	1,22—1,45	1,18—1,35	1,12—1,25	—	—	—	—

Продолжение табл. 18

Наименование группы металлов или сплавов	Наименование металла или сплава	Марка сплава	Рекомендуемые средние величины вытяжки при прокатке							
			катанки				мелкосортной заготовки		среднесортной заготовки	прутков
			на стане μ	на обжимных клетях μ	на промежуточных клетях μ	на отделочных клетях μ	на обжимных клетях μ	на промежуточных клетях μ	μ	μ
Никель	Никель	Н1	1,22—1,35	1,25—1,50	1,18—1,35	1,15—1,30	1,22—1,45	1,15—1,30	1,15—1,30	1,12—1,25
Никелевые сплавы	Никель кремнистый	НК0,2	1,22—1,35	1,25—1,50	1,18—1,35	1,15—1,30	—	—	—	—
	Никель марганцевый	НМц2,5	1,22—1,35	1,25—1,50	1,18—1,35	1,12—1,25	—	—	—	—
	Никель марганцевый	НМц5	1,20—1,30	1,22—1,45	1,18—1,35	1,12—1,25	—	—	—	—
	Алюмель	НМцАК2-2-1	1,20—1,30	1,22—1,45	1,18—1,35	1,12—1,25	—	—	—	—
	Хромель 1	НХ9,5	1,22—1,35	1,20—1,40	1,18—1,35	1,15—1,30	1,20—1,40	1,12—1,25	—	—
	Нихром	Х20Н80	1,20—1,30	1,18—1,35	1,15—1,30	1,10—1,20	1,18—1,35	1,10—1,20	1,12—1,25	1,10—1,20
	Монель-металл	НМЖМц28-2,5-1,5	1,22—1,35	1,25—1,50	1,20—1,40	1,15—1,30	1,22—1,45	1,15—1,30	1,15—1,30	1,12—1,25
	Ферронихром	Х15Н60	1,20—1,30	1,18—1,35	1,15—1,30	1,10—1,20	1,18—1,35	1,10—1,20	1,12—1,25	1,10—1,20
Алюминий	Алюминий	А1	1,30—1,45	1,40—1,80	1,28—1,55	1,18—1,35	1,38—1,75	1,15—1,30	1,18—1,35	1,15—1,30
Алюминиевые сплавы	Алдрей	Ад	1,25—1,40	1,38—1,75	1,22—1,45	1,18—1,35	1,30—1,60	1,15—1,30	1,18—1,35	1,12—1,25
	АМц	АМц	1,22—1,35	1,35—1,70	1,22—1,45	1,18—1,35	1,28—1,55	1,15—1,30	1,18—1,35	1,12—1,25
	Альмаг	АМг	1,20—1,30	1,30—1,60	1,20—1,40	1,15—1,30	1,25—1,50	1,12—1,25	1,15—1,30	1,10—1,20
	Дуралюмин	Д18П	1,22—1,35	1,28—1,55	1,20—1,40	1,12—1,25	1,22—1,45	1,12—1,25	—	—
	Дуралюмин	Д3П	1,22—1,35	1,25—1,50	1,20—1,40	1,10—1,20	1,20—1,40	1,12—1,25	—	—
	Дуралюмин	Д1П	1,22—1,35	1,25—1,50	1,20—1,40	1,10—1,20	1,20—1,40	1,12—1,25	—	—
	Дуралюмин	Д16	1,20—1,30	1,20—1,40	1,18—1,35	1,08—1,15	1,18—1,35	1,10—1,20	—	—
Титан	Титан	ВТ1	1,18—1,27	1,20—1,40	1,18—1,35	1,08—1,15	—	—	—	—
Цинк	Цинк	Ц1	1,22—1,35	1,25—1,50	1,18—1,35	1,12—1,25	—	—	—	—

Таблица 19

Примерный расчет скоростей прокатки

№ профиля	Форма калибра	Размеры калибра мм	$D_{нар}$ мм	b_n мм	n мм	$S_n z_n$ мм²	S_n мм²	$S_n - b_n z_n$ мм²	$c'_n = \frac{S_n - b_n' z_n}{2b_n}$ мм	$D_{раб} = D_{нар} - 2c'_n$ мм	n об/мин	$\omega = \frac{1{,}05 \cdot n}{60\ 1000}$	$v_n = \omega D_{раб}$ м/сек	$\varphi = \frac{S_{n-1}}{S_n}$	$v'_n = \frac{v_n}{\varphi_n}$ м/сек
0	Трапеция	92×88/98	—	—	—	—	8464,0	—	—	—	—	—	—	—	—
1	Прямоугольник	50/54×92/108	437	108,0	6	648,0	5007,1	—	23,0	391,0	110	0,00605	2,36	1,69	1,40
2	Прямоугольник	50×54/66	432	66,0	6	396,0	2642,0	—	22,0	388,0	110	0,00605	2,34	1,90	1,23
3	Шестигранный овал	19×40/80	437	80,0	6	480,0	1309,0	829,0	5,2	426,6	110	0,00605	2,56	2,02	1,27
4	Квадрат	25,9	432	31,3	6	187,8	670,8	483,0	7,7	416,6	110	0,00605	2,52	1,95	1,29
5	Овал	12×45	437	45,0	4	180,0	400,1	220,1	2,4	432,2	110	0,00605	2,62	1,68	1,56
6	Квадрат	16,3	255	20,5	3	61,5	265,7	204,2	5,0	245,0	293	0,01610	3,94	1,51	2,61
7	Овал	8,3	260	30,0	3	90,0	184,5	94,5	1,6	256,8	293	0,01610	4,14	1,44	2,87
8	Квадрат	11,6	270	13,7	3	41,1	134,6	93,5	3,4	263,2	293	0,01610	4,24	1,37	3,09
9	Овал	5,8×23	275	23,0	2	46,0	99,7	53,7	1,2	272,6	293	0,01610	4,39	1,35	3,25
10	Квадрат	8,7	230	10,5	2	21,0	75,7	54,7	2,6	224,8	375	0,02060	4,63	1,32	3,51
11	Овал	5,0×17	235	17,0	2	34,0	61,3	27,3	0,8	233,4	375	0,02060	4,80	1,24	3,87
12	Квадрат	7,2	250	8,4	2	16,8	51,8	35,0	2,1	245,8	375	0,02060	5,06	1,18	4,29
13	Овал	5,5×11	255	11,0	2	22,0	44,8	22,8	1,0	253,0	375	0,02060	5,21	1,15	4,53
14	Круг	7,2	265	7,5	2	15,0	40,7	25,7	1,7	261,6	375	0,02060	5,38	1,10	4,89

Таблица 20

Рекомендуемые скорости профильной прокатки цветных металлов и их сплавов

Наименование металла или группы сплавов	Наименование металла или сплава	Марка сплава	Скорости (*м/сек*) при прокатке						
			катанки			мелкосортной заготовки		среднесортной заготовки на клетях с $D_{нар}$ =600—400 *мм*	прутков на клетях с $D_{нар}$ =450—400 *мм*
			на обжимных клетях с $D_{нар}$ =450—400 *мм*	на промежуточных клетях с $D_{нар}$ =350—300 *мм*	на отделочных клетях с $D_{нар}$ =310—240 *мм*	на обжимных клетях с $D_{нар}$ =450—400 *мм*	на отделочных клетях с $D_{нар}$ =350—300 *мм*		
Медь	Медь	М1	1,5—3,0	3,0—6,0	6,0—25,0	1,5—3,0	3,0—6,0	1,0—2,0	0,5—1,0
Латуни	Полутомпак	Л80	1,0—2,0	2,5—5,0	4,0—8,0	1,0—2,0	2,5—5,0	0,3—0,6	0,3—0,6
	Латунь	Л68	1,0—2,0	2,5—5,0	4,0—8,0	1,0—2,0	2,5—5,0	0,3—0,6	0,3—0,6
	Латунь	Л62	1,0—2,0	2,5—5,0	4,0—8,0	1,0—2,0	2,5—5,0	0,3—0,6	0,3—0,6
	Латунь свинцовая	ЛС59-1	1,0—2,0	2,5—5,0	4,0—8,0	1,0—2,0	2,5—5,0	0,3—0,6	0,3—3,6
Бронзы	Бронза кадмиевая	Бр Кд0,5	1,0—2,0	2,5—5,0	4,0—8,0	1,0—2,0	2,5—5,0	0,3—0,6	0,3—0,6
	Бронза хромовая	Бр. Х0,5	1,0—2,0	2,5—5,0	4,0—8,0	1,0—2,0	2,5—5,0	0,3—0,6	0,3—0,6
	Бронза телефонная	Бр. Т	1,0—2,0	2,5—5,0	4,0—8,0	—	—	—	—
	Бронза кадмиевая	Бр. Кд1	1,0—2,0	2,5—5,0	4,0—8,0	1,0—2,0	2,5—5,0	0,3—0,6	0,3—0,6
	Бронза бериллиевая	Бр. Б2	1,0—2,0	2,5—5,0	4,0—8,0	1,0—2,0	2,5—5,0	0,3—0,6	0,3—0,6
	Бронза кремнистомарганцевая	Бр. КМц3-1	1,0—2,0	2,5—5,0	4,0—8,0	1,0—2,0	2,5—5,0	0,3—0,6	0,3—0,6
	Бронза оловянноцинковая	Бр. ОЦ4-3	1,0—2,0	2,5—5,0	4,0—8,0	1,0—2,0	2,5—5,0	0,3—0,6	0,3—0,6
Мельхиоровые сплавы	Сплав ТП	МН0,6	1,0—2,0	2,5—5,0	4,0—8,0	—	—	—	—
	Манганин	МНМц3-12	1,0—2,0	2,5—5,0	4,0—8,0	1,0—2,0	2,5—5,0	—	—
	Сплав ТБ	МН16	1,0—2,0	2,5—5,0	4,0—8,0	—	—	—	—
	Мельхиор	МН19	1,0—2,0	2,5—5,0	4,0—8,0	1,0—2,0	2,5—5,0	0,3—0,6	0,3—0,6
	Нейзильбер	МНЦ15-20	1,0—2,0	2,5—5,0	4,0—8,0	1,0—2,0	2,5—5,0	0,3—0,6	0,3—0,6
	Константан	МНМц40-1,5	1,0—2,0	2,5—5,0	4,0—8,0	1,0—2,0	2,5—5,0	—	—
	Копель	МНМц43-0,5	1,0—2,0	2,5—5,0	4,0—8,0	—	—	—	—

Продолжение табл. 20

Наименование металла или группы сплавов	Наименование металла или сплава	Марка сплава	Скорости (*м/сек*) при прокатке						
			катанки			мелкосортной заготовки		среднесортной заготовки на клетях с $D_{нар}$ =600—400 *мм*	прутков на клетях с $D_{нар}$ =450—400 *мм*
			на обжимных клетях с $D_{нар}$ =450—400 *мм*	на промежуточных клетях с $D_{нар}$ =350—300 *мм*	на отделочных клетях с $D_{нар}$ =310—240 *мм*	на обжимных клетях с $D_{нар}$ =450—400 *мм*	на отделочных клетях с $D_{нар}$ =350—300 *мм*		
Никель	Никель	Н1	1,0—2,0	3,0—6,0	5,0—10,0	1,0—2,0	3,0—6,0	0,3—0,6	0,3—0,6
Никелевые сплавы	Никель кремнистый . .	НК0,2	1,0—2,0	2,5—5,0	4,0—8,0	—	—	—	—
	Никель марганцевый . .	НМц2,5	1,0—2,0	2,5—5,0	4,0—8,0	—	—	—	—
	Никель марганцевый . .	НМц5	1,0—2,0	2,5—5,0	4,0—8,0	—	—	—	—
	Алюмель	НМцАК2-2-1	1,0—2,0	2,5—5,0	4,0—8,0	—	—	—	—
	Хромель 1	НХ9,5	1,0—2,0	2,0—4,0	3,0—6,0	1,0—2,0	2,0—4,0	0,2—0,4	0,2—0,4
	Нихром	Х20Н80	1,0—2,0	2,0—4,0	3,0—6,0	1,0—2,0	2,0—4,0	0,2—0,4	0,2—0,4
	Монель-металл	НМЖМц28-2,5-1,5	1,0—2,0	2,5—5,0	4,0—8,0	1,5—2,0	2,0—4,0	0,3—0,6	0,3—0,6
	Ферронихром	Х15Н60	1,0—2,0	2,0—4,0	3,0—6,0	1,0—2,0	2,0—4,0	0,2—0,4	0,2—0,4
Алюминий	Алюминий	А1	1,0—2,0	3,0—6,0	6,0—20,0	1,5—2,0	3,0—5,0	0,3—0,6	0,3—0,6
Алюминиевые сплавы	Алдрей	Ад	1,0—2,0	2,5—5,0	3,5—7,0	1,5—2,0	3,0—5,0	—	—
	АМц	АМц	1,0—2,0	2,5—5,0	3,5—7,0	1,5—2,0	3,0—5,0	0,3—0,6	0,3—0,6
	Альмаг	АМг	1,0—2,0	2,2—4,5	3,2—6,5	—	—	—	—
	Дуралюмин	Д18П	1,0—2,0	2,0—4,0	3,0—6,0	—	—	—	—
	Дуралюмин	Д3П	1,0—2,0	2,0—4,0	3,0—6,0	—	—	—	—
	Дуралюмин	Д1П	1,0—2,0	2,0—4,0	3,0—6,0	—	—	—	—
	Дуралюмин	Д16	1,0—2,0	2,0—4,0	3,0—6,0	—	—	—	—
Титан	Титан	ВТ1	0,5—1,0	1,0—2,0	1,5—3,0	0,5—1,0	—	—	—
Цинк	Цинк	Ц1	0,5—1,0	1,0—2,0	1,5—3,0	0,5—1,0	1,0—2,0	—	—

Таблица 21

Примерный расчет длины петель и карманов

№ прохода	Форма калибра	Размеры полосы *мм*	v_{n-1}, *м/сек*	v'_n, *м/сек*	S_{n-1}, *мм²*	$L_{n-1} = \frac{9561}{S_{n-1}}$, *м*	$T_{n-1} = \frac{L_{n-1}}{v_{n-1}}$, *сек*	t_n, сек	$T_{n-1} = t_n$, *сек*	$v_{n-1} - v'_n$, *м/сек*	$L_x = (T_{n-1} - t_n)(v_{n-1} - v'_n)$, *м*	v_{n-1} *n*, *м*	Длина петли $L' = L_x + v_{n-1}$ *n* t_n, *м*	Длина кармана: расчетная $L_k = 0{,}5\,L'$, *м*	Длина кармана: фактическая L_k, *м*
0	Трапеция	92×88/98	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	Прямоугольник	50/54×92/108	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	Прямоугольник	50×54/66	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	Шестигранный овал	19×40/80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	Квадрат	25,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	Овал	12×45	2,52	1,56	670,8	14,27	5,66	2	3,66	0,96	3,51	5,04	8,55	4,28	—
6	Квадрат	16,3	2,62	2,61	400,1	23,85	9,12	—	—	—	—	—	—	—	—
7	Овал	8×30	3,94	2,87	265,7	36,10	9,17	1	8,17	1,07	8,74	3,94	12,68	6,34	14,8
8	Квадрат	11,6	4,14	3,09	184,5	51,85	12,51	3	9,51	1,05	9,99	12,42	22,41	11,21	15,7
9	Овал	5,8×23	4,24	3,25	134,6	71,15	16,80	1	15,80	0,99	15,64	4,24	19,88	9,94	18,8
10	Квадрат	8,7	4,39	3,51	99,7	96,00	21,87	3	18,87	0,88	16,61	13,17	29,78	14,89	19,0
11	Овал	5,0×17	4,63	3,87	75,7	126,20	27,25	1	26,25	0,76	19,93	4,63	24,56	12,28	22,7
12	Квадрат	7,2	4,80	4,29	61,3	156,00	32,55	3	29,55	0,51	15,07	14,40	29,47	14,74	24,8
13	Овал	5,5×11	5,06	4,53	51,8	184,70	36,48	1	35,48	0,53	18,80	5,06	23,86	11,93	28,7
14	Круг	7,2	5,21	4,89	44,8	213,50	40,95	3	37,95	0,32	12,14	15,63	27,77	13,89	30,8

3. Определение длины петель и карманов

Расчет длины петель между двумя соседними клетями с калибрами n—1 и n при петлевой прокатке производится по формуле

$$L'_n = v_{n-1}\, t_n + (T_{n-1} - t_n) \times \times (v_{n-1} - v'_n),$$

где L'_n — длина петли сечением S_{n-1} в момент выхода заднего конца полосы из предыдущей клети с калибром n—1, *м*;

v_{n-1} — выходная скорость на предыдущей клети с калибром n—1, *м/сек*;

v'_n — скорость полосы сечением S_{n-1} при входе в калибр n, *м/сек*;

T_{n-1} — время прохождения полосы через предыдущий калибр n—1, сек;

t_n — время, потребное для прохождения переднего конца полосы сечением S_{n-1} от предыдущей клети с калибром n—1 до последующей клети с калибром n (т. е. до момента задачи конца полосы в последующий калибр n), сек; при автоматической задаче по обводкам принимаем

$$t_n = \frac{\text{Длина обводки, } м}{\text{Выходная скорость, } м/сек} \approx 1{,}0 \text{ сек}$$

при ручной задаче полос петельщиками принимаем

$$t_n = 2 \div 3 \text{ сек.}$$

Длина кармана должна быть больше половины максимальной длины петли.

Примерный расчет длины петель и карманов для приведенного в табл. 9 примерного расчета калибровки представлен в табл. 21.

4. Методы построения графика рабочего времени

Для построения графика рабочего времени по Адамецкому должны быть определены следующие элементы.

Время прохождения каждого профиля через соответствующий калибр

$$T_n = \frac{L_n}{v_n} \text{ сек.},$$

где L_n — длина полосы, *м*;

v_n — выходная скорость, *м/сек*.

Таблица 22

Примерный расчет элементов графика рабочего времени по Адамецкому для прокатки катанки диаметром 7,2 *мм*

№ прохода	Форма калибра	Размеры полосы, *мм*	Сечение полосы S_n, *мм*^{2}	Длина полосы $L_n = \frac{9561}{S_n}$, *м*	Выходная скорость v_n, *м/сек*	Машинное время T_n, сек.	Время пауз t_n, сек.	Время от начала графика: до момента задачи в калибр n сек.	Время от начала графика: до момента выхода из калибра n, сек.
0	Трапеция	92×88/98	8461,0	—	—	—	—	—	—
1	Прямоугольник	50/54×92/108	5007,4	1,91	2,36	0,81	—	0,00	0,81
2	Прямоугольник	50×54/66	2642,0	3,62	2,34	1,55	3,50	4,31	5,86
3	Шестигранный овал	19×40/80	1309,0	7,32	2,56	2,86	3,50	9,36	12,22
4	Квадрат	25,9	670,8	14,27	2,52	5,66	3,50	15,72	21,38
5	Овал	19×45	400,1	23,85	2,62	9,12	2,00	17,72	26,84
6	Квадрат	16,3	265,7	36,10	3,94	9,17	8,00	25,72	34,89
7	Овал	8×30	184,5	51,85	4,14	12,51	1,00	26,72	39,23
8	Квадрат	11,6	134,6	71,15	4,24	16,80	3,00	29,72	46,52
9	Овал	5,8×23	99,7	96,00	4,39	21,87	1,00	30,72	52,59
10	Квадрат	8,7	75,7	126,20	4,63	27,25	3,00	33,72	59,97
11	Овал	5,0×17	61,3	156,00	4,80	32,55	1,00	34,72	67,27
12	Квадрат	7,2	51,8	184,70	5,06	36,48	3,00	37,72	74,20
13	Овал	5,5×11	44,8	213,50	5,21	40,95	1,00	38,72	79,67
14	Круг	7,2	40,7	235,00	5,38	43,70	3,00	41,72	85,42

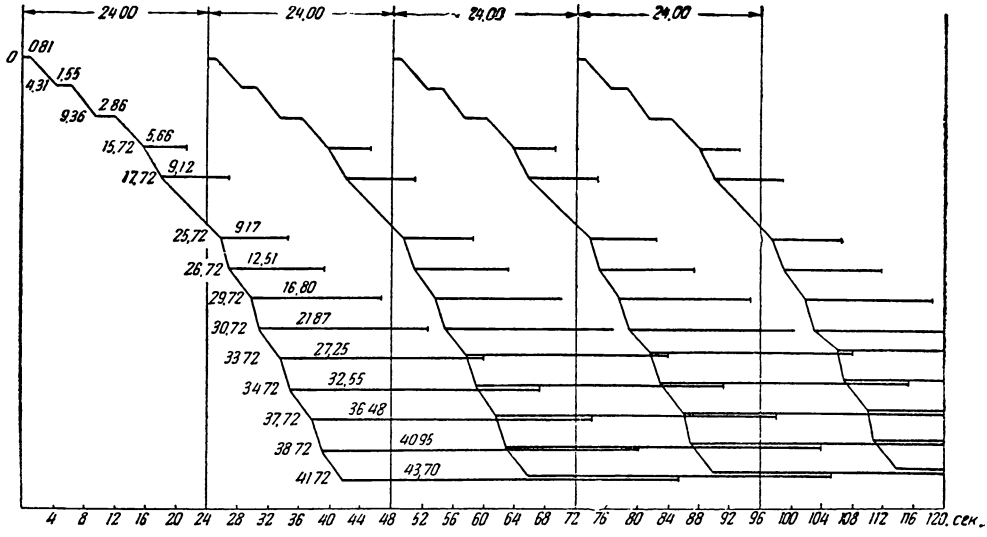


Рис. 57. Построение графика Адамецкого для прокатки катанки диаметром 7,2 *мм*

Время пауз $t_п$, т. е время, затрачиваемое на операции по задаче полосы в последующий калибр в секундах.

При задаче полосы в последующий калибр без образования петли $t_п$ принимают равным периоду между концом прокатки в предыдущем калибре и началом прокатки в последующем. При задаче полосы в последующий калибр передним концом с образованием петли $t_п$ принимают равным периоду между началом прокатки переднего конца в предыдущем калибре и началом прокатки того же переднего конца в последующем калибре.

Примерный расчет величин $T_п$ и $t_п$ для построения графика Адамецкого приведен в табл. 22. Построение графика Адамецкого, соответствующего табл. 22, представлено на рис. 57. График наглядно показывает протекание процесса прокатки во времени и позволяет легко выявить узкие места и принять меры к их устранению.

5. Определение мощности двигателя для нескольких проходов при отсутствии маховика

Сначала нужно построить график рабочего времени для всех проходов, а затем для каждого прохода определить необхо-

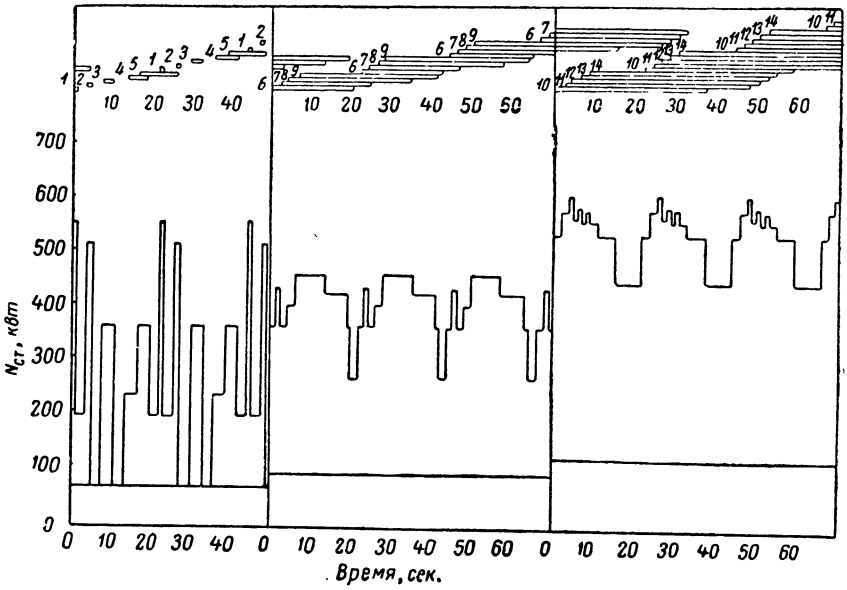


Рис. 58. Пример фактической загрузки трех двигателей при прокатке меди на проволочном стане К тип 0-5

димую мощность $N_{ст}$. При одновременной прокатке в нескольких калибрах определяют суммарную мощность. Рассчитанные мощности следует нанести на график в системе координат, где осью ординат служит величина $N_{ст}$ (*квт*), а осью абсцисс — время (**сек.**).

Пример фактической загрузки трех двигателей при прокатке на стане К приведен на рис. 58; схема стана приведена на рис. 71.

Мощность двигателя устанавливают по максимальному значению величины $N_{ст}$ для отдельных проходов; при этом следует учитывать, что двигатель может работать с длительной перегрузкой в 50% и что длительная недогрузка нежелательна.

6. Определение мощности двигателя для нескольких проходов при наличии маховика

Сначала следует построить график статической нагрузки двигателя в зависимости от графика рабочего времени стана, затем изготовить шаблон способом, аналогичным описанному выше (см. рис. 26).

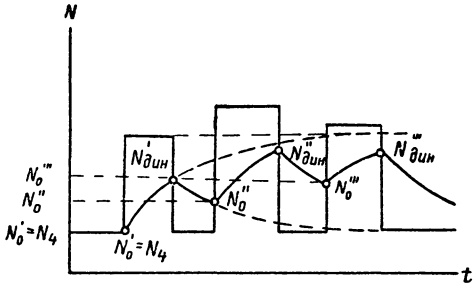


Рис. 59 Пример графического определения мощности двигателя для нескольких проходов при наличии маховика

За величину $N_{ст}$ принимают максимальное значение мощности по графику статической нагрузки двигателя. Далее на график с помощью шаблона нужно нанести кривые динамической нагрузки двигателя во время проходов и разгрузки двигателя в период пауз. Начальную мощность N_0' для первого прохода принимают равной мощности холостого хода, *квт*:

$$N_0' = N_4.$$

Для остальных проходов величины N_0'', N_0''' и т. д. определяют построением (рис. 59) как точки пересечения кривых динамической разгрузки двигателя в период пауз после предыдущих проходов с вертикальными прямыми статической нагрузки двигателя в период последующих проходов.

Мощность двигателя устанавливают по максимальному значению из величин $N'_{дин}$, $N''_{дин}$, $N'''_{дин}$ и т. д. для отдельных проходов.

7. Схемы калибровки для прокатки катанки, мелкосортного и среднесортного подкатов

На проволочнопрокатных станах приходится, кроме круглой катанки, являющейся основной продукцией, прокатывать круглый и прямоугольный мелкосортный и среднесортный подкат. При малой программе выпуска такого подката нецелесообразно устанавливать специальные станы или производить перевалку всех валков стана. Поэтому схемой калибровки должна быть предусмотрена возможность получения дополнительных профилей из промежуточных профилей основной калибровки для катанки. Пример такой комбинированной схемы калибровки для медной катанки и мелкосортного подката приведен на рис. 60.

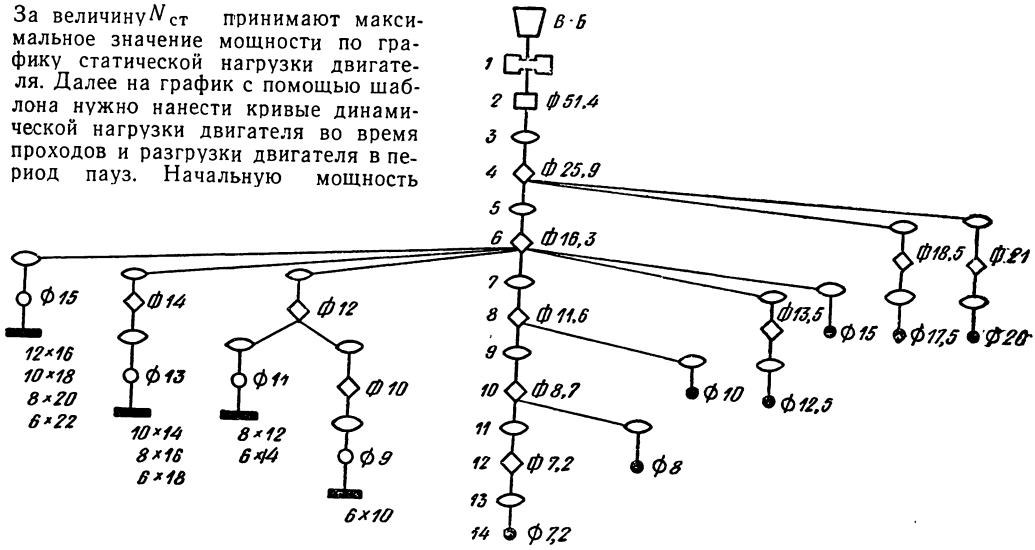


Рис. 60. Схема калибровки для прокатки медной катанки и мелкосортного подката

Таблица 23

Схема калибровки для прокатки круглой проволочной и мелкосортной заготовки

Линии		Форма калибра	Номинальные размеры калибра, *мм*	Калибровка для круглой заготовки диаметром, *мм*													
				7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Обжимная (дополнительные клети)		Ромб	110	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
			100	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
			85	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
			75	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
			65	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
			58	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
			50	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
			45	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
			41	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
			35	×	×	×	×	×	×	×	×	×	—	—	×	×	×
			33	×	×	×	×	×	×	×	×	×	—	—	×	×	×
Промежуточная		Квадрат	32	×	×	×	32,5	×	33,2	×	×	33	34,5	35	×	×	×
		Овал	18,5×50	×	×	×	19×50	×	19,7××50	×	×	19,5××50	21×49	21,5××49	×	×	×
		Квадрат	22	×	×	×	22,5	×	23,2	×	×	23	24,5	25	×	×	×
		Овал	11,5×34	×	×	×	12×34	×	12,7××33	×	×	12,5××32	14×32	14,6××32	—	—	—
		Квадрат	15,3	×	×	×	15,8	×	16,5	×	×	16,3	17,3	18,3	—	—	—
		Овал	8,5×29	×	×	×	9×29	×	9,7××23	—	—	—	—	—	—	—	—
		Квадрат	11,5	×	×	×	12,0	×	12,7	—	—	—	—	—	—	—	—
Отделочная	Клеть 1	Овал	6×19	×	×	7×19	8×17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Клеть 2	Квадрат	10	—	—	—	×	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			9	×	×	×	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 23

Линии	Форма калибра	Номинальные размеры калибра, *мм*	Калибровка для круглой заготовки диаметром, *мм*													
			7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Клеть 3	Овал	16×30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	×	17,2× ×30	18×30
		12×20	—	—	—	—	—	—	12,7× ×19	×	—	14×20	—	—	—	—
		10×17	—	—	—	—	—	×	—	—	—	—	—	—	—	—
		6,8×15,5	—	—	6,8× ×15	7,8× ×15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		5×15,5	5×14	5,2×15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Клеть 4	Круг	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19,5	—	20×
	«	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16×	—	—	—	—
	«	14	—	—	—	—	—	—	14,7	14×	—	—	—	—	—	—
	«	12	—	—	—	—	—	12×	—	—	—	—	—	—	—	—
	»	10	—	—	—	10×	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Квадрат	7,3	7,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Клеть 5	Овал	16×30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16×25	—	—
		12×22	—	—	—	—	—	—	—	—	13×20	—	15×22	—	—	—
		10×17	—	—	—	—	8,3× ×15	—	11×17	—	—	—	—	—	—	—
		4,7×11,5	4,5×11,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Клеть 6	Круг	19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19×	—
		18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18×	—	—
		17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17×	—	—	—
		15	—	—	—	—	—	—	—	—	15×	—	—	—	—	—
		13	—	—	—	—	—	—	13×	—	—	—	—	—	—	—
		11	—	—	—	—	11×	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		9	—	—	9×	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		8	—	8×	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		7	7×	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

При относительно большой программе выпуска мелкосортного или среднесортного подката, а также при прокатке на стане большого количества сплавов с разными пластическими свойствами, целесообразно установить на обжимной и промежуточной линиях дополнительно от 1 до 5 клетей. На валках дополнительных клетей вытачивают особую калибровку со значительно меньшими обжатиями, чем у основной калибровки для катанки. Дополнительная калибровка должна обеспечить возможность получения как точных мелкосортных или среднесортных профилей при прокатке основных хорошо деформирующихся сплавов, так и нормальной катанки из малопластичных сплавов, прокатка которых по основной калибровке невозможна.

В табл. 23 приведена такая дополнительная калибровка, позволяющая прокатывать точную круглую заготовку диаметром от 7 до 20 *мм*. Для калибровки валков на дополнительных клетях обжимной линии принята система ромбических калибров. Комбинированием дополнительной калибровки обжимной линии с дополнительно выточенными калибрами на клетях отделочной линии можно осуществлять прокатку малопластичных сплавов до диаметра 7 *мм* в 24 прохода вместо 14—16 проходов для пластичных сплавов, прокатываемых по основной калибровке.

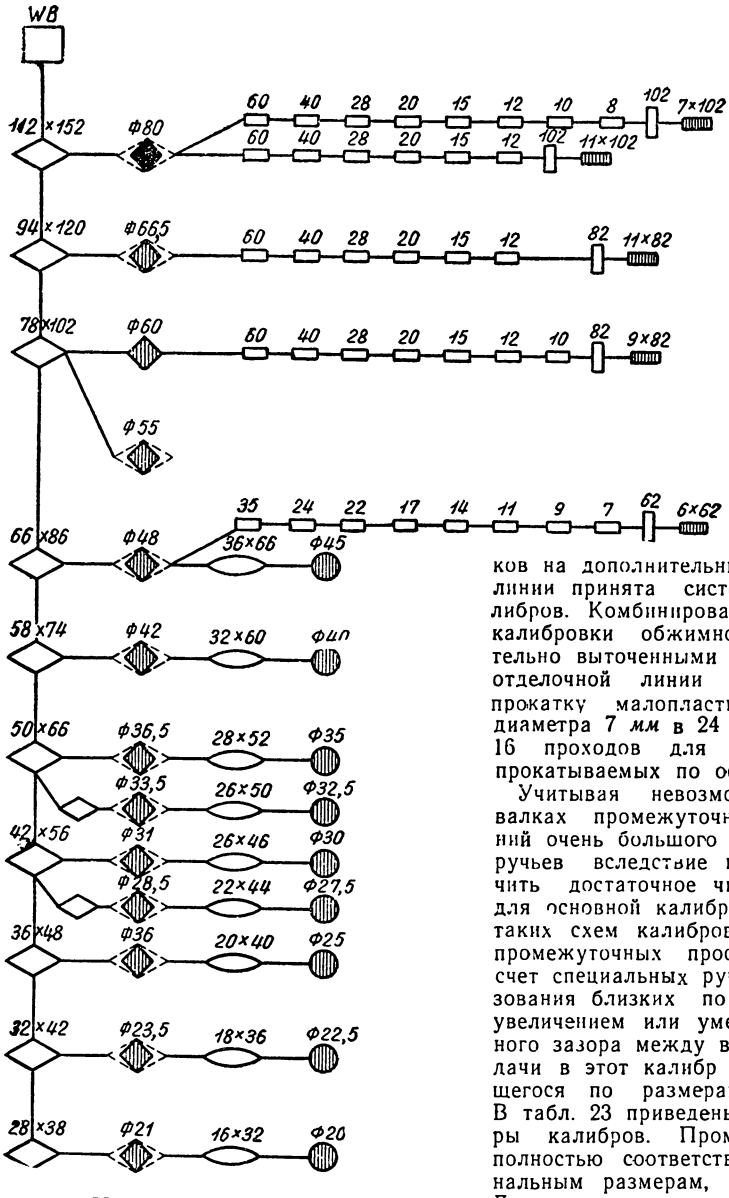


Рис 61 Схема калибровки для прокатки среднесортного квадратного подката с размером стороны сечения 21 ÷ 80. круглого диам 20÷÷45 и прямоугольного с сечением 6×12 до 11×102

Учитывая невозможность выточки на валках промежуточной и отделочной линий очень большого числа дополнительных ручьев вследствие необходимости обеспечить достаточное число запасных ручьев для основной калибровки, при составлении таких схем калибровок приходится часть промежуточных профилей получать не за счет специальных ручьев, а путем использования близких по размеру калибров с увеличением или уменьшением номинального зазора между валками или путем задачи в этот калибр профиля, отклоняющегося по размерам от номинального. В табл. 23 приведены номинальные размеры калибров. Промежуточные проходы, полностью соответствующие этим номинальным размерам, отмечены знаком «х». Для промежуточных проходов, отклоняющихся от номинальных вследствие измененных зазоров или размеров задаваемых профилей, вместо знака «х» приведены расчетные размеры профилей, которые предполагается получить из этих калибров.

На рис. 61 приведена примерная схема калибровки для прокатки среднесортного

квадратного подката со стороной квадрата 21—80, круглого диам. 20—45 и прямоугольного сечением от 6 × 62 до 11 × 102.

§ 4. ПРОВОЛОЧНОПРОКАТНЫЕ СТАНЫ

Классификация проволочнопрокатных станов приведена в табл. 24.

Таблица 24

Классификация проволочнопрокатных станов

Виды станов	Способ задачи овалов на отделочной линии	Тип	Характеристика отделочной линии
Петлевые станы	Петлевой ручной	О-10	10 переменных двухвалковых клетей
		О-9	9 » » »
		О-8	8 » » »
		О-7	7 » » »
		О-6	6 » » »
		О-5	5 « » »
		О-4	4 « » »
Полунепрерывные станы	Петлевой механизированный	ПН-Г	Горизонтальноосные двухвалковые клети, расположенные непрерывными парами с петлями между каждыми двумя парами
	Непрерывный механизированный	ПН-ГВ	Чередующиеся горизонтальноосные и вертикальноосные непрерывно расположенные двухвалковые клети
Непрерывные станы	Непрерывный механизированный	Н-Г	Горизонтальноосные непрерывные двухвалковые клети
		Н-ГВ	Чередующиеся горизонтальноосные и вертикальноосные непрерывно расположенные двухвалковые клети
Комбинированные прокатно-волочильные станы	Задача овалов на отделочной линии не нужна	—	Отделочная линия отсутствует — заменена тяжелыми волочильными машинами

1. Петлевые станы для прокатки цветных металлов с ручной задачей овалов на отделочной линии

Проволочнопрокатный стан А типа 0-10, схема которого показана на рис. 62, состоит из трех линий:

обжимная линия — 2 трехвалковые клети для прокатки проволоки;

промежуточная линия — 1 трехвалковая клеть;

отделочная линия — 10 переменных двухвалковых клетей.

Общее число проходов при прокатке меди: (5 + 2) + 2 + 10 = 19.

Проволочный стан Б типа 0-9 для прокатки меди, схема которого показана на рис. 63, состоит из двух линий:

обжимная линия — 1 четырехвалковая клеть доппель — дво;

отделочная линия — 9 переменных двухвалковых клетей; 1-я клеть этой линии для прокатки более жестких сплавов смонтирована в виде трехвалковой клети.

Общее число проходов при прокатке меди: 5 + 9 = 14; для других сплавов 16 ÷ ÷ 20.

Проволочный стан В типа 0-9 (рис. 64) состоит из двух линий:

обжимная линия — 2 трехвалковые клети для прокатки проволоки и 1 трехвалковая клеть для среднесортного подката;

отделочная линия — 1 трехвалковая клеть и 8 переменных двухвалковых клетей.

Общее число проходов при прокатке меди: 5 + 9 = 14.

Проволочнопрокатный стан Г типа 0-8 (рис. 65) состоит из двух линий:

обжимная линия — 1 трехвалковая клеть;

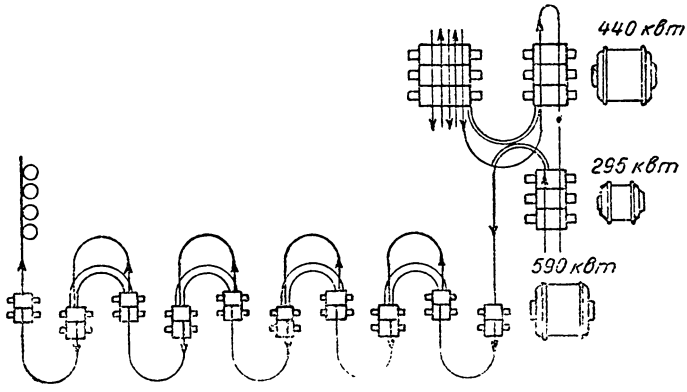


Рис. 62 Схема проволочнопрокатного стана А типа 0-10

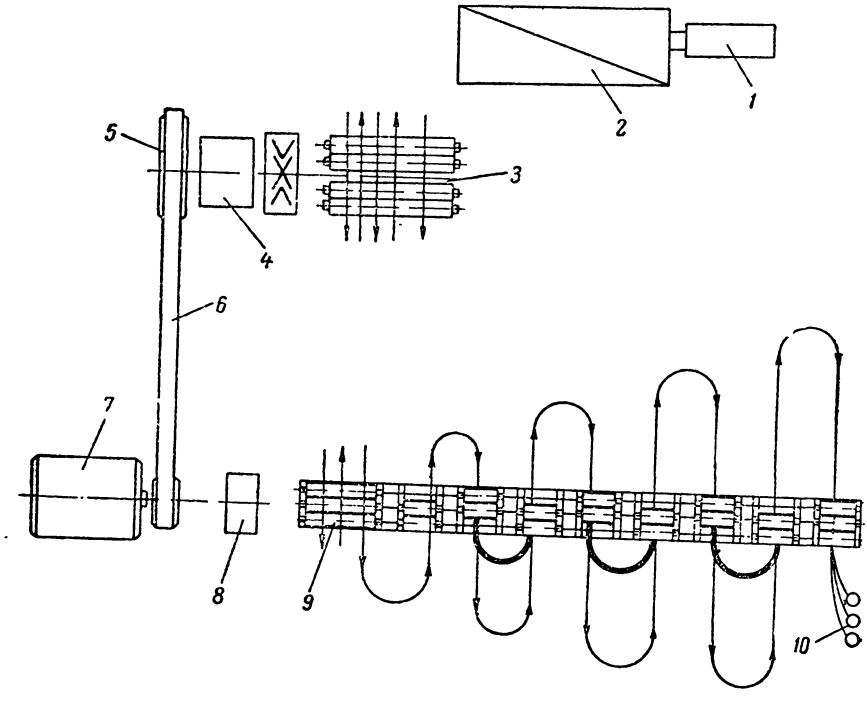


Рис. 63. Схема проволочного стана Б типа 0-9 для прокатки меди:
1 — толкатель; *2* — методическая печь; *3* — обжимная двойная двухвалковая клеть; *4* — редуктор; *5* — маховик; *6* — ременная передача; *7* — двигатель; *8* — шестеренная клеть; *9* — трехвалковая клеть; *10* — моталки

отделочная линия — 1 двухвалковая клеть + 1 трехвалковая клеть + 6 переменных двухвалковых клетей.

Общее число проходов при прокатке меди. (5 + 1) + 2 + 6 = 14.

Проволочный стан Д типа 0-8 для прокатки меди (рис. 66) состоит из трех линий:

обжимная линия — 1 трехвалковая клеть;

промежуточная линия — 1 двухвалковая клеть;

отделочная линия — 8 переменных двухвалковых клетей.

Общее число проходов при прокатке меди: 5 + 1 + 8 = 14.

Проволочный стан Е типа 0-8 для прокатки меди (рис. 67) состоит из трех линий:

обжимная линия — 2 трехвалковые клети;

промежуточная линия — 3 переменные двухвалковые клети для проволочной про-

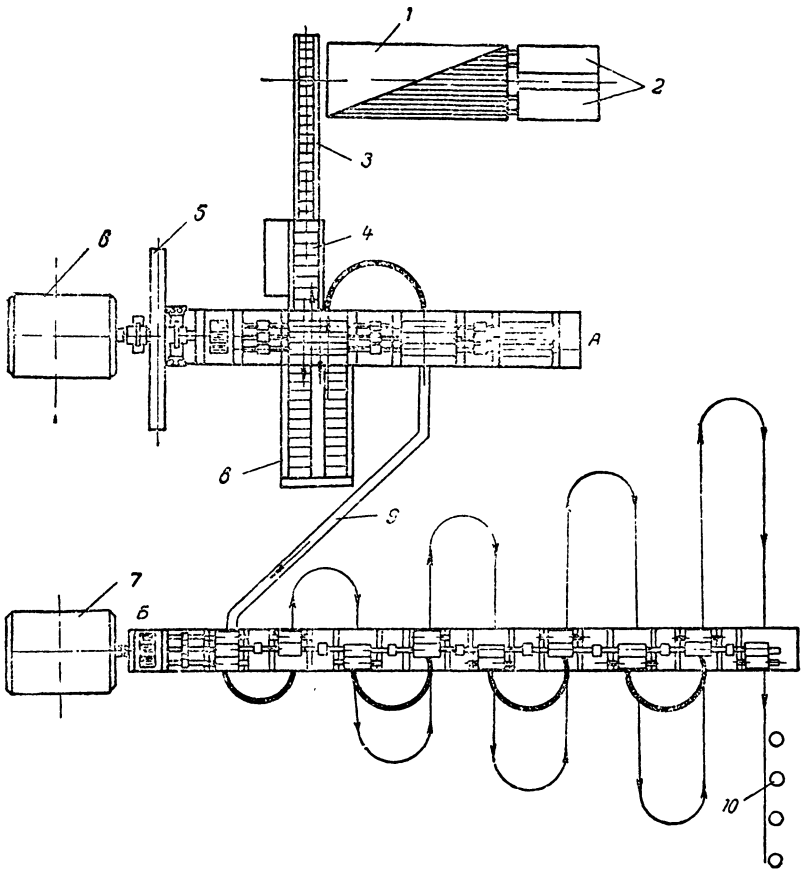


Рис. 64. Схема проволочного стана В типа 0-9:
А — обжимная линия; *Б* — отделочная линия; *1* — двухрядная методическая печь; *2* — толкатели; *3* — подводящий рольганг; *4* — подъемно-качающийся стол; *5* — маховик; *6*—двигатель, (450 *квт*, 122 об/мин); *7*—то же (736 *квт*, 428 об/мин); *8*—рабочий рольганг; *9* — кантующий желоб; *10* — моталки

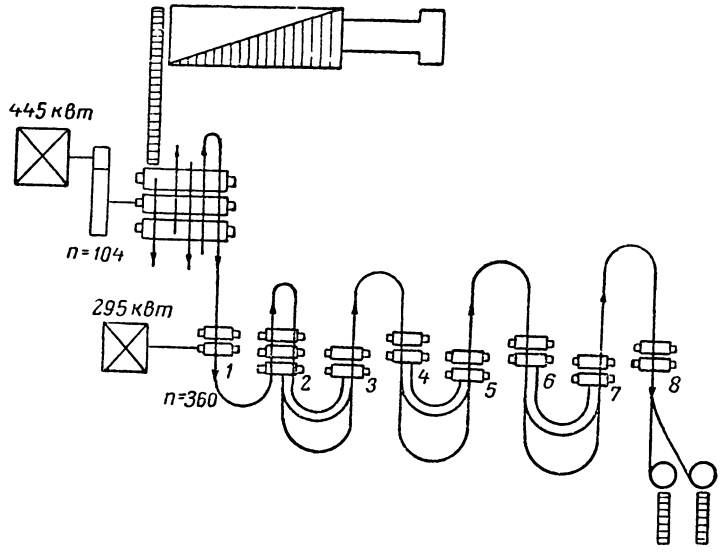


Рис. 65 Схема проволочнопрокатного стана Г тип 0-8

катки и 5 переменных двухвалковых клетей для мелкосортного подката;

отделочная линия — 8 переменных двухвалковых клетей.

Общее число проходов при прокатке меди: (4 + 1) + 3 + 8 = 16.

ки и 2 четырехвалковые клети доппель-дуо для среднесортного подката;

промежуточная линия — 4 переменные двухвалковые клети для проволочной прокатки и 1 дополнительная двухвалковая клеть для мелкосортного подката;

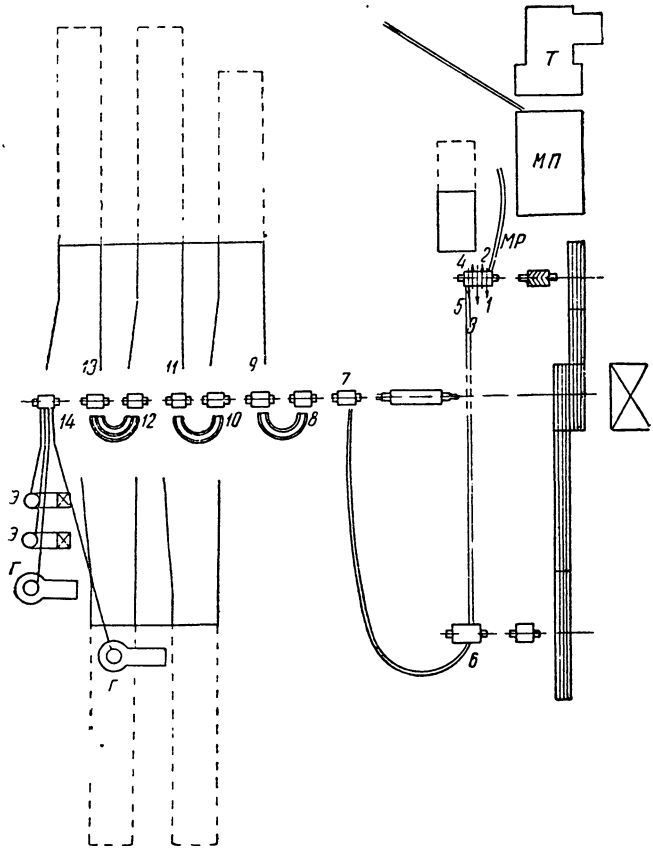


Рис. 66. Схема проволочного стана Д типа 0-8 для прокатки меди:
Т — толкатель; *МП* — методическая печь; *МР* — монорельс от методической печи к обжимной клети; *Э* — моталка Эденборна; *Г* — моталка Гаррета

Проволочнопрокатный стан Ж типа 0-7 (рис. 68) состоит из двух линий:

обжимная линия — 2 трехвалковые клети;

отделочная линия — 7 переменных двухвалковых клетей.

Общее число проходов при прокатке меди: (7 + 2) + 7 = 16.

Проволочнопрокатный стан З типа 0-6 для прокатки меди (рис. 69) состоит из трех линий:

обжимная линия — 1 трехвалковая клеть и 1 двухвалковая клеть;

промежуточная линия — 5 переменных двухвалковых клетей;

отделочная линия — 6 переменных двухвалковых клетей.

Общее число проходов при прокатке меди: (4 + 1) + 5 + 6 = 16.

Проволочнопрокатный стан И типа 0-5 (рис. 70) состоит из трех линий:

обжимная линия — 1 четырехвалковая клеть доппель-дуо для проволочной прокатки и 2 четырехвалковые клети доппель-дуо для среднесортного подката;

промежуточная линия — 4 переменные двухвалковые клети для проволочной прокатки и 1 дополнительная двухвалковая клеть для мелкосортного подката;

отделочная линия — 5 переменных двухвалковых клетей.

Общее число проходов при прокатке меди: 5 + 4 + 5 = 14.

Проволочный стан К типа 0-5 для прокатки меди (рис. 71) состоит из трех линий:

обжимная линия — 1 трехвалковая клеть;

промежуточная линия — 4 переменные двухвалковые клети;

отделочная линия — 5 переменных двухвалковых клетей.

Общее число проходов при прокатке меди: 5 + 4 + 5 = 14.

Проволочный стан М типа О-4 (рис. 72) состоит из трех линий:

обжимная линия — 2 трехвалковые клети для прокатки проволоки и 3 трехвалковые клети для среднесортного подката;

промежуточная линия — 7 переменных двухвалковых клетей;

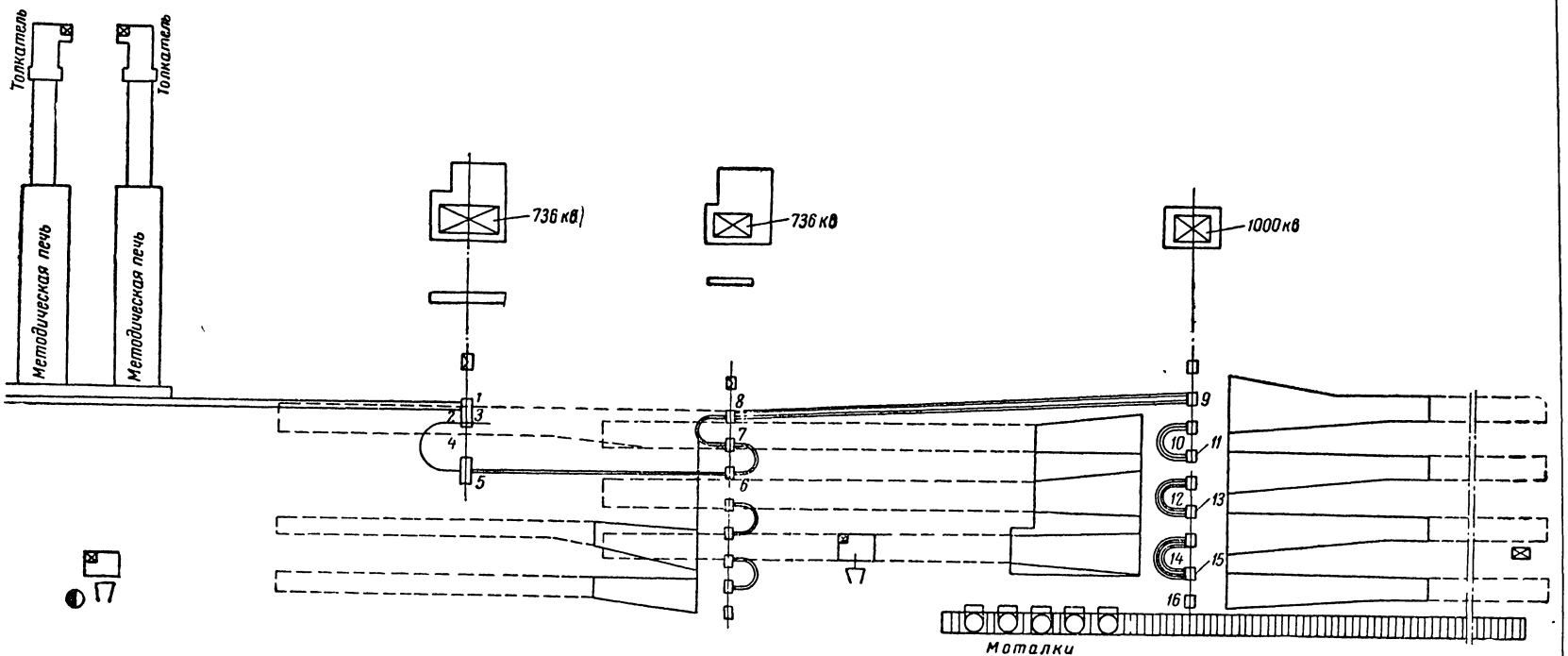


Рис. 67. Схема проволочного стана Е типа 0-8 для прокатки меди

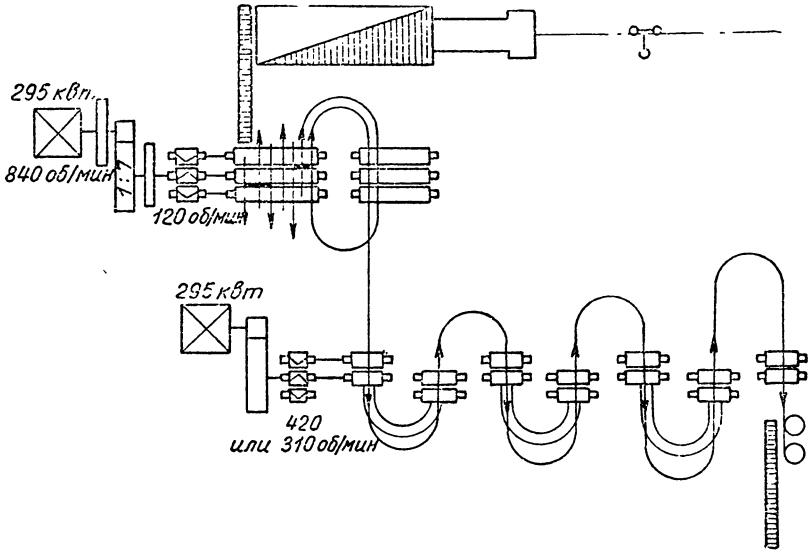


Рис 68 Схема проволочнопрокатного стана Ж типа О-7

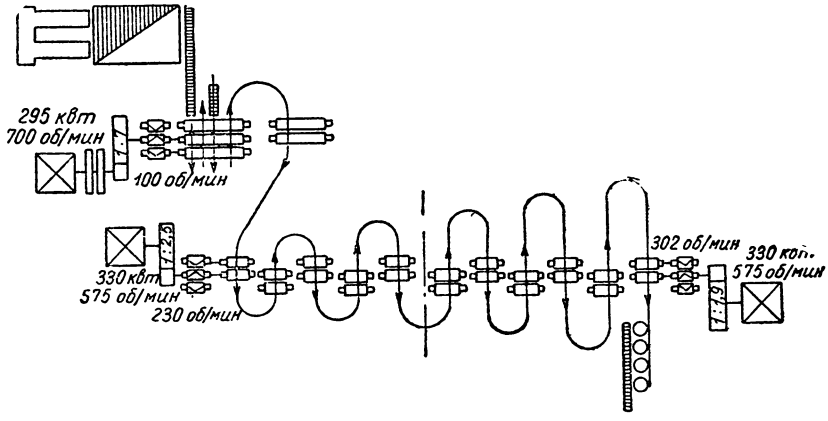


Рис. 69. Схема проволочнопрокатного стана 3 типа О-6 для прокатки меди

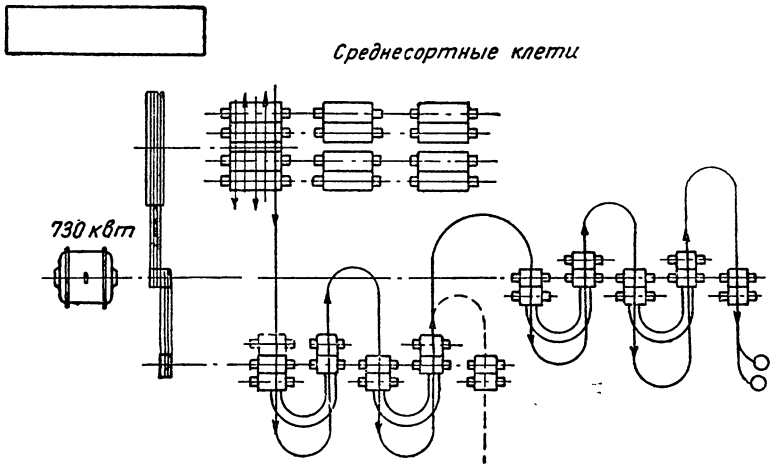


Рис. 70. Схема проволочнопрокатного стана И типа О-5

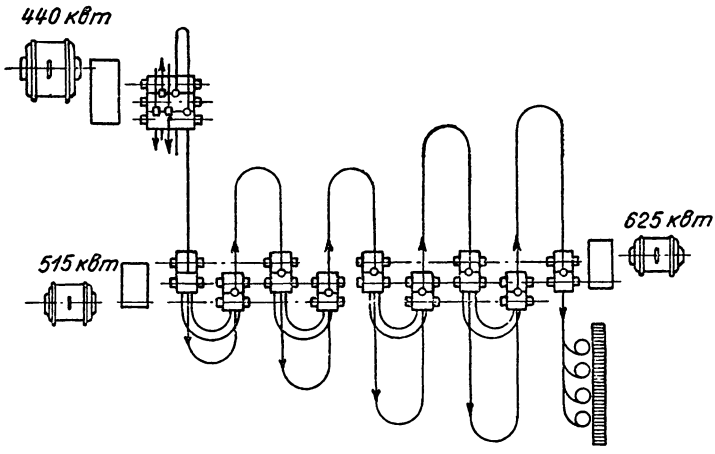


Рис 71 Схема проволочного стана К типа О-5 для прокатки меди

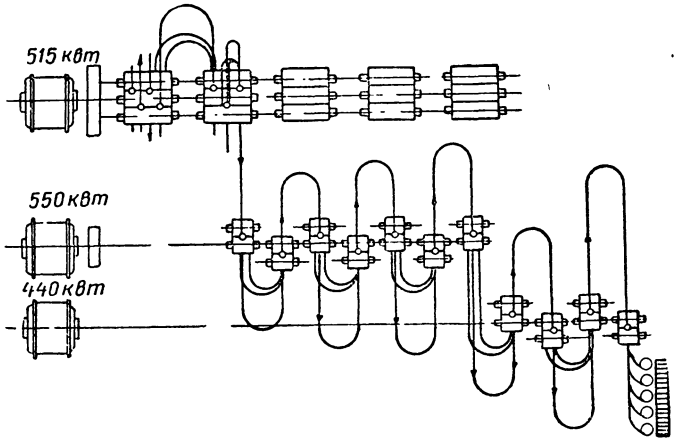


Рис. 72. Схема проволочного стана М типа О-4

отделочная линия — 4 переменные двухвалковые клети.

Общее число проходов при прокатке меди: $(4 + 3) + 7 + 4 = 18$.

Технические параметры проволочнопрокатных станов для цветных металлов приведены в табл. 25; производственные характеристики проволочнопрокатных станов для цветных металлов даны в табл. 26.

Максимальная выходная скорость у петлевых станов с ручной задачей ограничена тем, что вальцовщик-петельщик должен успеть поймать конец, выходящий с максимальной скоростью, согнуть его в горячем состоянии, обрубить конец и задать в следующий калибр. Наиболее опытные петельщики могут выполнять эту операцию при выходной скорости не более 8 *м/сек* (что при диаметре валков 250 *мм* соответствует 600 оборотам валков в минуту). При работе с такой скоростью валков на отделочных клетях требуется применение труда высококвалифицированных вальцовщиков-петельщиков.

Производительность петлевых станов с ручной задачей зависит от числа последовательных задач, которые в состоянии осуществить вальцовщики-петельщики. Наиболее опытные вальцовщики могут производить эту операцию не чаще, чем через 12 сек., что соответствует 5 полосам в минуту, или 300 полосам в час. Таким образом, максимальная теоретическая производительность петлевых станов при весе бухты 85 *кг* ограничивается 25 *т/час*.

Технические параметры проволочно

Показатели	Условное обоз					
	А О-10	Б О-9	В О-9	Г О-8	Д О-8	Е О-8
						Обжимная
Система	Трио[1]	Доппель-дуо[2]	Трио			
Количество клетей	2+2	1	2+1	1	1	2
Диаметр бочки валков, *мм*	—	420	430—480	480	400	450
Число оборотов в минуту	120	110	122	104	95	120
Мощность электродвигателя *квт*	440	—	450	445	—	736
						Промежуточ
Система	Трио	—	—	—	Трио	Переменное дуо[3]
Количество клетей	1	—	—	—	1	3
Диаметр бочки валков, *мм*	—	—	—	—	360	250—280
Число оборотов в минуту	330	—	—	—	170	320
Мощность электродвигателя *квт*	295	—	—	—	—	736
						Отделочная
Система	Переменное дуо	1 трио 8 переменных дуо	Переменное дуо	1, дуо, 1 трио, 6 переменных дуо		Пере
Количество клетей	10	1+8	9	8	8	7
Диаметр бочки валков, *мм*	—	240—280	240—300	—	240—280	250—290
Число оборотов в минуту	490	420	428	350	365	490
Мощность электродвигателя *квт*	590	—	736	295	—	1000
Мощность общего электродвигателя стана или суммарная мощность индивидуальных электродвигателей отдельных линий, *квт*	1325	550	1186	740	625	2472
						Мотал
Количество	4	3	5	2	2+2	5
Система	Осевые		Тангенциальные наполь-ные	Тангенциальные подполь-ные	Осевые + тангенциальные наполь-ные	Танген на

Примечание. Станы Б, В, Г промежуточных линий не имеют.

[1] Трехвалковая клеть.
[2] Четырехвалковая клеть доппель-дуо.
[3] Двухвалковая клеть.

Таблица 25

прокатных станов для цветных металлов

начение и тип стана						
Ж О-7	З О-6	И О-5	К О-5	Л О-5	М О-4	Н П-Н
линия						
Трио	Трио, дуо	Доппель-дуо	Трио	Трио, дуо	Трио	
2	1+1	1	1	1+1	2	1
425	480	415	520	440/430 440/435	450—425	500
120	100	125	150	110 110	125	125
295	295	—	440	295	515	550
ная линия						
	Переменное дуо					Дуо непре-рывное
—	5	4	4	4	7	8
—	280—324	240—265	285—310	254—280	250—280	300
—	230	340	420	295	420	180—300
—	330	—	515	295	550	5×300
линия						
менное дуо						Дуо непрерыв. ное горизон-тальное Дуо непрерывное вертикальное
6	5	5	5	4	2×2	2×4
—	—	235—265	275—310	238—265	260—280	250
420/310	302	490	500	375	490	1100—1900
295	330	—	625	515	440	2×2×300
590	955	730	1540	1105	1505	3250
ки						
2	4	3	4	4	3+2	4
циальные польные	Тангенци-альные подпольные	Осевые	Тангенциальные подпольные	Тангенциальные напольные	Осевые + тангенци-альные напольные	Тангенциаль-ные напольные

Таблица 26

Производственные характеристики проволочнопрокатных станов для цветных металлов

Показатели	Условные обозначения и тип стана												
	А О-10	Б О-9	В О-9	Г О-8	Д О-8	Е О-8	Ж О-7	З О-6	И О-5	К О-5	Л О-5	М О-4	Н П-Н
Вес слитка, *кг*	85	85	85	110	85	85	110	110	85	110	85	85	85
Диаметр катанки, *мм* . . .	6,50	7,20	7,20	6,35	7,20	7,00	6,35	6,35	7,20	6,35	7,20	6,50	7,20
Число проходов:													
на обжимной линии . . .	7	5	5	5	5	5	9	5	5	5	5	7	4
на промежуточной линии	2	0	0	0	1	3	0	5	4	4	4	7	8
на отделочной линии . .	10	9	9	9	8	8	7	6	5	5	5	4	4
всего	19	14	14	14	14	16	16	16	14	14	14	18	16
Число возможных ниток в отделочных клетях . . .	4	3	5	4	2	5	2	4	3	4	4	5	2
Выходная скорость, *м/сек*	7,8	6,2	6,7	5,0	5,4	7,5	6,0	5,8	6,9	7,9	5,2	7,2	25,0
Теоретическая производительность, *т/час*	—	15,1	—	—	13,1	—	—	—	25,3	—	—	—	—
Средний выпуск катанки *т/час*	9,4	5,0	12,5	—	6,8	20,0	5,6	8,2	6,8	14,5	10,0	11,0	40,0
Коэффициент использования стана, %	—	33,1	—	—	51,9	—	—	—	26,3	—	—	—	65,0
Расход электроэнергии на тонну проката, *квт-ч* . .	—	100	—	—	70	—	—	—	80	—	—	—	—
Состав бригады, чел. . . .	—	—	19	—	—	12	—	10	—	—	—	—	10

Если для выполнения программы цеха необходимо иметь более высокую производительность, то увеличение числа ниток и числа рабочих моталок сверх 4—6 эффекта не дает; в этом случае рекомендуется осуществить одно из следующих мероприятий:

а) увеличить вес бухты сверх 85 *кг*. Однако нужно иметь в виду, что при прокатке утяжеленной бухты без повышения выходной скорости продолжительность прокатки увеличится и создастся значительная разница в температурах начала и конца бухты. Это может привести к неравномерности механических свойств металла и большим отклонениям по допускам.

б) установить две раздельные отделочные линии;

в) установить полунепрерывные станы с механизированной задачей овальных профилей на отделочной линии;

г) установить непрерывные станы.

2. Полунепрерывные станы для прокатки цветных металлов с механизированной задачей овалов на отделочной линии

Стан Н (рис. 73) для прокатки цветных металлов состоит из трех линий:

обжимная линия — 1 трехвалковая клеть;

промежуточная линия — 8 двухвалковых клетей непрерывно расположенных;

отделочная линия — 2 ветви по 4 непрерывно расположенные клети. Клети расположены двумя парами; у каждой пары одна клеть с вертикальными валками для про-

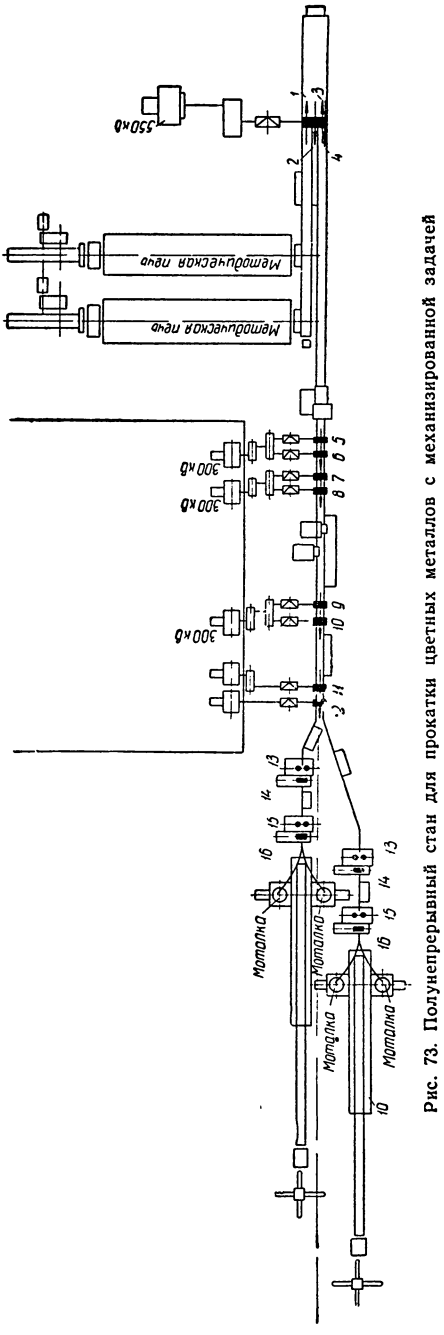


Рис. 73. Полунепрерывный стан для прокатки цветных металлов с механизированной задачей

катки овала и одна клеть с горизонтальными валками для прокатки квадрата или круга. Установка клетей с вертикальными валками предусматривает устранение кантовки малых овалов при передаче их к следующим клетям и облегчает механизированную задачу полосы.

3. Непрерывные станы

Непрерывные станы для прокатки черных металлов нашли широкое применение в СССР и за рубежом. Они почти совершенно вытеснили станы с ручной петлевой задачей. Для прокатки цветных металлов непрерывные станы имеют в настоящее время еще ограниченное применение.

4. Комбинированные прокатно-волочильные установки

На комбинированных установках горячая прокатка проводится только до диаметра 20—18 *мм*, т. е. до таких размеров, при которых не требуется петлевая прокатка с ручной задачей профилей петельщиками. Заготовка получается в виде длинных прутков, которые обтачиваются или скальпируются на соответствующих установках, смазываются в бухты и перетягиваются в холодном состоянии до размера нормальной катанки на специальных тяжелых многократных волочильных машинах с выходной скоростью 10 *м/сек* и электродвигателями мощностью 500 *квт*.

Комбинирование одного мелкосортного прокатного стана с 4 тяжелыми волочильными машинами может обеспечить часовой выпуск нормальной катанки около 20 *т/час*. Такой способ не только решает задачу полной механизации процесса прокатки, но и обеспечивает более высокое качество катанки.

§ 5. ПРОКАТНЫЕ ВАЛКИ

1. Указания к выбору размеров валков

Рекомендуемые размеры валков для профильной прокатки приведены в табл. 27 и на рис. 74.

Наружные диаметры валков должны быть проверены как с точки зрения обеспечения быстрого и надежного захвата прокатываемых профилей, так и с точки зрения достаточной прочности валка.

Длины бочки валков должны обеспечивать удобное расположение всех необходимых ручьев. Для валков отделочных клетей длина бочки зависит от количества

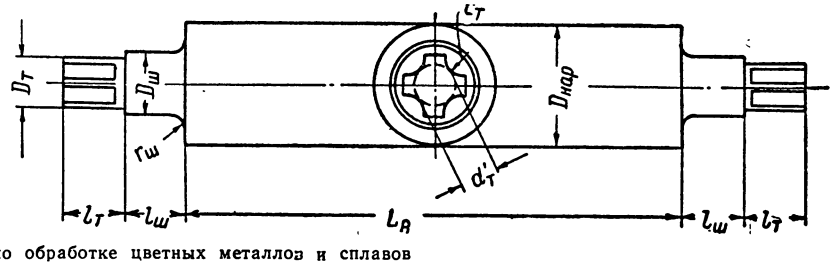


Рис. 74. Основные размеры прокатного валка

Таблица 27

Рекомендуемые размеры валков для профильной прокатки, *мм*

Тип стана	Типы клетей	Наружный диаметр валка $D_{нар}$	Длина валка $L_в$	Диаметр шейки $D_ш$	Длина шейки $l_ш$	Радиус галтели $r_ш$	Наружный диаметр трефа $D_т$	Длина трефа $l_т$	Диаметр $d_т$	Радиус $r_т$
Среднесортный	Обжимные	600—400	1200—1600	(0,54—0,58) $D_{нар}$	$0,9 \cdot D_ш + 20$	$0,1 \cdot D_ш$	(0,94—0,96) $D_ш$	$0,5 \cdot D_1 + 40$	$0,66 \cdot D_1$	$2,3 \cdot D_1 + 10$
	Отделочные	450—400	1100—1500	(0,54—0,58) $D_{нар}$	$0,9 \cdot D_ш + 20$	$0,1 \cdot D_ш$	(0,94—0,96) $D_ш$	$0,5 \cdot D_т + 40$	$0,66 \cdot D_1$	$0,3 \cdot D_1 + 10$
Мелкосортный	Обжимные	450—400	1100—1500	(0,54—0,58) $D_{нар}$	$0,9 \cdot D_ш + 20$	$0,1 \cdot D_ш$	(0,94—0,96) $D_ш$	$0,5 \cdot D_т + 40$	$0,66 \cdot D_1$	$0,3 \cdot D_1 + 10$
	Отделочные	350—300	600—1000	(0,53—0,55) $D_{нар}$	$D_ш + 20$ до $D_ш + 50$	$0,1 \cdot D_ш$	(0,92—0,93) $D_ш$	$0,5 \cdot D_1 + 40$	$0,66 \cdot D_т$	$0,3 \cdot D_т + 10$
Проволочный	Обжимные	450—400	1100—1500	(0,54—0,58) $D_{нар}$	$0,9 \cdot D_ш + 20$	$0,1 \cdot D_ш$	(0,94—0,96) $D_ш$	$0,5 \cdot D_т + 40$	$0,66 \cdot D_1$	$0,3 \cdot D_1 + 10$
	Промежуточные	350—300	600—1000	(0,53—0,55) $D_{нар}$	$D_ш + 20$ до $D_ш + 50$	$0,1 \cdot D_ш$	(0,92—0,93) $D_ш$	$0,5 \cdot D_1 + 40$	$0,66 \cdot D_1$	$0,3 \cdot D_т + 10$
	Отделочные	310—240	500—850	(0,53—0,55) $D_{нар}$	$D_ш + 20$ до $D_ш + 50$	$0,1 \cdot D_ш$	(0,92—0,93) $D_ш$	$0,5 \cdot D_т + 40$	$0,66 \cdot D_т$	$0,3 \cdot D_т + 10$

ниток, пропускаемых через клеть одновременно и независимо друг от друга, т. е. от количества коробок, устанавливаемых на клети. Если принять на каждую коробку по 120 *мм* и на края бочки по половине ширины коробки, то общая длина бочки валка составит

$$L_в = 120 \cdot (0,5 + k + 0,5) = 120 \cdot (k + 1) \text{ мм},$$

где k — количество коробок.

2. Материал прокатных валков

Чугунные валки с закаленной поверхностью применяют для обжимных и промежуточных клетей проволочных станов и всех клетей среднесортных и мелкосортных станов. При выточке глубоких ручьев в гладких валках зачастую стачивается весь закаленный слой, что практически превращает их в мягкие валки из серого чугуна и сильно снижает их стойкость. Для таких клетей рекомендуется отливать валки с готовыми ручьями. Твердость закаленных чугунных валков должна лежать в пределах 350—550 по Бринелю. Химический состав чугуна для изготовления валков с отбеленной поверхностью обычно бывает следующим: 2,9—3,5% C; 0,2—0,8% Mn; 0,5—0,8% Si; 0,07—0,11% S; 0,28—0,42% P.

Кованые стальные валки для профильной прокатки цветных металлов и сплавов применяются при очень больших давлениях металла на валки. Это имеет место при прокатке медноникелевых сплавов, никеля и никелевых сплавов. Твердость стальных валков должна достигать 210—230 по Бринелю. Химический состав стали для изготовления валков очень разнообразен; наиболее типичными следует считать валки из углеродистой стали с 0,9% C и 0,8% Mn и из легированной хромоникелевой стали с 0,6% C, 0,5% Ni и 0,5% Cr.

3. Некоторые указания по режимам обточки валков

Сначала производят обточку валков до заданного наружного диаметра $D_{нар}$. Затем на специальном шаблоне размечают местоположение ручьев и по этому шаблону протачивают калибры в одном валке. Калибры в остальных валках той же клети размечают не по шаблону, а над каждым из валков в соответствующих люнетах (аналогично положению валков в клети) располагают строго параллельно первый валок с проточенными по шаблону ручьями. Ручьи в валках протачивают при помощи резцов, заточенных точно по форме калибра. Для мелких резцов предпочтительно применение наплавленных твердосплавных пластинок. Правильность проточенного ручья проверяют специальными стальными шаблонами и соответствующими контршаблонами, по которым можно проверять как сам шаблон, так и резец для проточки ручья. Для отделочных клетей проволочных станов, помимо одинарных, изготовляют также двойные и трой-

ные шаблоны, по которым проверяют правильность расстояний между соседними ручьями.

В последнее время валки проволочно-прокатных станов обтачивают при помощи многолезвийных резцов, что обеспечивает правильность расстояния между соседними ручьями и ускоряет операцию обточки. Одним таким резцом обтачивают одновременно до 14 ручьев.

4. Износ валков и их стойкость. Поломки валков и их причины

Максимальный износ валков происходит в местах наибольших вытяжек: у прямоугольных калибров — по дну и боковым стенкам; у квадратных, ромбических и стрельчатых калибров — у вершин калибров; у овальных калибров — в местах, где грани задаваемых квадратных профилей соприкасаются с овальным калибром; у круглых калибров — у дна.

Стойкость валков определяется продолжительностью службы валков на стане между двумя переточками, в часах.

Обычно продолжительность службы валков обжимных клетей принимают 250 час., валков промежуточных клетей — 200 час. и валков отделочных клетей — 150 час.

Окончательно изношенными считаются те валки, диаметр которых вследствие переточек уменьшился на 10—15% своего первоначального размера.

Поломки валков при прокатке цветных металлов бывают сравнительно редко и главным образом при прокатке никелевых сплавов или задаче в валки захоложенных профилей. Бывают поломки валков и вследствие грубых ошибок вальцовщиков.

§ 6 ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРОФИЛЬНОПРОКАТНЫХ СТАНОВ

Важнейшим вспомогательным оборудованием для профильнопрокатных станов являются нагревательные печи, толкатели нагревательных печей, рольганги для подачи слитков от печей к станам, устройства для механизации обжимных клетей, прокатная арматура, автоматические обводки, карманы, моталки, уборочные устройства.

1. Нагревательные печи

Слитки из большинства цветных металлов и сплавов, подвергающихся профильной прокатке, нагревают в печах непрерывного действия с постепенным подогревом, называемых методическими печами. Слиток с помощью толкателя задают через загрузочное отверстие в переднюю торцовую часть печи и продвигают его по поду печи. При этом слиток постепенно подогревается до заданной температуры. Затем слитки тем же толкателем выдают через выходное отверстие печи и падают на рольганг или транспортер. Для нагрева слитков из никеля, медно-никелевых и никелевых сплавов, требующих длительных выдержек в печи, рекомендуется устанавливать специальные нагревательные камерные печи, так как методические печи для таких металлов использовать не рационально.

Параметры нагревательных печей при сортовых и проволочных станах приведены в табл. 28. Оптимальными следует считать

Таблица 28

Параметры нагревательных методических печей при сортовых и проволочных станах

Показатели	Условное обозначение стана и тип печи					
	Г методическая двухрядная	Д методическая однорядная	З методическая двухрядная	И методическая однорядная	К методическая однорядная	методическая однорядная
Род топлива	Газ	Нефть	Газ	Нефть	—	Нефть
Размеры печи:						
общая длина, *мм*	6700	8000	10400	14000	—	8000
ширина, *мм*	3050	1600	3150	1700	—	1600
площадь пода, *мм²*	20,4	14,4	32,7	23,5	—	14,4
Количество вайербарсов, помещающихся на поду печи	120	85	220	150	—	85
Максимальная производительность стана, *т/час*	6,8	10,0	8,2	12,0	—	8,0
Число печей	1	1	1	1	—	1
Максимальная производительность печи, *т/час*	6,8	10,0	8,2	12,0	15	8,0
Загрузка на 1 *м²* площади пода в час, *т*	0,33	0,63	0,25	0,51	—	0,56
Время нахождения вайербарсов в печи, мин.	120	41	105	60	—	61
Число форсунок	—	3	16	6	—	3
Давление дутья, *мм* рт. ст.	—	2 000	220	400	—	400

Продолжение табл. 28

Показатели	Условное обозначение стана и тип печи					
	Г методическая двухрядная	Д методическая однорядная	З методическая двухрядная	И методическая однорядная	К методическая однорядная	методическая однорядная
Наличие рекуператора	—	Установлен	Нет	Нет	—	Установлен
Посадка в печь слитков . . .	Толкателем	Толкателем	Толкателями (2 шт.)	Толкателем	—	Толкателем
Выдача слитков из печи . . .	Рольгангом	Ручная через боковые окна	Рольгангом	Рольгангом	—	Ручная через боковые окна
Расход нефти, *кг* на 1 *т* катанки	—	31	—	45	—	29
Расход газа, *м*³ на 1 *т* катанки	19,6	—	38,0	—	—	—

однорядные печи длиной около 15 *м* при ширине 1,6 *м*. На поду такой печи может быть уложено до 150 слитков весом 85 *кг* каждый, что при часовой выдержке обеспечивает производительность в 13 *т/час*.

2. Температура и режим нагрева перед горячей профильной прокаткой

Рекомендуемая температура и режим нагрева слитков перед горячей профильной прокаткой приведены в табл. 29. Операцию нагрева литого металла в сочетании с первым проходом при горячей прокатке следует рассматривать как сложную термомеханическую обработку, имеющую своей целью не только формоизменение, но и полную рекристаллизацию литого металла с получением мелкозернистой макроструктуры. С этой целью рекомендуется регламентировать не только температуру нагрева, но и режим подъема температуры, суммарное время вы-

Таблица 29

Рекомендуемая температура и режим нагрева слитков из цветных металлов и сплавов перед горячей профильной прокаткой

Наименование группы металлов или сплавов	Наименование металла или сплава	Марка	Вес слитка, *кг*	Температура нагрева в печи, °С	Время выдержки в печи, *час*
Медь	Медь	М1	85	920—850	1
Латуни	Полутомпак	Л80	80	870—820	2
	Латунь	Л68	80	850—800	2
	Латунь	Л62	80	830—780	2
	Латунь свинцовая	ЛС59-1	80	770—730	2
Бронзы	Бронза кадмиевая	Бр.Кд0,5	80	900—830	2
	Бронза хромовая	Бр.Х0,5	80	950—900	2
	Бронза телефонная	Бр.Т	80	880—840	2
	Бронза кадмиевая	Бр Кд1	80	880—850	2
	Бронза бериллиевая	Бр.Б2	15	800—780	4
	Бронза кремнистомарганцевая	Бр.КМц3-1	80	850—800	2
	Бронза оловянно-цинковая	Бр.ОЦ4-3	80	730—720	2

Продолжение табл 29

Наименование группы металлов или сплавов	Наименование металла или сплава	Марка	Вес слитка, *кг*	Температура нагрева в печи, °С	Время выдержки в печи, час.
Медноникелевые сплавы	Сплав ТП	МН0,6	40	900—820	2
	Манганин	МНМц3-12	40	840—780	3
	Сплав ТБ	МН16	40	950—900	3
	Мельхиор	МН19	40	950—900	3
	Нейзильбер	МНЦ15-20	40	950—900	3
	Константан	МНМц40-1,5	40	1120—1050*	3
	Копель	МНМц43-0,5	40	1180—1100	3
Никель	Никель	Н1	40	1200—1150	3
Никелевые сплавы	Никель кремнистый	НК0,2	40	1200—1050	3
	Никель марганцевый	НМц2,5	40	1180—1000	3
	Никель марганцевый	НМц5	40	1180—1000	3
	Алюмель	НМцАК2-2-1	40	1220—1160	3
	Хромель	НХ9,5	40	1220—1180	3
	Нихром	Х20Н80	40	1220—1150	4
	Монель-металл	НМЖМц28-2,5-1,5	40	1160—1100	4
	Ферронихром	Х15Н60	40	1200—1150	4
Алюминий	Алюминий	А1	35	500—400	1
Алюминиевые сплавы	Алдрей	Ад	35	480—420	1
	АМц	АМц	30	460—380	2
	Альмаг	АМг	30	460—380	2
	Дуралюмин	Д18П	30	460—380	2
	Дуралюмин	Д3П	30	460—380	2
	Дуралюмин	Д1П	30	460—380	2
	Дуралюмин	Д16	30	460—380	2
Цинк	Цинк	Ц1	30	180—150	2

* Нагрев в течение 2,5 час. при 900—950° и 0,5 час. при 1120—1050°.

держки в печи и состав атмосферы в последней.

3. Толкатели нагревательных печей

Толкатели предназначены для подачи слитков в методическую печь. Их толкающее усилие должно быть равным весу всего количества продвигаемых слитков. Так, например, для печей длиной 15 *м*, допускающих укладку около 150 вайербарсов весом по 85 *кг* каждый, толкающее усилие должно быть равно 13 *т*

Привод толкателя может быть электрический или пневматический. При электрическом приводе применяются червячные или реечные передачи. Скорость передвижения слитков 2—4 *м/мин*. Мощность электродвигателя 15—20 *квт*. Вес толкателя 10—12 *т*.

4. Рольганги для подачи слитков от печи к станам

Рольганги с индивидуальным приводом роликов на проволочных и мелкосортных станах для профильной прокатки цветных металлов и сплавов применяют редко ввиду относительно малого веса слитков.

Диаметр роликов рольганга 150—250 *мм*, окружная скорость роликов 1,5—2,8 *м/сек*. Мощность двигателя для группы роликов составляет около 0,2 *квт* на каждый ролик

На рис 75 представлена схема механизации обжимной линии проволочнопрокатного стана. Рольганг стана имеет ролики диаметром 150 *мм* с бортами диаметром 200 *мм*; ширина роликов между бортами 125 *мм*, шаг роликов 375 *мм*. Число оборотов роликов 350 в минуту, линейная скорость 2,7 *м/сек*. Передача от ролика к ролику цепная.

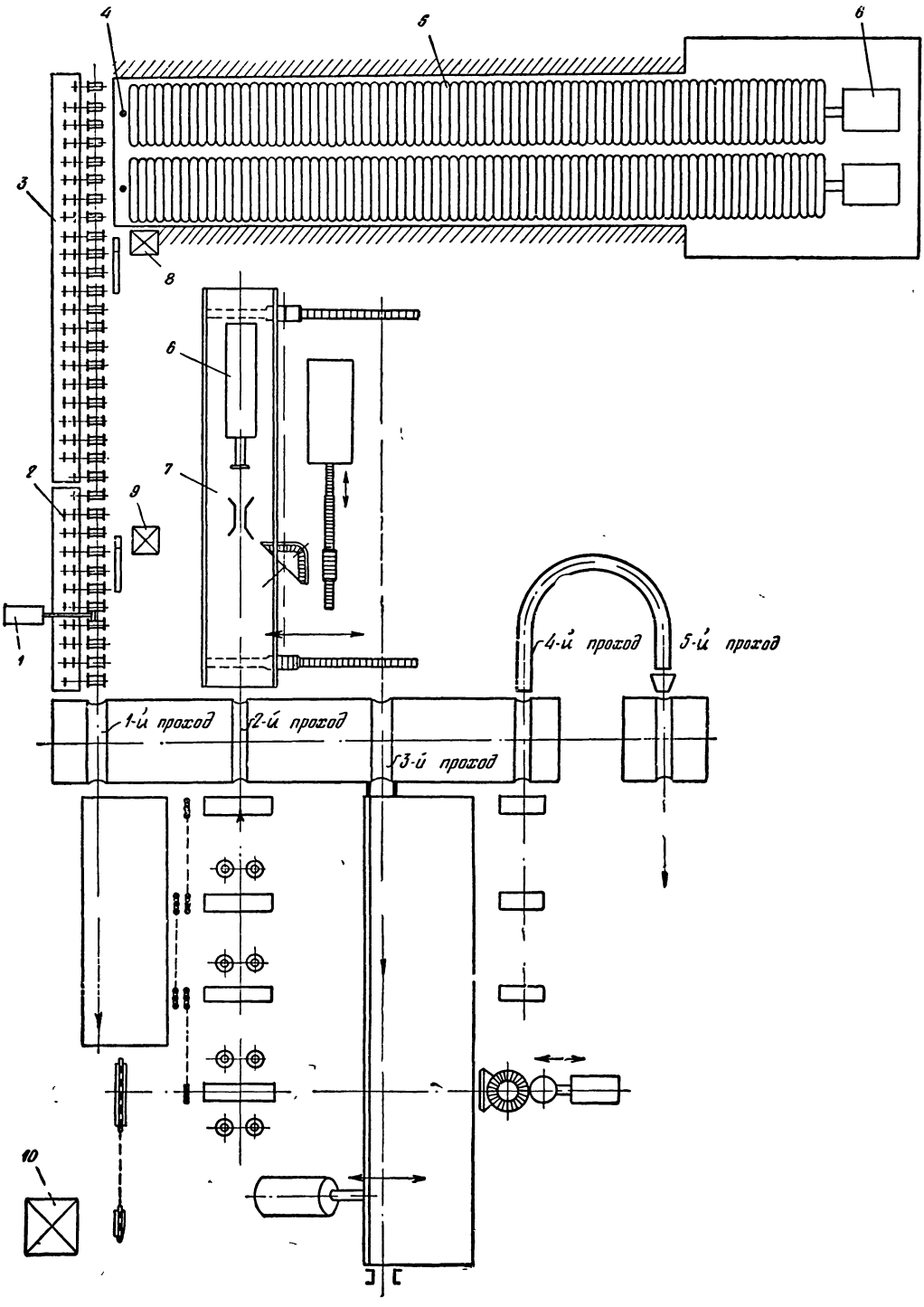
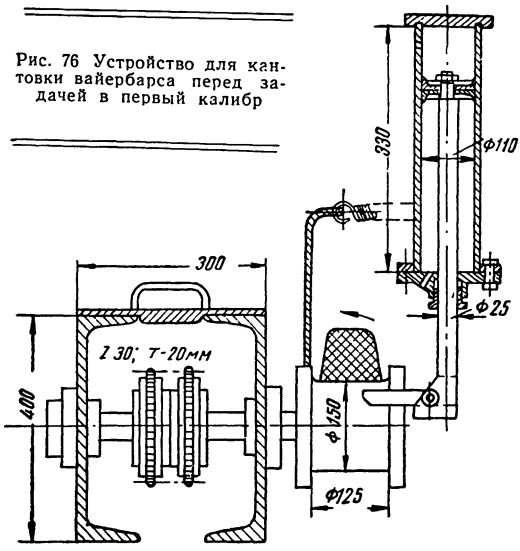


Рис. 75. Схема механизации обжимной линии проволочнопрокатного стана:
1 — кантователь; *2* — вторая часть рольганга; *3* — первая часть рольганга; *4* — электроконтакты счетчиков; *5* — нагревательная печь; *6* — толкатель; *7* — кантователь; *8* — электродвигатель мощностью 5 *л. с*; *9* электродвигатель мощностью 3 *л. с.*; *10* — электродвигатель мощностью 5 *л. с.*

Рис. 76 Устройство для кантовки вайербарса перед задачей в первый калибр



Устройство для кантовки вайербарса перед задачей в первый проход показано на рис. 76.

Задачу полосы во второй нижний проход производят при помощи кантователя и приводных роликов. Механизм подачи полосы во второй калибр представлен на рис. 77.

При выходе из второго калибра полоса попадает на узкий подъемный стол с пневматическим устройством, осуществляющим подъем, кантовку и задачу полосы в третий верхний проход (рис. 78).

Задачу полосы в четвертый проход производят аналогично задаче во второй проход с той особенностью, что момент попадания

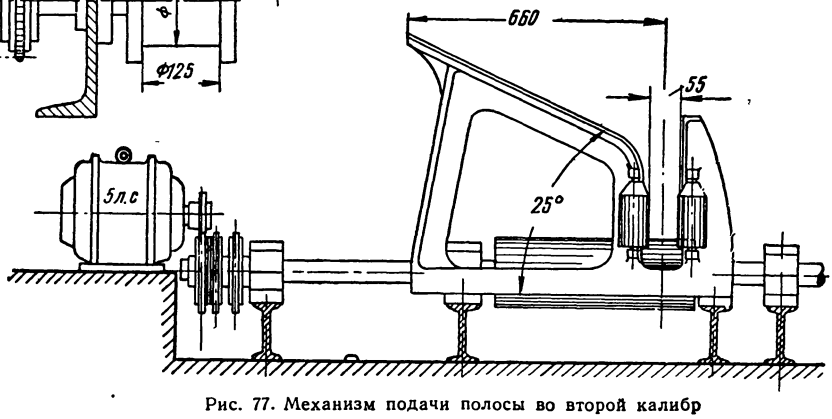


Рис. 77. Механизм подачи полосы во второй калибр

5. Устройства для механизации обжимных клетей

Обычный способ механизации обжимных клетей заключается в том, что слиток при помощи рольганга подается от печи к стану, попадает на качающийся подъемный стол, подымается вверх и задается в верхние калибры между средним и верхними валками. С задней стороны клети слиток, падая под влиянием собственного веса, попадает в кантователь и на вращающиеся ролики, при посредстве которых он задается в нижние калибры между нижним и средним валками.

Механизация при помощи обводок Шепфа полностью не разрешает вопроса и имеет ряд неудобств вследствие трудности настройки стана из-за жесткости конструкции обводки.

Пневматический способ механизации обжимных клетей проволочных станов следует считать наиболее удобным. Схема такой механизации представлена на рис. 75. Для задачи полосы в верхние калибры применяются пневматические устройства, для задачи в нижние калибры — роликовые приводные устройства [24].

Слиток при помощи специального рольганга подается от печи к стану непосредственно в первый верхний проход (см. рис. 75).

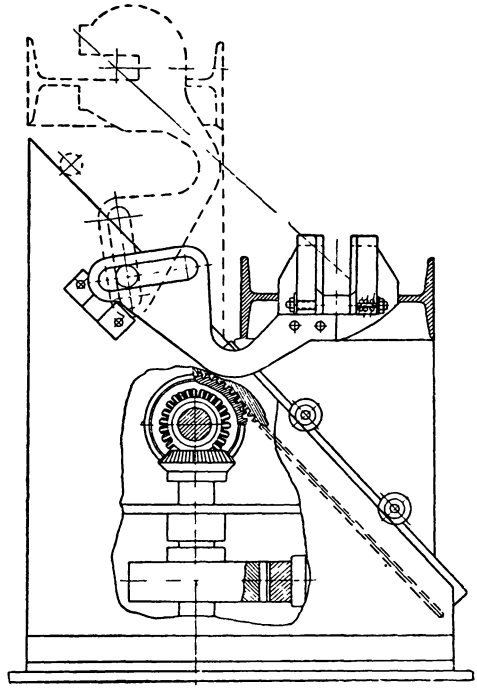


Рис. 78 Механизм передвижения подъемного стола для подачи полосы в третий калибр

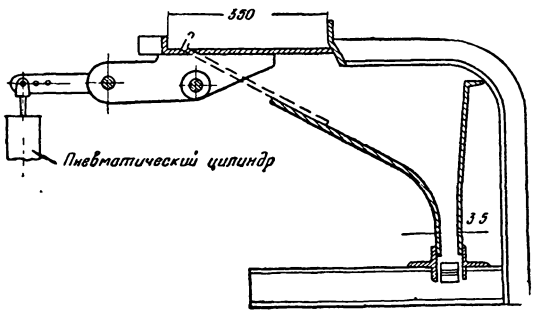


Рис. 79. Схема подачи полосы в четвертый калибр

полосы в кантователь регулируют с помощью пневматического цилиндра (рис. 79).

Задачу полосы в пятый проход, помещающийся на второй клети обжимной линии, осуществляют с помощью автоматической обводки.

Механизированную таким образом обжимную линию обслуживает один оператор с соответствующего пульта управления.

6. Автоматические обводки

Для механизации задачи профилей на промежуточных и отделочных клетях применяют автоматические обводки. Одноточные обводки изготовляют клепаными или сваренными из угольников, многоточные — литыми. Дно и боковые стенки должны быть устроены так, чтобы квадратный профиль при прохождении по обводке постепенно кантовался по винтовой линии до угла в 90° в момент задачи в овальный калибр. Обводка должна допускать выскаки-

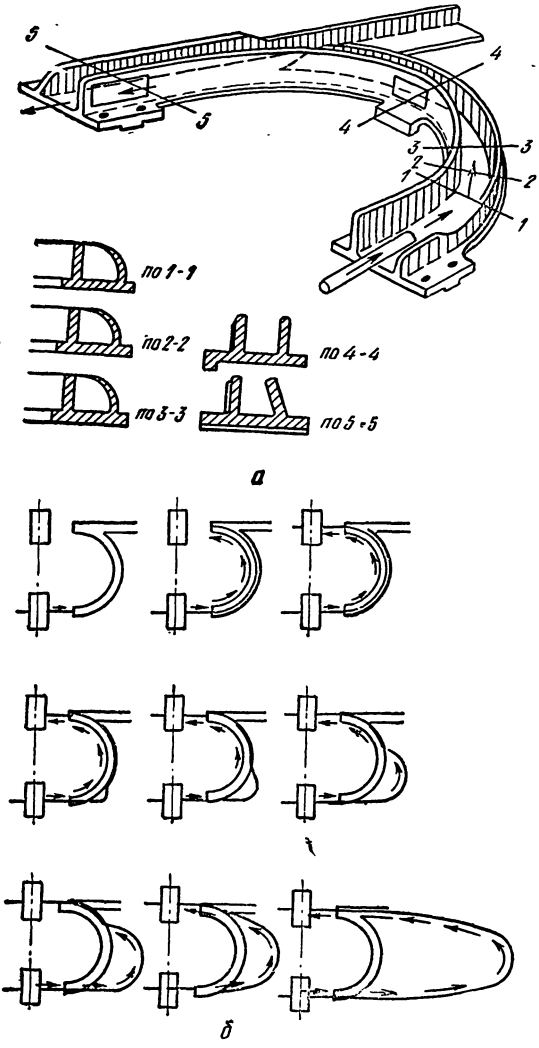


Рис. 80. Обводки с верхним выскакиванием петли: *а* — общий вид и поперечные разрезы обводки в разных местах; *б* — схема образования петли

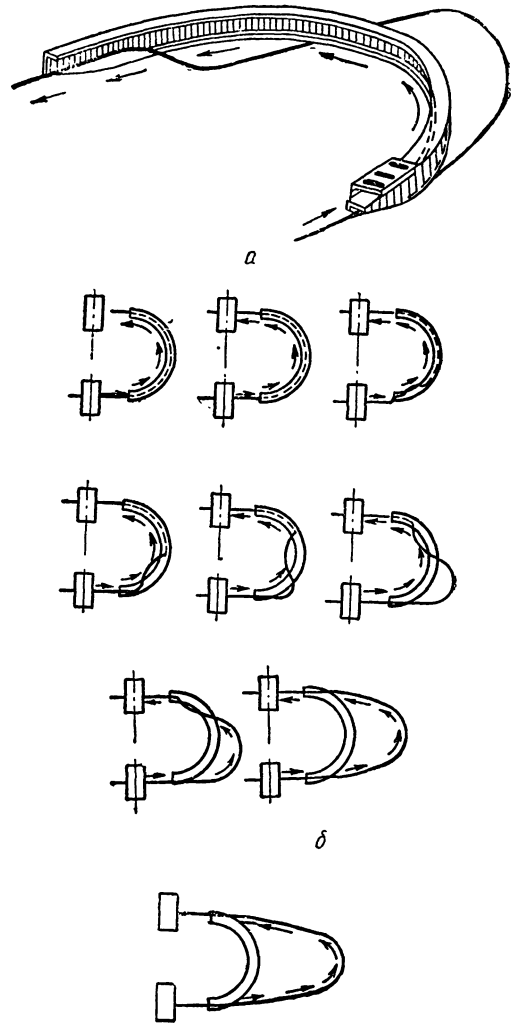


Рис. 81. Обводки с нижним выскакиванием петли: *а* — общий вид обводки *б* — схема образования петли

вание петли в момент образования последней.

В зависимости от способа выскакивания петли обводки делятся на обводки с верхним выскакиванием петли (рис. 80) и обводки с нижним выскакиванием петли (рис. 81). Схемы образования петель в обеих таких обводках представлены в нижней части рис. 80 и 81

При многониточных обводках расположение калибров на валках с квадратными и овальными профилями должно соответствовать расстояниям между осями желобов обводки.

7. Роликовые проводки

С технологической точки зрения наибольшее внимание из арматуры проволочнопрокатных станов заслуживают проводки На рис. 82 представлен комплект роликовых проводок, разработанных для самых разнообразных размеров калибров от 5 до 300 *мм*. Основные размеры проводок для различных калибров приведены в табл. 30.

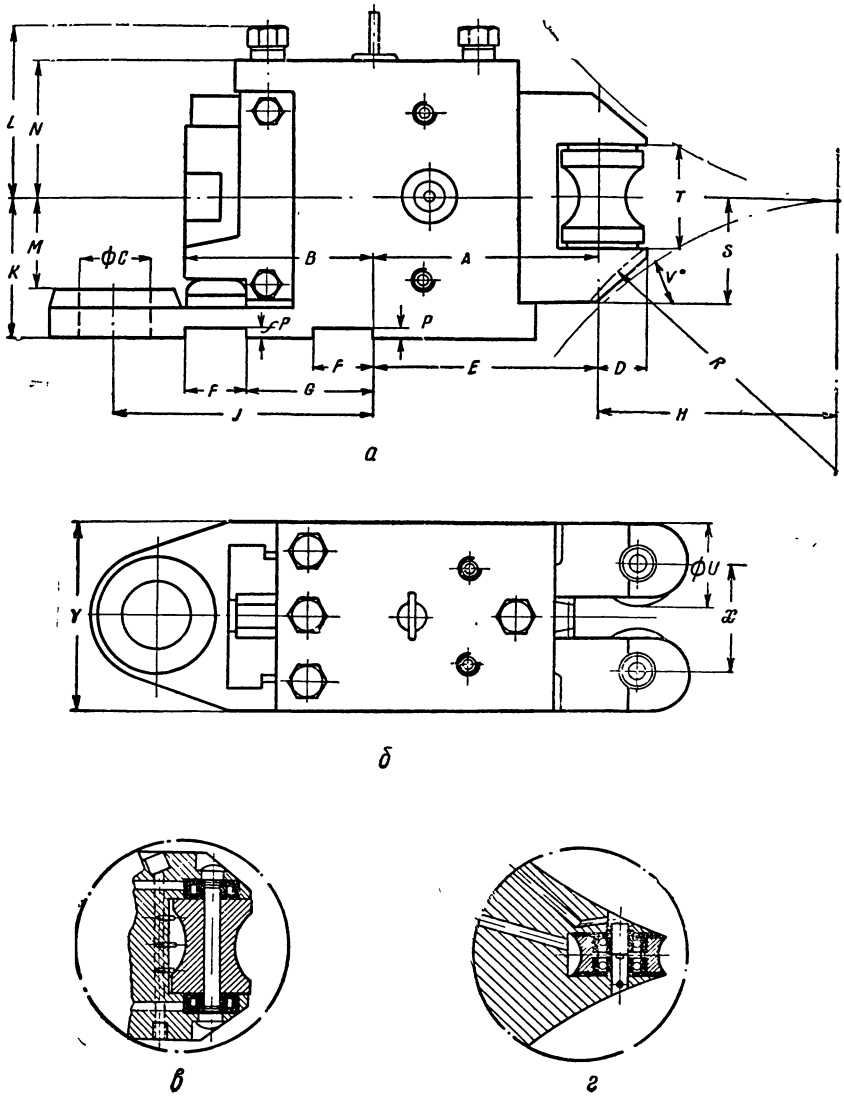


Рис. 82. Комплект роликовых проводок для разнообразных размеров калибров (от 5 до 300 *мм*): *а* — роликовая проводка (вид сбоку); *б* — роликовая проводка (вид сверху); *в* — крепление ролика у проводок для больших диаметров; *г* — крепление ролика у проводок для малых диаметров

Таблица 30

Размеры комплектов роликовых проводок для круглых калибров диаметром 5—310 *мм* (по рис. 82)

Диаметр круглого калибра $d_к$, *мм*	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*	*H*	*J*	*K*	*L*	*M*	*N*	*P*	*R*	*S*	*T*	*U*	$X_{макс}$	$X_{мин}$	*Y*	*V*°
5—12	190	34	20	69	135	20	0	126	80	78	79	35	65	3	181	50	15	37	45	26	78	—
6—20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10—30	167	122	30	68	120	30	0	180	176	90	115	50	90	5	277	65	40	60	70	51	120	40,5
12—45	209	71	50	32	210	50	0	—	138	100	118	60	95	8	—	68	67	65	76	50	130	39
22—60	194	150	60	44	187	50	0	—	208	140	138	75	115	8	—	85	84	70	91	67	156	45
40—85	185	210	60	50	183	50	0	—	280	150	170	90	147	8	—	114	120	95	125	83	210	50
60—125	125	345	60	47	133	50	255	—	410	200	218	140	191	8	—	148	160	125	170	105	280	51
75—150	120	365	60	45	135	50	220	—	430	245	277	175	245	8	—	185	200	160	220	140	380	—
100—200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
150—300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

8. Карманы

Для приема петель, образующихся при прокатке полосы между двумя соседними клетями, применяют особые каналы, расположенные под полом и носящие название карманов. Карманы выкладывают чугунными плитами или же устраивают из рельсов, заложенных в бетонный пол. Расчет длины карманов приведен в табл. 21. Уклон карманов делают от 1/6 до 1/10. Желательно применять большие уклоны, если это позволяют почвенные условия.

9. Моталки

Моталки предназначены для приема прокатанного профиля и наматывания его в бухты.

Моталки типа Эденборна с осевой подачей полосы наиболее пригодны для катанки круглой формы относительно небольшого диаметра. У этих моталок бухта лежит неподвижно, вращается же конус, на котором закреплена трубка, подающая сматываемый в бухту металл. Это позволяет применить скорости наматывания до 25 *м/сек* и обслуживать такими моталками непрерывные станы. К недостаткам моталок Эденборна относится скручивание катаной заготовки на 360° вокруг своей оси при каждом обороте подающей трубки. Последнее ограничивает применение этих моталок круглыми профилями.

Моталки типа Гаррета с тангенциальной подачей полосы наиболее удобны для фасонного и круглого мелкосортного подката. У этих моталок наматываемая бухта во время намотки вращается и скручивания заготовки не происходит, что позволяет применять их и для намотки фасонных профилей. К недостаткам моталок Гаррета следует отнести ограниченную скорость намотки и необходимость остановок для выбрасывания бухт.

Привод моталок обычно осуществляется от индивидуальных электродвигателей мощностью до 12 *квт*.

10. Уборочные устройства

Для уборки катаной бухтовой заготовки от моталок применяются:

а) пластинчатые транспортеры, обеспечивающие протаскивание горячих бухт через резервуар с холодной водой, где бухты охлаждаются и с них соскакивает часть окалины;

б) стелюги с качательно-поступательным движением;

в) цепные конвейеры с крюками;

г) подвесные пути, пригодные для моталок любой системы.

11. Другие виды вспомогательного оборудования

Технические параметры других видов вспомогательного оборудования указаны в табл. 31, где приведен примерный комплект вспомогательного оборудования, предназначенного для обслуживания петлевого стана с производительностью 20 *т/час*.

Таблица 31

Примерный комплект оборудования для петлевого стана производительностью 20 *т/час*

Наименование оборудования	Назначение и краткая характеристика	Количество единиц оборудования шт.	Габариты единицы оборудования, *м*			Вес брутто единицы оборудования, *т*	Материал фундамента	Объем фундамента на единицу оборудования, *м*³
			длина	ширина	высота			
Монорельс	Для погрузки вайербарсов на столы толкателей	1	32,0	1,4	3,5	2,0	Кирпич	4,0
Тельферы	То же	2	0,8	0,4	0,6	0,4	—	—
Толкатели	Для передвижения вайербарсов по поду печи, толкающее усилие 12 *т*	2	3	2	1,5	12	Кирпич	5
Методические печи	Для нагрева вайербарсов до 850—900° (топливо — нефть; печи однорядные; объем кладки 120 *м*³)	2	14	2	2,8	150	Бут	20
Вентиляторы для методических печей	Для подачи воздуха к методическим печам (производительность 10 000 *м*³/*час*)	2	1,4	0,8	1,0	0,3	Кирпич	1,0
Нефтяной бак	Для хранения нефти для методических печей (емкость 5 *т*)	1	3,0	2,0	1,8	4,0	»	1,5
Рольганг	Для подачи нагретых вайербарсов от печей в первый калибр стана	1	17,0	0,8	0,7	4,0	»	6,0
Кантователь на рольганге	Для кантовки вайербарсов	1	2,0	1,0	0,9	0,5	»	1,0
Наклонная плоскость с ведущими рольгангами	Для механизированной задачи во второй калибр	1	2,0	1,0	0,7	—	»	4,0
Подъемный стол с кантователем и подающим устройством	Для механизированной задачи в третий калибр	1	4,0	1,0	0,9	—	»	4,0
Поворотный стол	Для механизированной задачи в четвертый калибр	1	7,0	1,0	0,7	—	»	1,0
Автоматическая обводка обжимной линии	Для автоматической передачи квадрата в пятый калибр	1	2,0	1,0	0,9	0,6	»	1,0
Ножницы для резки полос	Для резки отходов, брака и концов толстых полос	1	1,5	1,5	2	3,5	»	5
Пульт управления	Для управления станом	1	1,5	2,0	2,5	0,5	»	1,5

Продолжение табл. 31

Наименование оборудования	Назначение и краткая характеристика	Количество единиц оборудования шт.	Габариты единицы оборудования, *м*			Вес брутто единицы оборудования, *т*	Материал фундамента	Объем фундамента на единицу оборудования, *м*³
			длина	ширина	высота			
Желоб	Для подачи овала с обжимной линии к промежуточной	1	24,0	0,3	0,8	0,5	Кирпич	1,0
Трейб-аппарат с горизонтальными роликами	Для подачи овала с обжимной линии к промежуточной	1	0,5	1,0	0,8	0,6	»	0,5
Автоматические обводки промежуточной линии	Для автоматической задачи квадратов	2	1,5	0,8	0,4	0,6	—	—
Карманы промежуточной линии для квадратов	Для приема петель (длина 15 *м*)	2	15	1,4	3	4	Щебень	15
Карманы промежуточной линии для овалов	Для приема петель (длина 20 *м*)	1	20	1,4	2	5	»	14
Карман для передачи с промежуточной линии на отделочную	Для приема петель (длина 15 *м*)	1	15	1,4	3	4	»	16
Автоматические обводки отделочной линии	Для автоматической задачи квадратных профилей в овальные калибры	1	1,5	0,8	0,4	0,8	—	—
Карманы отделочной линии для квадратов	Для приема петель (длина 20 *м*)	1	20	1,4	4	5	Щебень	16
Карманы отделочной линии для овалов	Для приема петель (длина 25 *м*)	2	25	1,4	4	7	»	20
Моталки с тангенциальной подачей полосы	Для приема катанки 7,2 *мм* и мелкосортного проката	5	1,8	1,2	2,2	7,5	»	7
Передвижные моталки для брака	Для намотки брака и мелкосортного подката больших сечений	2	1,5	1,2	1	8	—	—
Пластинчатый транспортер	Для уборки намотанных бухт катанки от моталок (длина 15 *м*)	1	15,0	1,0	0,6	—	Кирпич	9
Весы	Для взвешивания вайербарсов	1	2,0	2,0	1,0	0,5	»	2,0
Весы автоматические	Для взвешивания бухт	1	1,5	1,5	1,0	0,3	»	1,0
Центробежный насос	Для перекачки воды из отстойных баков к стану, (давление 8 *ат*, производительность 100 *м*³/*час*)	2	3,0	1,5	1,5	2,5	»	5

Продолжение табл. 31

Наименование оборудования	Назначение и краткая характеристика	Количество единиц оборудования шт.	Габариты единицы оборудования, *м*			Вес брутто единицы оборудования, *т*	Материал фундамента	Объем фундамента на единицу оборудования, *м*³
			длина	ширина	высота			
Центробежный насос	Для откачки загрязненной воды в канализацию (производительность 20 *м*³/*час*)	1	2,0	1,2	1,2	1,5	Кирпич	3,0
Компрессор воздушный	Для обслуживания пневматических механизирующих устройств	1	1,0	2,0	0,6	1,0	»	2,0
Насос водяной	Для подачи воды к обжимной линии для сбивания окалины (давление 40 *ат*)	1	1,0	2,0	0,8	1,0	»	2,0
Ресиверный бачок	Емкость 1 *м*³	1	1,0	1,0	1,5	0,5	»	0,5
Отстойные баки	Для отстаивания отработанной воды с прокатного стана (общий объем 300 *м*³)	2	10,0	5,0	3,0	15,0	Бут	30,0
Вальцетокарный станок	Для обточки валков обжимной линии (высота центров 350 *мм*)	1	5,0	1,5	1,5	4,0	Кирпич	7,0
Вальцетокарный станок	Для обточки валков промежуточной и отделочной линий (высота центров 250 *мм*)	1	4,0	1,2	1,2	3,0	»	5,0
Точила	Для заточки резцов в вальцетокарной и ремонтно-механических мастерских	2	0,8	0,5	1,2	0,2	»	0,5
Токарный станок	Для ремонтных работ (высота центров 250 *мм*)	1	2,5	1,2	1,4	1,5	»	2,0
Токарный станок	Для ремонтных работ (высота центров 175 *мм*)	1	2,5	1,2	1,4	1,5	»	2,0
Шеппинг	Для ремонтных работ (ход резца 350 *мм*)	1	1,2	2,0	1,6	1,7	»	2,0
Сверлильные станки	Для ремонтных работ (диаметры сверления 25 и 10 *мм*)	2	0,8	0,9	2,3	1,0	»	0,5
Мостовой кран 5 *т*	Для обслуживания прокатного стана и вальцетокарной	1	—	—	—	27,0	—	—
Мостовой кран 5 *т*	Для обслуживания склада вайербарсов	1	—	—	—	20,0	—	—
Электрокары	Для обслуживания склада вайербарсов и склада катанки	4	3,5	1,0	1,4	0,8	—	—
Вентиляторы общей вентиляции	Для обслуживания всего прокатного цеха (производительность 10 000 *м*³/*час*)	2	2,5	1,5	2,0	1,0	Кирпич	6,0
Вентиляторы машинных отделений	Для обслуживания машинных отделений (производительность 2000 *м*³/*час*)	2	1,5	1,0	1,0	0,5	»	4,0

§ 7. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Ориентировочный расход основных материалов, рабочей силы, электроэнергии, топлива, пара, воды и сжатого воздуха приведен в табл. 32.

Технико-экономические показатели цехов для профильной прокатки цветных металлов и сплавов приведены в табл. 33.

Таблица 32

Ориентировочный расход основных материалов, рабочей силы, электроэнергии, топлива, воды, пара и сжатого воздуха

Наименование группы сплавов	Виды подката	Отходы при прокатке, %	Потери в окалине, %	Угар, %	Заправочный коэффициент, кг/т	Трудоемкость		Расход электроэнергии, квтч/т	Расход топлива кг/т	Расход воды, м³/т		Расход пара, кг/т	Расход сжатого воздуха, м³/т
						станко-час/т	чел-час/т			без учета возврата	с учетом возврата		
Медь	Катанка	0,50	0,40	0,10	1010	0,05—0,10	2,5	70	20	10	2	10	1,5
	Мелкосортный	1,00	0,40	0,10	1015	0,10—0,20	5,0	—	—	—	—	—	—
	Среднесортный	1,50	0,40	0,10	1020	0,20—0,40	10,0	—	—	—	—	—	—
Латуни	Катанка	2,60	0,20	0,10	1030	0,10—0,20	5,0	140	30	—	—	—	—
	Мелкосортный	3,40	0,20	0,10	1040	0,20—0,40	10,0	—	—	—	—	—	—
	Среднесортный	4,40	0,20	0,10	1050	0,30—0,50	15,0	—	—	—	—	—	—
Бронзы	Катанка	2,50	0,30	0,10	1030	0,10—0,10	5,0	140	30	—	—	—	—
	Мелкосортный	3,40	0,30	0,10	1040	0,20—0,40	10,0	—	—	—	—	—	—
	Среднесортный	4,40	0,30	0,10	1050	0,30—0,50	15,0	—	—	—	—	—	—
Медноникелевые сплавы	Катанка	3,30	0,40	0,10	1040	0,20—0,40	10,0	150	50	—	—	—	—
Никель	Катанка	3,30	0,40	0,10	1040	0,20—0,40	10,0	160	50	—	—	—	—
	Мелкосортный	4,30	0,40	0,10	1050	0,30—0,60	15,0	—	—	—	—	—	—
Никелевые сплавы	Катанка	4,10	0,60	0,10	1050	0,40—0,60	20,0	180	60	—	—	—	—
	Мелкосортный	5,00	0,60	0,10	1060	0,50—0,80	25,0	—	—	—	—	—	—
Алюминий	Катанка	1,90	0,00	0,10	1020	—	15,0	—	30	—	—	—	—
	Мелкосортный	2,80	0,00	0,10	1030	—	25,0	—	—	—	—	—	—
	Среднесортный	3,70	0,00	0,10	1040	—	—	—	—	—	—	—	—
Алюминиевые сплавы	Катанка	3,70	0,00	0,10	1040	—	—	—	—	—	—	—	—
Титан	Катанка	5,00	0,60	0,10	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Цинк	Катанка	3,50	0,20	0,10	1040	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 33

Технико-экономические показатели цехов для профильной прокатки цветных металлов и сплавов

Показатели	Завод П	Завод Р	Показатели	Завод П	Завод Р
Часовой выпуск в переводе на медь, *т/час*	10	20	Общая площадь цеха, $м^2$	3925	4500
Число рабочих часов в сутки, час	8	14	Производственная площадь, $м^2$	1794	2630
Годовой выпуск в переводе на медь, *т/год*	23550	80000	Производственная площадь, % к общей площади	45,7	58,5
Количество всех трудящихся, чел.	76	164	Установленная мощность электродвигателей, *квт* . .	1850	2500
Количество производственных рабочих, чел. . . .	25	56	Выпуск на одного трудящегося, *т/год*	310	488
Производственные рабочие, % к общему числу трудящихся	32,9	34,1	Выпуск на одного производственного рабочего, *т/год*	941	1430
Вспомогательные рабочие, % к общему числу трудящихся	40,8	43,9	Выпуск на 1 $м^2$ общей площади, *т/год*	6,0	17,8
Инженерно-технические работники, % к общему числу трудящихся	10,5	7,3	Выпуск на 1 $м^2$ производственной площади, *т/год* .	13,1	30,4
Служебно-конторский персонал, % к общему числу трудящихся	6,6	3,7	Производственная площадь на 1 производственного рабочего наибольшей смены, $м^2$	71,7	94,0
Младший обслуживающий персонал, % к общему числу трудящихся	9,2	11,0	Энерговооруженность на 1 производственного рабочего наибольшей смены, *квт*	73,8	89,4

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Л. Перлин. Проблемы рационализации русских медно-проволочных заводов, Труды 2-го совещания по цветным металлам, т. I. 1927.
2. С И. Номофилов и А. А. Литвинов. Металлург, 1928, № 1.
3. К. Кодрон. Горячая обработка металлов, т. 2, 1929, стр. 53—116
4. Хютте. Справочник по прокатке, Изд. Техника и Производство, 1929
5. И Л. Перлин и Н З. Днестровский. Цветные металлы, 1930, № 1
6. Современные достижения в производстве медной проволоки в США, Вестник металлопромышленности, 1930, № 4.
7. Э. Ришарм. Проволочнопрокатные станы, изд 1-е, Гостехиздат, 1930.
8. Современное оборудование цветной металлопромышленности и возможность его изготовления в СССР. Гостехиздат. 1932.
9. А. Нелль. Сб. «Прокатка». 1933, стр. 131—154.
10. П. С. Истомин. И. Л. Перлин. Прокатка цветных металлов, ч. 2, Гостехиздат, 1933, стр. 5—133.
11. Э. Ришарм. Прокатные станы сортовые и проволочные, изд. 2-е; Металлургиздат, 1933.
12. И. Пуппе и Г. Штаубер. Справочник по металлургии, Прокатное дело, т. I, ОНТИ-ГНТИУ, 1933.
13. В. Г. Щировский. Конструкции прокатных станов и их оборудование, изд. 2-е, Металлургиздат, 1933.
14. П. Г. Гузенков. Расчет и конструкция прокатных станов ОНТИ-НКТП, 1934.
15. В. В. Шаповалов и М И. Злотников. Прокатка меднсй и алюминиевой проволоки, ОНТИ — Главредцветмет, 1935.
16. А. Д. Гольдберг Оборудование прокатных цехов, ОНТИ — НКТП, 1936.
17. И. Пуппе и Г Штаубер. Справочник по металлургии, Прокатное дело, Прокатка мелкосортового железа, проволоки и т д., т. II, ОНТИ — НКТП, 1937, стр. 359—540.
18. Новый непрерывный проволочный стан на заводе о-ва «Бетлехем Стил» в Мэриленде, Автоматика и телемеханика, 1939, № 2, стр. 146.
19. А. П Новгородцев и Н. П. Рымкевич. Сталь, 1939, № 10—11, стр. 38—45.
20. И Г Кульбачный. Механическое оборудование прокатных цехов, Металлургиздат, 1946.
21. А. И. Целиков. Прокатные станы, Металлургиздат, 1946
22. М Л Зарошинский. Сталь, 1948, № 9, стр 788—797.
23. Энциклопедический справочник «Машиностроение», т 8, Машгиз, 1948
24 Б. В. Утробин. Механизация проволочно-прокатных станов. Цветные металлы, 1951, № 6
25. А. П. Чекмарев и Ю. Ш. Майзлин. Автоматические обводные аппараты прокатных станов, Изд. АН УССР, 1952, стр 1—280
26. А. Б Челюсткин. Электроавтоматика прокатных станов, Металлургиздат, 1952, стр. 1—979.
27. Ю. М. Чижиков. Прокатное производство, Металлургиздат, 1952.
28 Иг. М. Павлов. Современные проблемы прокатки. Сб. «Проблемы металлургии», Изд. АН УССР, 1953.
29. И С. Тришевский. Проводки прокатных станов, Металлургиздат, Харьков, 1957, стр. 1—283.

ГЛАВА III

ОСНОВЫ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ

§ 1. ПРОЦЕСС ОДНОКРАТНОГО ВОЛОЧЕНИЯ

1. Основные определения

Волочение — процесс изменения площади поперечного сечения, осуществляемый протягиванием металлической полосы с определенным усилием через волочильный канал круглой или фасонной формы. Поперечное сечение полосы при прохождении принимает форму и размеры наименьшего поперечного сечения канала, а длина увеличивается пропорционально уменьшению поперечного сечения; схема процесса волочения показана на рис. 83.

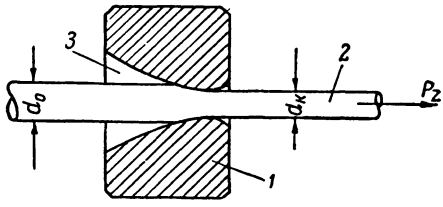


Рис. 83. Схема процесса волочения:
1 — волока; *2* — протягиваемая полоса; *3* — волочильный канал

Исходный диаметр круглой полосы d_0.

Конечный диаметр круглой протянутой полосы $d_к$.

Исходная длина полосы l_0.

Конечная длина протянутой полосы $l_к$.

Исходная площадь поперечного сечения полосы S_0.

Конечная площадь поперечного сечения протянутой полосы $S_к$.

Показатели, характеризующие степень деформации полосы при волочении:

Относительная вытяжка μ;

Относительное обжатие δ, %;

Относительное удлинение λ, %;

Коэффициент уменьшения сечения ε.

Относительная вытяжка или просто *вытяжка* — отношение длины полосы после прохода к начальной длине:

$$\mu = \frac{l_к}{l_0}.$$

Относительное обжатие по сечению или просто обжатие — отношение разности площадей поперечных сечений полосы до и после прохода к площади начального сечения, %:

$$\delta = \frac{S_0 - S_к}{S_0} \cdot 100\%.$$

Относительное удлинение или просто удлинение — отношение разности длин полосы после и до прохода к начальной длине полосы, %:

$$\lambda = \frac{l_к - l_0}{l_0} \cdot 100\%.$$

Коэффициент уменьшения сечения — отношение площади поперечного сечения полосы после прохода к площади начального сечения:

$$\varepsilon = \frac{S_к}{S_0}.$$

Волока — инструмент, в котором осуществляется процесс деформации при волочении.

Волочильный канал — отверстие заданной формы в волоке, через которое протягивается обрабатываемая полоса. Основные

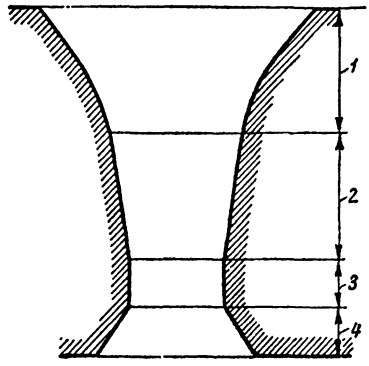


Рис. 84. Схема основных зон волочильного канала:
1 — воронка; *2* — очаг; *3* — поясок; *4* — распушка

4 зоны волочильного канала (рис. 84): смазочная воронка, рабочий очаг, калибрующий поясок, выходная распушка.

Смазочная воронка или коротко воронка имеет своей целью обеспечить подачу смазки в рабочий очаг и в то же время устранить возможность задирания задаваемой в волоку заготовки о края волочильного канала.

Рабочий очаг или коротко очаг должен осуществить заданную деформацию, уменьшая наружные размеры заготовки до заданных размеров протянутого металла.

Калибрующий поясок или коротко поясок должен обеспечить в течение срока службы волоки заданную точность и однородность размеров протянутого металла.

Выходная распушка или коротко распушка должна устранить возможность задирания протянутого металла о края волочильного канала, предохранить выходную поверхность волоки от выкрашивания и поднять рабочую область волоки ближе к середине ее высоты.

Очаг трения охватывает две основные зоны волочильного канала, соприкасающиеся с протягиваемой полосой, — рабочий очаг и калибрующий поясок.

Очаг деформации охватывает собой ту часть рабочего очага, которая, соприкасаясь непосредственно с протягиваемой полосой, уменьшает ее размеры до заданных.

Рабочий конус — рабочий очаг конической формы.

Угол волочения α равняется половине угла рабочего конуса.

Усиление волочения P_z внешняя сила, приложенная к протягиваемому металлу для осуществления процесса волочения.

Напряжение волочения — напряжение, испытываемое выходным концом протягиваемой полосы в момент волочения и обозначаемое

$$\sigma_z = \frac{P_z}{S_к}.$$

Противонатяжение — сила (рис. 85), прикладываемая к протягиваемой полосе со стороны входа ее в волоку, направленная в сторону, противоположную движению полосы, и обозначаемая P_q.

Напряжение противонатяжения — отношение усилия противонатяжения к исходному сечению полосы:

$$\sigma_q = \frac{P_q}{S_0}.$$

Критическое противонатяжение — минимальное значение противонатяжения, вызывающее заметное увеличение полного усилия волочения и обозначаемое $P_{q_{кр}}$.

Критическое напряжение противонатяжения (см. рис. 95) — отношение критического усилия противонатяжения к исходному сечению полосы:

$$\sigma_{q_{кр}} = \frac{P_{q_{кр}}}{S_0}.$$

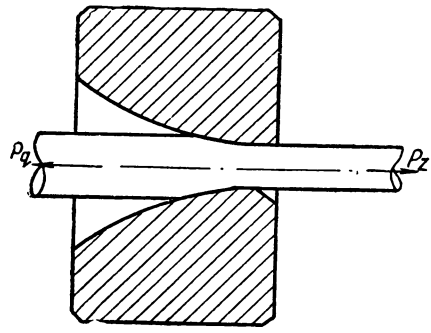


Рис. 85. Схема процесса волочения с противонатяжением:
P_q — усилие противонатяжения, *кг*; P_z — полное усилие волочения, *кг*

Коэффициент запаса — отношение предела прочности протянутого металла (σ_b, *кг/мм²*) к напряжению волочения (σ_z, *кг/мм²*):

$$K_з = \frac{\sigma_b}{\sigma_z}.$$

Закон постоянства объема металла при волочении — объем металла до волочения равен объему металла после волочения.

2. Взаимосвязь показателей степени деформации при волочении

Взаимосвязь показателей степени деформации при волочении, исходя из закона постоянства объема металла, приведена в табл. 34.

Величины δ, λ, ε и $\ln \mu$ в зависимости от величины вытяжки μ приведены в табл. 35.

Величины μ, λ, ε и $\ln \mu$ в зависимости от величины обжатия δ, %, приведены в табл. 36.

Таблица 34

Взаимосвязь показателей, выражающих степень деформации металла при волочении

Показатель	Обозначение показателя	Величина показателя, выраженная через						
		диаметр при круглом профиле d_0 и $d_к$	сечение полосы S_0 и $S_к$	длину полосы l_0 и $l_к$	вытяжку, μ	обжатие, δ	удлинение λ	коэффициент уменьшения сечения, ε
Вытяжка	μ	$\frac{d_0^2}{d_к^2}$	$\frac{S_0}{S_к}$	$\frac{l_к}{l_0}$	μ	$\frac{1}{1-\delta}$	$1+\lambda$	$\frac{1}{\varepsilon}$
Обжатие	δ	$\frac{d_0^2-d_к^2}{d_0^2}$	$\frac{S_0-S_к}{S_0}$	$\frac{l_к-l_0}{l_к}$	$\frac{\mu-1}{\mu}$	δ	$\frac{\lambda}{1+\lambda}$	$1-\varepsilon$
Удлинение	λ	$\frac{d_0^2-d_к^2}{d_к^2}$	$\frac{S_0-S_к}{S_к}$	$\frac{l_к-l_0}{l_0}$	$\mu-1$	$\frac{\delta}{1-\delta}$	λ	$\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}$
Коэффициент уменьшения сечения	ε	$\frac{d_к^2}{d_0^2}$	$\frac{S_к}{S_0}$	$\frac{l_0}{l_к}$	$\frac{1}{\mu}$	$1-\delta$	$\frac{1}{1+\lambda}$	ε

Примечание: d_0 и $d_к$ — диаметр полосы до и после волочения; l_0 и $l_к$ — то же, длина полосы; S_0 и $S_к$ — площадь поперечного сечения полосы до и после волочения.

Таблица 35

Величины δ, λ, ε и ln μ в зависимости от величины μ

μ	δ, %	λ, %	ε	ln μ
1,00	0,00000	0,0	1,00000	0,00000
1,01	0,99010	1,0	0,99010	0,00995
1,02	1,96078	2,0	0,98039	0,01980
1,03	2,91262	3,0	0,97087	0,02956
1,04	3,84615	4,0	0,96154	0,03922
1,05	4,76190	5,0	0,95238	0,04879
1,06	5,66038	6,0	0,94340	0,05827
1,07	6,54206	7,0	0,93458	0,06766
1,08	7,40741	8,0	0,92593	0,07696
1,09	8,25688	9,0	0,91743	0,08618
1,10	9,09091	10,0	0,90909	0,09531
1,11	9,90991	11,0	0,90090	0,10436
1,12	10,71429	12,0	0,89286	0,11333
1,13	11,50442	13,0	0,88496	0,12222
1,14	12,28070	14,0	0,87719	0,13103
1,15	13,04348	15,0	0,86957	0,13976
1,16	13,79310	16,0	0,86207	0,14842
1,17	14,52991	17,0	0,85470	0,15700
1,18	15,25424	18,0	0,84746	0,16551
1,19	15,96639	19,0	0,84034	0,17395
1,20	16,66670	20,0	0,83333	0,18232
1,21	17,35537	21,0	0,82645	0,19062
1,22	18,03279	22,0	0,81967	0,19885
1,23	18,69919	23,0	0,81301	0,20701
1,24	19,35484	24,0	0,80645	0,21511
1,25	20,00000	25,0	0,80000	0,22314
1,26	20,63492	26,0	0,79365	0,23111
1,27	21,25984	27,0	0,78740	0,23902
1,28	21,87500	28,0	0,78125	0,24686
1,29	22,48062	29,0	0,77519	0,25464
1,30	23,07692	30,0	0,76923	0,26236
1,31	23,66412	31,0	0,76336	0,27003
1,32	24,24242	32,0	0,75758	0,27763
1,33	24,81203	33,0	0,75188	0,28518
1,34	25,37313	34,0	0,74627	0,29267
1,35	25,92593	35,0	0,74074	0,30010
1,36	26,47059	36,0	0,73529	0,30748
1,37	27,00730	37,0	0,72993	0,31481
1,38	27,53623	38,0	0,72464	0,32208
1,39	28,05755	39,0	0,71942	0,32930
1,40	28,57143	40,0	0,71429	0,33647
1,41	29,07801	41,0	0,70922	0,34359
1,42	29,57746	42,0	0,70423	0,35066
1,43	30,06993	43,0	0,69930	0,35767
1,44	30,55556	44,0	0,69444	0,36464
1,45	31,03448	45,0	0,68966	0,37156
1,46	31,50685	46,0	0,68493	0,37844
1,47	31,97279	47,0	0,68027	0,38526
1,48	32,45243	48,0	0,67568	0,39204
1,49	32,88591	49,0	0,67114	0,39878
1,50	33,33333	50,0	0,66667	0,40547
1,51	33,77483	51,0	0,66225	0,41211
1,52	34,21053	52,0	0,65789	0,41871
1,53	34,64052	53,0	0,65359	0,42527
1,54	35,06494	54,0	0,64935	0,43178
1,55	35,48387	55,0	0,64516	0,43826
1,56	35,89744	56,0	0,64103	0,44469
1,57	36,30573	57,0	0,63694	0,45108
1,58	36,70886	58,0	0,63291	0,45742

Продолжение табл. 35

μ	δ, %	λ, %	ε	ln μ
1,59	37,10692	59,0	0,62893	0,46373
1,60	37,50000	60,0	0,62500	0,47000
1,61	37,88200	61,0	0,62112	0,47623
1,62	38,27160	62,0	0,61728	0,48243
1,63	38,65031	63,0	0,61350	0,48858
1,64	39,02439	64,0	0,60976	0,49470
1,65	39,39394	65,0	0,60606	0,50078
1,66	39,75904	66,0	0,60241	0,50682
1,67	40,11976	67,0	0,59880	0,51282
1,68	40,47619	68,0	0,59524	0,51879
1,69	40,82840	69,0	0,59172	0,52473
1,70	41,17647	70,0	0,58824	0,53063
1,71	41,52047	71,0	0,58480	0,53649
1,72	41,86047	72,0	0,58140	0,54232
1,73	42,19653	73,0	0,57803	0,54812
1,74	42,52874	74,0	0,57471	0,55389
1,75	42,85714	75,0	0,57143	0,55962
1,76	43,18182	76,0	0,56818	0,56531
1,77	43,50282	77,0	0,56497	0,57098
1,78	43,82022	78,0	0,56180	0,57661
1,79	44,13408	79,0	0,55866	0,58222
1,80	44,44444	80,0	0,55556	0,58779
1,81	44,75138	81,0	0,55249	0,59333
1,82	45,05495	82,0	0,54945	0,59884
1,83	45,35519	83,0	0,54645	0,60432
1,84	45,65217	84,0	0,54348	0,60977
1,85	45,94595	85,0	0,54054	0,61519
1,86	46,23656	86,0	0,53763	0,62058
1,87	46,52406	87,0	0,53476	0,62594
1,88	46,80851	88,0	0,53191	0,63127
1,89	47,08995	89,0	0,52910	0,63658
1,90	47,36842	90,0	0,52632	0,64185
1,91	47,64398	91,0	0,52356	0,64710
1,92	47,91667	92,0	0,52083	0,65233
1,93	48,18653	93,0	0,51813	0,65752
1,94	48,45361	94,0	0,51546	0,66269
1,95	48,71795	95,0	0,51282	0,66783
1,96	48,97959	96,0	0,51020	0,67294
1,97	49,23858	97,0	0,50761	0,67803
1,98	49,49495	98,0	0,50505	0,68310
1,99	49,74874	99,0	0,50251	0,68813
2,00	50,00000	100,0	0,50000	0,69315
3,00	66,66667	200,0	0,33333	1,09861
4,00	75,00000	300,0	0,25000	1,38629
6,00	83,33333	500,0	0,16667	1,79176
8,00	87,50000	700,0	0,12500	2,07944
10,00	90,00000	900,0	0,10000	2,30259
12,00	91,66667	1100,0	0,08333	2,48491
14,00	92,85714	1300,0	0,07143	2,63906
16,00	93,75000	1500,0	0,06250	2,77259
18,00	94,44444	1700,0	0,05556	2,89037
20,00	95,00000	1900,0	0,05000	2,99573
22,00	95,45456	2100,0	0,04545	3,09107
24,00	95,83333	2300,0	0,04167	3,17805
26,00	96,15385	2500,0	0,03846	3,25810
28,00	96,42857	2700,0	0,03571	3,33220
30,00	96,66667	2900,0	0,03333	3,40120
32,00	96,87500	3100,0	0,03125	3,46574
34,00	97,05882	3300,0	0,02941	3,52636
36,00	97,22222	3500,0	0,02778	3,58352
38,00	97,36842	3700,0	0,02632	3,63759

Продолжение табл. 35

μ	δ, %	λ, %	ε	ln μ
40,00	97,50000	3900,0	0,02500	3,68888
42,00	97,62905	4100,0	0,02381	3,73767
44,00	97,72727	4300,0	0,02273	3,78419
46,00	97,82609	4500,0	0,02174	3,82864
48,00	97,91667	4700,0	0,02083	3,87120
50,00	98,00000	4900,0	0,02000	3,91202
52,00	98,07692	5100,0	0,01923	3,95124
54,00	98,14815	5300,0	0,01852	3,98898
56,00	98,21429	5500,0	0,01786	4,02535
58,00	98,27586	5700,0	0,01724	4,06044
60,00	98,33000	5900,0	0,01667	4,09434
62,00	98,38710	6100,0	0,01613	4,12713
64,00	98,43750	6300,0	0,01563	4,15888
66,00	98,48485	6500,0	0,01515	4,18965
68,00	98,52941	6700,0	0,01471	4,21951
70,00	98,57143	6900,0	0,01429	4,24850
72,00	98,61111	7100,0	0,01389	4,27667
74,00	98,64865	7300,0	0,01351	4,30407
76,00	98,68421	7500,0	0,01316	4,33073
78,00	98,71795	7700,0	0,01282	4,35671
80,00	98,75000	7900,0	0,01250	4,38203
82,00	98,78049	8100,0	0,01220	4,40672
84,00	98,80952	8300,0	0,01190	4,43082
86,00	98,83721	8500,0	0,01163	4,45435
88,00	98,86364	8700,0	0,01136	4,47734
90,00	98,88889	8900,0	0,01111	4,49981
92,00	98,91304	9100,0	0,01087	4,52179
94,00	98,93627	9300,0	0,01064	4,54329
96,00	98,95833	9500,0	0,01042	4,56435
98,00	98,97959	9700,0	0,01020	4,58497
100,00	99,00000	9900,0	0,01000	4,60517

Таблица 36

Величины μ, λ, ε и ln μ в зависимости от величины δ

δ, %	μ	λ, %	ε	ln μ
0,0	1,00000	0,00000	1,000	0,00000
1,0	1,01010	1,01010	0,990	0,01006
2,0	1,02041	2,04080	0,980	0,02021
3,0	1,03093	3,09278	0,970	0,03046
4,0	1,04167	4,16667	0,960	0,04083
5,0	1,05263	5,26315	0,950	0,05130
6,0	1,06383	6,38297	0,940	0,06188
7,0	1,07527	7,52688	0,930	0,07258
8,0	1,08696	8,69565	0,920	0,08339
9,0	1,09890	9,89010	0,910	0,09432
10,0	1,11111	11,11111	0,900	0,10537
11,0	1,12360	12,35955	0,890	0,11654
12,0	1,13636	13,63636	0,880	0,12784
13,0	1,14943	14,94252	0,870	0,13927
14,0	1,16279	16,27906	0,860	0,15083
15,0	1,17647	17,64705	0,850	0,16252
16,0	1,19048	19,04761	0,840	0,17436
17,0	1,20482	20,48192	0,830	0,18633
18,0	1,21951	21,95121	0,820	0,19846
19,0	1,23457	23,45679	0,810	0,21073
20,0	1,25000	25,00000	0,800	0,22315
21,0	1,26582	26,58227	0,790	0,23573
22,0	1,28205	28,20512	0,780	0,24847

Продолжение табл. 39

δ, %	μ	λ, %	ε	ln μ
23,0	1,29870	29,87012	0,770	0,26137
24,0	1,31579	31,57894	0,760	0,27444
25,0	1,33333	33,33333	0,750	0,28769
26,0	1,35135	35,13513	0,740	0,30111
27,0	1,36986	36,98630	0,730	0,31472
28,0	1,38889	38,88889	0,720	0,32851
29,0	1,40845	40,84507	0,710	0,34250
30,0	1,42857	42,85714	0,700	0,35668
31,0	1,44928	44,92753	0,690	0,37107
32,0	1,47059	47,05882	0,680	0,38567
33,0	1,49254	49,25373	0,670	0,40048
34,0	1,51515	51,51515	0,660	0,41552
35,0	1,53848	53,84815	0,650	0,43079
36,0	1,56250	56,25000	0,640	0,44629
37,0	1,58730	58,73015	0,630	0,46204
38,0	1,61290	61,29032	0,620	0,47804
39,0	1,63934	63,93442	0,610	0,49430
40,0	1,66667	66,66667	0,600	0,51083
41,0	1,69492	69,49152	0,590	0,52764
42,0	1,72414	72,41379	0,580	0,54473
43,0	1,75439	75,43889	0,570	0,56212
44,0	1,78571	78,57142	0,560	0,57982
45,0	1,81818	81,81818	0,550	0,59784
46,0	1,85185	85,18518	0,540	0,61619
47,0	1,88679	88,67924	0,530	0,63488
48,0	1,92308	92,30769	0,520	0,65393
49,0	1,96078	96,07843	0,510	0,67335
50,0	2,00000	100,00000	0,500	0,69315
51,0	2,04082	104,08183	0,490	0,71335
52,0	2,08333	108,33000	0,480	0,73397
53,0	2,12766	112,76595	0,470	0,75503
54,0	2,17391	117,39130	0,460	0,77653
55,0	2,22222	122,22222	0,450	0,79851
56,0	2,27273	127,27273	0,440	0,82099
57,0	2,32558	132,55813	0,430	0,84397
58,0	2,38095	138,09523	0,420	0,86751
59,0	2,43902	143,90243	0,410	0,89160
60,0	2,50000	150,00000	0,400	0,91630
61,0	2,56410	156,41025	0,390	0,94161
62,0	2,63158	163,15789	0,380	0,96759
63,0	2,70271	170,27027	0,370	0,99426
64,0	2,77778	177,77778	0,360	1,02166
65,0	2,85714	185,71428	0,350	1,04983
66,0	2,94118	194,11764	0,340	1,07881
67,0	3,03030	203,03030	0,330	1,10867
68,0	3,12500	212,50000	0,320	1,13944
69,0	3,22581	222,58084	0,310	1,17119
70,0	3,33333	233,33333	0,300	1,20398
71,0	3,44828	244,82758	0,290	1,23788
72,0	3,57143	257,14285	0,280	1,27297
73,0	3,70370	270,37037	0,270	1,30934
74,0	3,84615	284,61538	0,260	1,34708
75,0	4,00000	300,00000	0,250	1,38630
76,0	4,18889	318,88889	0,240	1,42712
77,0	4,34783	334,78280	0,230	1,46968
78,0	4,54545	354,54545	0,220	1,51413
79,0	4,76190	376,19047	0,210	1,56065
80,0	5,00000	400,00000	0,200	1,60944
81,0	5,26316	426,31578	0,190	1,66074
82,0	5,55556	455,55555	0,180	1,71480
83,0	5,88235	488,23529	0,170	1,77196
84,0	6,25000	525,00000	0,160	1,83259
85,0	6,66667	566,66667	0,150	1,89712

Продолжение табл. 36

δ, %	μ	λ, %	ε	ln μ
86,0	7,14286	614,28571	0,140	1,96612
87,0	7,69231	669,23077	0,130	2,04023
88,0	8,33333	733,33333	0,120	2,12027
89,0	9,09091	809,09091	0,110	2,20728
90,0	10,00000	900,00000	0,100	2,30259
90,2	10,20408	920,40816	0,098	2,32279
90,4	10,41667	941,66667	0,096	2,34341
90,6	10,63830	963,82978	0,094	2,36447
90,8	10 86957	986,95652	0,092	2,38597
91,0	11,11111	1 011,11111	0,090	2,40795
91,2	11,36364	1 036,36364	0,088	2,43042
91,4	11,62791	1 062,79069	0,086	2,45341
91,6	11,90476	1 090,47619	0,084	2,47694
91,8	12,19512	1 119,51219	0,082	2,50104
92,0	12,50000	1 150,00000	0,080	2,52573
92,2	12,82051	1 182,05128	0,078	2,55105
92,4	13,15789	1 215,78947	0,076	2,57703
92,6	13,51351	1 251,35135	0,074	2,60369
92,8	13,88889	1 288,88889	0,072	2,63109
93,0	14,28571	1 328,57143	0,070	2,65926
93,2	14,70588	1 370,58824	0,068	2,68825
93,4	15,15152	1 415,15152	0,066	2,71811
93,6	15,62500	1 462,50000	0,064	2,74888
93,8	16,12903	1 512,90322	0,062	2,78063
94,0	16,66667	1 566,66667	0,060	2,81342
94,2	17,24138	1 624,13793	0,058	2,84732
94,4	17,85714	1 685,71422	0,056	2,88241
94,6	18,51111	1 751,11111	0,054	2,91878
94,8	19,23077	1 823,07696	0,052	2,95652
95,0	20,00000	1 900,00000	0,050	2,99574
95,2	20,83333	1 983,33333	0,048	3,03656
95,4	21,73913	2 073,91304	0,046	3,07912
95,6	22,72727	2 172,72727	0,044	3,12357
95,8	23,80952	2 280,95238	0,042	3,17009
96,0	25,00000	2 400,00000	0,040	3,21888
96,2	26,31579	2 531,57895	0,038	3,27017
96,4	27,77778	2 677,77778	0,036	3,32424
96,6	29,41176	2 841,17647	0,034	3,38140
96,8	31,25000	3 025,00000	0,032	3,44202
97,0	33,33333	3 233,33333	0,030	3,50656
97,2	35,71429	3 471,42857	0,028	3,57556
97,4	38,46154	3 746,15385	0,026	3,64966
97,6	41,66667	4 066,66667	0,024	3,72971
97,8	45,45455	4 445,45455	0,022	3,81672
98,0	50,00000	4 900,00000	0,020	3,91203
98,1	52,63158	5 163,15789	0 019	3,97332
98,2	55,55556	5 455,55556	0,018	4,01739
98,3	58,82353	5 782,35294	0,017	4,07455
98,4	62,50000	6 150,00000	0,016	4,13517
98,5	66,66667	6 566,66667	0,015	4,19971
98,6	71,42857	7 042,85714	0,014	4,26870
98,7	76,92308	7 592,30769	0,013	4,34281
98,8	83,33333	8 233,33333	0,012	4,42285
98,9	90,90909	8 990,90909	0,011	4,50986
99,0	100,00000	9 900,00000	0,010	4,60517
99,1	111,11111	11 011,11111	0,009	4,71054
99,2	125,00000	12 400,00000	0,008	4,82832
99,3	142,85714	14 185,71429	0,007	4,96185
99,4	166,66667	16 566,66667	0,006	5,11600
99,5	200,00000	19 900,00000	0,005	5,29832
99,6	250,00000	24 900,00000	0,004	5,52146
99,7	333,33333	33 233,33333	0,003	5,80814
99,8	500,00000	49 900,00000	0,002	6,21461
99,9	1 000,00000	99 900,00000	0,001	6,90776

3. Определение величин μ и δ при помощи счетной линейки

Дано: диаметр заготовки $d_0 = 5$ *мм*, диаметр готового изделия $d_к = 4$ *мм*.

Черту бегунка (рис. 86) совмещают с величиной $d_к = 4$ на нижней шкале линейки. Затем с чертой бегунка совмещают величину $d_0 = 5$, взятую на нижней шкале движка.

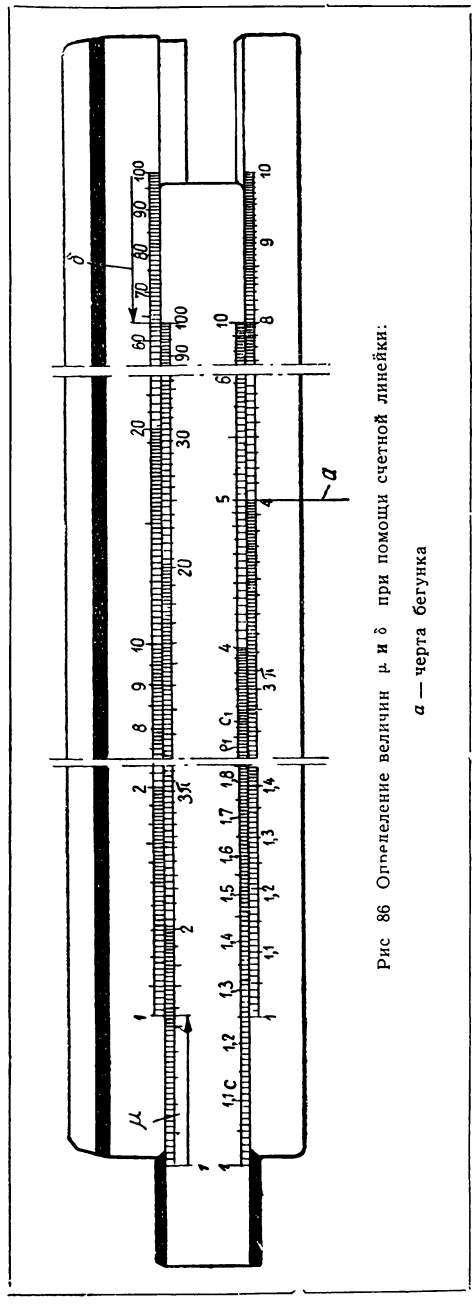


Рис. 86. Определение величин μ и δ при помощи счетной линейки:
а — черта бегунка

Для получения величины $\mu = \left(\frac{d_o}{d_к}\right)^2$ отсчитывают число делений на верхней (квадратной) шкале движка, начиная от левого его конца до черты 1 на левой верхней шкале линейки ($\mu = 1{,}56$).

Для получения величины $\delta = 100 - 100\left(\frac{d_к}{d_o}\right)^2$ отсчитывают число делений на верхней (квадратной) шкале линейки от правого ее конца до черты 100 на правом конце движка, не интересуясь при этом написанными на линейке цифрами ($\delta = 36\%$).

4. Формулы для определения усилия волочения круглых сплошных профилей

Формула С. Н. Петрова:

$$P_z = \sigma_F S_к \ln \mu (1 + f \operatorname{ctg} \alpha).$$

Формула С. И. Губкина:

$$P_z = \sigma_F S_к \left[\frac{a+1}{a}\left(1 - \frac{1}{\mu^a}\right) + m + n\right].$$

$$m = \frac{4}{3\sqrt{3}} \cdot \left(\operatorname{tg} \alpha + \frac{f}{2}\right) \text{ (по табл. 39)};$$

$$n = \frac{f \pi d_к l_к}{S_к} \cdot \frac{1}{\mu^a};$$

$l_к$ — длина калибрующего пояска, *мм*;

$\frac{1}{\mu^a}$ — определяется по табл. 40 в зависимости от μ и a;

$\frac{1}{\cos^2\left(\frac{\alpha + \rho}{2}\right)}$ — определяется по табл. 41 в зависимости от a и $f = \operatorname{tg} \rho$;

$\alpha' = \cos^2 \rho \ (1 + f \operatorname{ctg} \alpha') - 1$ — определяется по табл. 42 в зависимости от α' и $f = \operatorname{tg} \rho$

α' — приведенный угол; определяется из выражения

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{1 + 2u \frac{d_к}{d_o - d_к} \operatorname{tg} \alpha};$$

Формула И. Л. Перлина:

$$P_z = \sigma_F S_к \frac{1}{\cos^2\left(\frac{\alpha + \rho}{2}\right)} \cdot \frac{a' + 1}{a'}\left[1 - \frac{1}{\mu^{a'}}\right] + \sigma_q \frac{1}{\mu^{a'}}.$$

Формула А. Л. Тарнавского:

$$P_z = \sigma_F S_к [1 - c + (1 - 2f) \cdot (1 + cf \operatorname{ctg} \alpha) \ln \mu + 0{,}77 \operatorname{tg} \alpha + 2fc].$$

Принятые обозначения:

P_z — усилие волочения, *кг/мм²*;

σ_F — сопротивление деформации, *кг/мм²*;

d_o — диаметр исходной заготовки, *мм*;

S_o — исходное сечение, *мм²*;

$d_к$ — диаметр калибрующего пояска, *мм*;

$S_к$ — выходное сечение, *мм²*;

$\mu = \frac{S_o}{S_к}$ — вытяжка;

$\ln \mu$ — натуральный логарифм вытяжки (по табл. 35);

$f = \operatorname{tg} \rho$ — коэффициент трения;

ρ — угол трения;

α — полуугол рабочего конуса;

$1 + f \operatorname{ctg} \alpha$ — определяется по табл. 37;

$a = \frac{1}{\cos\frac{\alpha}{2}} + \frac{f}{\operatorname{tg} \alpha \cos\frac{\alpha}{2}} - 1$ (по табл. 38),

$$u = \frac{l_к}{d_к} \cong 0{,}2 \div 1{,}5;$$

$\frac{1}{\mu^{a'}}$ — определяется по табл. 40 в зависимости от μ и a';

P_q — усилие противонатяжения;

$\sigma_q = \frac{P_q}{S_o}$ — напряжение противонатяжения, *кг/мм²*;

σ_q — равняется критическому напряжению противонатяжения. если $0 < \sigma_q \leqslant \sigma_{q\,кр}$,

σ_q — равняется действительному напряжению противонатяжения, если $\sigma_q > \sigma_{q\,кр}$;

$c = 1 - \frac{\sigma_q}{\sigma_F}$.

Усилие волочения, вычисленное по формуле А. Л. Тарнавского, может быть также определено по номограммам рис. 87 и 88.

Таблица 37

Величины $1+f$, $\operatorname{ctg}\alpha$ в формуле С. Н. Петрова

α	$f=tg\,\rho$										
	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0.18	0,20
0°	1,000	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
0°30′	1,000	3,2918	5,5832	7,8754	10,1672	12,4590	14,7508	17,0426	19,3344	21,6262	23,9180
1°	1,000	2,1458	3,2916	4,4374	5,5832	6,7290	7,8748	9,0206	10,1664	11,3122	12,4580
1°30′	1,000	1,7638	2,5275	3,2913	4,0550	4,8188	5,5826	6,3463	7,1110	7,8738	8,6376
2°	1,000	1,5727	2,1454	2,7182	3,2909	3,8636	4,4363	5,0090	5,5818	6,1545	6,7272
2°30′	1,000	1,4581	1,9162	2,3742	2,8323	3,2904	3,7485	4,2066	4,6646	5,1227	5,5808
3°	1,000	1,3816	1,7632	2,1449	2,5265	2,9081	3,2897	3,6713	4,0530	4,4346	4,8162
3°30′	1,000	1,3270	1,6540	1,9810	2,3080	2,6350	2,9620	3,2890	3,6160	3,9430	4,2700
4°	1,000	1,2860	1,5720	1,8581	2,1441	2,4301	2,7161	3,0021	3,2882	3,5742	3,8602
4°30′	1,000	1,2541	1,5082	1,7624	2,0165	2,2706	2,5247	2,7788	3,0330	3,2871	3,5412
5°	1,000	1,2286	1,4572	1,6858	1,9144	2,1430	2,3716	2,6002	2,8288	3,0574	3,2860
5°30′	1,000	1,2077	1,4154	1,6231	1,8308	2,0385	2,2462	2,4539	2,6616	2,8693	3,0770
6°	1,000	1,1903	1,3806	1,5708	1,7611	1,9514	2,1417	2,3320	2,5222	2,7125	2,9028
6°30′	1,000	1,1755	1,3511	1,5266	1,7022	1,8777	2,0532	2,2288	2,4043	2,5799	2,7554
7°	1,000	1,1629	1,3258	1,4886	1,6515	1,8144	1,9773	2,1402	2,3030	2,4659	2,6288
7°30′	1,000	1,1519	1,3038	1,4558	1,6077	1,7596	1,9115	2,0634	2,2154	2,3673	2,5192
8°	1,000	1,1423	1,2846	1,4269	1,5692	1,7115	1,8538	1,9961	2,1384	2,2807	2,4230
8°30′	1,000	1,1338	1,2676	1,4015	1,5353	1,6691	1,8029	1,9367	2,0706	2,2044	2,3382
9°	1,000	1,1263	1,2526	1,3788	1,5051	1,6314	1,7577	1,8840	2,0102	2,1365	2,2628
9°30′	1,000	1,1195	1,2390	1,3586	1,4781	1,5976	1,7171	1,8366	1,9562	2,0757	2,1952
10°	1,000	1,1134	1,2268	1,3403	1,4537	1,5671	1,6805	1,7939	1,9074	2,0208	2,1342
11°	1,000	1,1029	1,2058	1,3087	1,4116	1,5145	1,6174	1,7203	1,8232	1,9261	2,0290
12°	1,000	1,0941	1,1882	1,2823	1,3764	1,4705	1,5646	1,6587	1,7528	1,8469	1,9410
13°	1,000	1,0866	1,1732	1,2599	1,3465	1,4331	1,5197	1,6063	1,6930	1,7796	1,8662
14°	1,000	1,0802	1,1604	1,2407	1,3209	1,4011	1,4813	1,5615	1,6418	1,7220	1,8022
15°	1,000	1,0746	1,1493	1,2239	1,2986	1,3732	1,4478	1,5225	1,5971	1,6718	1,7464
16°	1,000	1,0697	1,1395	1,2092	1,2790	1,3487	1,4184	1,4882	1,5579	1,6277	1,6974
17°	1,000	1,0654	1,1308	1,1963	1,2617	1,3271	1,3925	1,4579	1,5234	1,5888	1,6542
18°	1,000	1,0616	1,1231	1,1847	1,2462	1,3078	1,3694	1,4309	1,4925	1,5540	1,6156
19°	1,000	1,0581	1,1162	1,1742	1,2323	1,2904	1,3485	1,4066	1,4646	1,5227	1,5808
20°	1,000	1,0549	1,1099	1,1648	1,2198	1,2747	1,3296	1,3846	1,4395	1,4945	1,5494

Таблица 38

Величины $a = \dfrac{1}{\cos\frac{\alpha}{2}} + \dfrac{f}{\operatorname{tg}\alpha \cos\frac{\alpha}{2}} - 1$ в формуле С. И. Губкина

α	$f = \operatorname{tg}\rho$										
	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20
0°	0,000	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
0°30′	0,000	2,292	4,584	6,875	9,167	11,459	13,751	16,043	18,334	20,626	22,918
1°	0,000	1,146	2,292	3,437	4,583	5,729	6,875	8,021	9,166	10,312	11,458
1°30′	0,000	0,764	1,528	2,292	3,056	3,820	4,583	5,347	6,111	6,875	7,639
2°	0,000	0,573	1,146	1,719	2,291	2,864	3,437	4,010	4,583	5,155	5,728
2°30′	0,000	0,458	0,916	1,375	1,833	2,295	2,749	3,207	3,666	4,124	4,582
3°	0 000	0,382	0,764	1,145	1,527	1,909	2,291	2,672	3,054	3,436	3,817
3°30′	0,000	0,328	0,655	0,982	1,309	1,636	1,964	2,291	2,618	2,946	3,272
4°	0,001	0,287	0,573	0,859	1,145	1,432	1,718	2,004	2,290	2,576	2,863
4°30′	0,001	0,255	0,509	0,764	1,018	1,272	1,527	1,781	2,035	2,291	2,544
5°	0,001	0,230	0,459	0,687	0,916	1,145	1,374	1,603	1,831	2,060	2,289
5°30′	0,001	0,209	0,417	0,625	0,833	1,041	1,249	1,457	1,665	1,875	2,081
6°	0,001	0,192	0,383	0,573	0,764	0,954	1,145	1,336	1,526	1,717	1,907
6°30′	0,001	0,177	0,353	0,529	0,705	0,881	1,057	1,232	1,408	1,587	1,760
7°	0,002	0,165	0,328	0,491	0,654	0,817	0,980	1,143	1,306	1,469	1,632
7°30′	0,002	0,154	0,307	0,459	0,611	0,763	0,916	1,068	1,220	1,376	1,524
8°	0,002	0 145	0,288	0,431	0,573	0,716	0,858	1,002	1,144	1,287	1,429
8°30′	0,002	0,137	0,271	0,405	0,540	0,674	0,808	0,942	1,076	1,215	1,345
9°	0,003	0,130	0,257	0,383	0,510	0,637	0,763	0,890	1,017	1,143	1,270
9°30′	0,003	0,123	0,243	0,363	0,483	0,603	0,724	0,843	0,962	1,088	1,202
10°	0,004	0,118	0,232	0,346	0,459	0,573	0,687	0,801	0,915	1,029	1,143
11°	0,005	0,108	0,211	0,315	0,418	0,522	0,625	0,728	0,832	0,935	1,039
12°	0,006	0,100	0,195	0,289	0,384	0,479	0,573	0,667	0,762	0,857	0,952
13°	0,007	0,094	0,181	0,268	0,355	0,443	0,530	0,617	0,704	0,791	0,879
14°	0,008	0,088	0,169	0,250	0,331	0,412	0,492	0,573	0,654	0,735	0,816
15°	0,009	0,084	0,159	0,235	0,310	0,385	0,460	0,536	0,611	0,686	0,762
16°	0,010	0,080	0,151	0,221	0,291	0,362	0,432	0,503	0,573	0,643	0,714
17°	0,011	0,077	0,143	0,209	0,276	0,342	0,408	0,474	0,540	0,606	0,672
18°	0,013	0,075	0,137	0,199	0,262	0,324	0,386	0,449	0,511	0,573	0,636
19°	0,014	0,073	0,132	0,191	0,250	0,308	0,367	0,426	0,485	0,544	0,603
20°	0,015	0,071	0,127	0,183	0,239	0,294	0,350	0,406	0,462	0,518	0,573

Таблица 39

Величины $m = \frac{4}{3\sqrt{3}}\left(\operatorname{tg}\alpha + \frac{f}{2}\right)$ **в формуле С. И. Губкина**

α	$f = \operatorname{tg}\rho$										
	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20
0°	0,0000	0,0077	0,0154	0,0231	0,0308	0,0385	0,0462	0,0539	0,0616	0,0693	0,0770
0°30′	0,0067	0,0144	0,0221	0,0298	0,0375	0,0452	0,0529	0,0606	0,0683	0,0760	0,0837
1°	0,0135	0,0212	0,0289	0,0366	0,0443	0,0520	0,0597	0,0674	0,0751	0,0828	0,0905
1°30′	0,0202	0,0279	0,0356	0,0433	0,0510	0,0587	0,0664	0,0731	0,0818	0,0895	0,0972
2°	0,0269	0,0346	0,0423	0,0500	0,0577	0,0654	0,0731	0,0808	0,0885	0,0962	0,1039
2°30′	0,0337	0,0414	0,0491	0,0568	0,0645	0,0722	0,0799	0,0876	0,0952	0,1030	0,1107
3°	0,0403	0,0480	0,0557	0,0634	0,0711	0,0788	0,0865	0,0942	0,1019	0,1096	0,1173
3°30′	0,0472	0,0549	0,0626	0,0703	0,0780	0,0857	0,0934	0,1011	0,1088	0,1165	0,1242
4°	0,0537	0,0614	0,0691	0,0768	0,0845	0,0922	0,0999	0,1076	0,1153	0,1230	0,1307
4°30′	0,0606	0,0683	0,0760	0,0837	0,0914	0,0991	0,1068	0,1145	0,1222	0,1299	0,1376
5°	0,0673	0,0750	0,0827	0,0904	0,0981	0,1058	0,1135	0,1212	0,1289	0,1366	0,1443
5°30′	0,0741	0,0818	0,0895	0,0972	0,1049	0,1126	0,1203	0,1280	0,1357	0,1433	0,1511
6°	0,0809	0,0886	0,0963	0,1040	0,1117	0,1194	0,1271	0,1348	0,1425	0,1502	0,1579
6°30′	0,0877	0,0954	0,1031	0,1108	0,1185	0,1262	0,1339	0,1416	0,1493	0,1570	0,1647
7°	0,0946	0,1023	0,1100	0,1177	0,1254	0,1331	0,1408	0,1485	0,1562	0,1639	0,1716
7°30′	0,1014	0,1091	0,1168	0,1245	0,1322	0,1399	0,1476	0,1553	0,1630	0,1707	0,1784
8°	0,1082	0,1159	0,1236	0,1313	0,1390	0,1467	0,1544	0,1621	0,1698	0,1775	0,1852
8°30′	0,1151	0,1228	0,1305	0,1382	0,1459	0,1536	0,1613	0,1690	0,1767	0,1844	0,1921
9°	0,1220	0,1297	0,1374	0,1451	0,1528	0,1605	0,1682	0,1759	0,1836	0,1913	0,1990
9°30′	0,1288	0,1365	0,1442	0,1519	0,1596	0,1673	0,1750	0,1827	0,1904	0,1981	0,2058
10°	0,1358	0,1435	0,1512	0,1589	0,1666	0,1743	0,1820	0,1897	0,1974	0,2051	0,2128
11°	0,1497	0,1574	0,1651	0,1728	0,1805	0,1882	0,1959	0,2036	0,2113	0,2190	0,2267
12°	0,1637	0,1714	0,1791	0,1868	0,1945	0,2022	0,2099	0,2176	0,2253	0,2330	0,2407
13°	0,1778	0,1855	0,1932	0,2009	0,2086	0,2163	0,2240	0,2317	0,2394	0,2471	0,2548
14°	0,1920	0,1997	0,2074	0,2151	0,2228	0,2305	0,2382	0,2459	0,2536	0,2613	0,2690
15°	0,2063	0,2140	0,2217	0,2294	0,2371	0,2448	0,2525	0,2602	0,2679	0,2756	0,2833
16°	0,2208	0,2285	0,2362	0,2439	0,2516	0,2593	0,2670	0,2747	0,2824	0,2901	0,2978
17°	0,2354	0,2431	0,2508	0,2585	0,2662	0,2739	0,2816	0,2893	0,2970	0,3047	0,3124
18°	0,2502	0,2579	0,2656	0,2733	0,2810	0,2887	0,2964	0,3041	0,3118	0,3195	0,3272
19°	0,2651	0,2728	0,2805	0,2882	0,2959	0,3036	0,3113	0,3190	0,3267	0,3344	0,3421
20°	0,2803	0,2880	0,2957	0,3034	0,3111	0,3188	0,3265	0,3342	0,3419	0,3496	0,3573

Таблица 40

Величины $\frac{1}{\mu^a}$ в формулах С. И. Губкина и И. Л. Перлина

a	Относительная вытяжка μ										
	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00
0,00	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,10	1,000	0,991	0,982	0,974	0,967	0,960	0,954	0,948	0,943	0,938	0,933
0,20	1,000	0,981	0,964	0,949	0,935	0,922	0,910	0,899	0,889	0,880	0,871
0,30	1,000	0,972	0,947	0,924	0,904	0,886	0,868	0,853	0,838	0,825	0,812
0,40	1,000	0,963	0,930	0,900	0,874	0,850	0,829	0,809	0,790	0,774	0,758
0,50	1,000	0,954	0,913	0,877	0,845	0,816	0,791	0,767	0,745	0,725	0,707
0,60	1,000	0,944	0,896	0,854	0,817	0,784	0,754	0,727	0,703	0,681	0,660
0,70	1,000	0,936	0,880	0,832	0,790	0,753	0,720	0,690	0,663	0,638	0,616
0,80	1,000	0,927	0,864	0,811	0,764	0,723	0,687	0,654	0,625	0,598	0,574
0,90	1,000	0,918	0,849	0,790	0,739	0,694	0,655	0,620	0,589	0,561	0,536
1,00	1,000	0,909	0,833	0,769	0,714	0,667	0,625	0,588	0,556	0,526	0,500
1,10	1,000	0,900	0,818	0,749	0,691	0,640	0,596	0,571	0,524	0,499	0,467
1,20	1,000	0,892	0,803	0,730	0,668	0,515	0,569	0,529	0,494	0,463	0,435
1,30	1,000	0,883	0,789	0,711	0,646	0,590	0,543	0,502	0,466	0,434	0,404
1,40	1,000	0,875	0,775	0,693	0,624	0,567	0,518	0,476	0,439	0,407	0,379
1,50	1,000	0,867	0,761	0,675	0,604	0,544	0,494	0,451	0,414	0,382	0,354
1,60	1,000	0,859	0,747	0,657	0,584	0,511	0,471	0,428	0,390	0,358	0,330
1,70	1,000	0,850	0,733	0,640	0,564	0,502	0,450	0,406	0,368	0,336	0,308
1,80	1,000	0,842	0,720	0,624	0,546	0,482	0,429	0,385	0,347	0,315	0,287
1,90	1,000	0,834	0,707	0,608	0,528	0,463	0,409	0,365	0,327	0,295	0,268
2,00	1,000	0,826	0,694	0,592	0,510	0,444	0,391	0,346	0,309	0,277	0,250
2,50	1,000	0,788	0,634	0,519	0,431	0,363	0,305	0,265	0,230	0,201	0,185
3,00	1,000	0,751	0,579	0,456	0,364	0,297	0,244	0,204	0,172	0,146	0,125
3,50	1,000	0,716	0,528	0,399	0,308	0,242	0,190	0,156	0,128	0,106	0,088
4,00	1,000	0,683	0,482	0,351	0,260	0,197	0,152	0,120	0,095	0,077	0,063
5,00	1,000	0,621	0,402	0,270	0,186	0,132	0,095	0,070	0,053	0,040	0,031
6,00	1,000	0,565	0,335	0,208	0,133	0,088	0,060	0,041	0,030	0,021	0,016
7,00	1,000	0,513	0,279	0,160	0,095	0,059	0,037	0,024	0,016	0,011	0,008
8,00	1,000	0,467	0,233	0,123	0,068	0,039	0,023	0,014	0,009	0,006	0,004
9,00	1,000	0,424	0,194	0,095	0,048	0,026	0,015	0,008	0,005	0,003	0,002
10,00	1,000	0,386	0,162	0,073	0,035	0,017	0,009	0,005	0,003	0,002	0,001

Таблица 41

Величины $\frac{1}{\cos^2 \frac{\alpha+\rho}{2}}$ в формуле И. Л. Перлина

α	$f = \mathrm{tg}\rho$										
	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20
0°	1,000	1,000	1,000	1,001	1,002	1,003	1,004	1,005	1,006	1,008	1,010
0°30′	1,000	1,000	1,000	1,001	1,002	1,003	1,004	1,005	1,007	1,009	1,011
1°	1,000	1,000	1,001	1,001	1,002	1,003	1,005	1,006	1,008	1,010	1,012
1°30′	1,000	1,000	1,001	1,001	1,002	1,003	1,005	1,007	1,009	1,011	1,013
2°	1,000	1,001	1,001	1,002	1,003	1,004	1,006	1,008	1,010	1,012	1,014
2°30′	1,000	1,001	1,001	1,002	1,003	1,004	1,006	1,008	1,010	1,012	1,015
3°	1,001	1,001	1,002	1,003	1,004	1,005	1,007	1,009	1,011	1,013	1,016
3°30′	1,001	1,001	1,002	1,003	1,005	1,006	1,008	1,010	1,012	1,014	1,017
4°	1,001	1,002	1,003	1,004	1,006	1,007	1,009	1,011	1,013	1,015	1,018
4°30′	1,001	1,002	1,003	1,004	1,006	1,008	1,010	1,012	1,014	1,016	1,019
5°	1,002	1,003	1,004	1,005	1,007	1,009	1,011	1,013	1,015	1,017	1,021
5°30′	1,002	1,003	1,005	1,006	1,007	1,009	1,012	1,014	1,016	1,018	1,022
6°	1,003	1,004	1,005	1,006	1,008	1,010	1,013	1,015	1,017	1,020	1,023
6°30′	1,003	1,004	1,006	1,007	1,009	1,011	1,014	1,016	1,018	1,021	1,024
7°	1,004	1,005	1,007	1,008	1,010	1,012	1,015	1,017	1,020	1,023	1,026
7°30′	1,004	1,005	1,007	1,009	1,011	1,013	1,016	1,018	1,021	1,024	1,027
8°	1,005	1,006	1,008	1,010	1,012	1,014	1,017	1,020	1,023	1,026	1,029
8°30′	1,005	1,007	1,009	1,011	1,013	1,015	1,018	1,021	1,024	1,027	1,030
9°	1,006	1,008	1,010	1,012	1,014	1,016	1,019	1,022	1,026	1,029	1,032
9°30′	1,007	1,009	1,011	1,013	1,015	1,017	1,020	1,023	1,027	1,030	1,033
10°	1,008	1,010	1,012	1,014	1,016	1,019	1,022	1,025	1,029	1,032	1,035
11°	1,009	0,011	1,014	1,016	1,019	1,022	1,025	1,028	1,032	1,035	1,039
12°	1,011	1,013	1,016	1,018	1,021	1,024	1,028	1,031	1,035	1,039	1,043
13°	0,013	1,015	1,018	1,021	1,024	1,027	1,031	1,034	1,038	1,042	1,047
14°	1,015	1,018	1,021	1,024	1,027	1,030	1,034	1,038	1,042	1,046	1,051
15°	1,017	1,020	0,023	1,026	1,030	1,033	1,037	1,041	1,046	1,050	1,055
16°	1,020	1,023	1,026	1,029	1,033	1,037	1,041	1,045	1,050	1,054	1,059
17°	1,022	1,026	1,029	1,032	1,036	1,040	1,045	1,049	1,054	1,058	1,063
18°	1,025	1,029	1,032	1,035	1,039	1,044	1,049	1,053	1,058	1,063	1,068
19°	1,028	1,032	1,035	1,039	1,043	1,048	1,053	1,058	1,063	1,068	1,073
20°	1,031	1,035	1,039	1,043	1,047	1,052	1,057	1,062	1,068	1,073	1,079

Таблица 42

Величины $a^1 = \cos^2 \rho (1 + f \cdot \operatorname{ctg} \alpha^1) - 1$ в формуле И. Л. Перлина

α^1	$f = tg\,\rho$										
	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20
0°	0,000	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
0°30′	0,000	2,290	4,573	6,848	9,103	11,336	13,541	15,715	17,846	19,948	22,000
1°	0,000	1,145	2,286	3,422	4,548	5,662	6,763	7,848	8,913	9,957	10,979
1°30′	0,000	0,763	1,523	2,280	3,029	3,771	4,498	5,225	5,933	6,627	7,306
2°	0,000	0,572	1,142	1,708	2,270	2,825	3,373	3,913	4,443	4,959	5,468
2°30′	0,000	0,458	0,913	1,366	1,814	2,258	2,695	3,126	3,538	3,902	4,366
3°	0,000	0,381	0,760	1,137	1,510	1,879	2,243	2,600	2,952	3,295	3,631
3°30′	0,000	0,326	0,650	0,974	1,293	1,609	1,920	2,226	2,526	2,819	3,106
4°	0,000	0,286	0,572	0,851	1,130	1,406	1,678	1,945	2,206	2,462	2,712
4°30′	0,000	0,254	0,506	0,756	1,004	1,248	1,489	1,725	1,957	2,184	2,405
5°	0,000	0,228	0,455	0,680	0,902	1,122	1,338	1,550	1,758	1,961	2,160
5°30′	0,000	0,207	0,413	0,617	0,819	1,018	1,214	1,417	1,596	1,779	1,959
6°	0,000	0,190	0,378	0,565	0,750	0,932	1,111	1,287	1,459	1,627	1,791
6°30′	0,000	0,175	0,349	0,521	0,691	0,859	1,024	1,185	1,344	1,499	1,649
7°	0,000	0,162	0,323	0,483	0,641	0,796	0,949	1,099	1,246	1,388	1,528
7°30′	0,000	0,151	0,302	0,451	0,597	0,742	0,884	1,024	1,160	1,293	1,422
8°	0,000	0,142	0,283	0,422	0,559	0,695	0,827	0,958	1,085	1,209	1,330
8°30′	0,000	0,133	0,266	0,397	0,526	0,653	0,777	0,900	1,019	1,135	1,248
9°	0,000	0,126	0,251	0,374	0,496	0,615	0,733	0,848	0,960	1,070	1,176
9°30′	0,000	0,119	0,237	0,354	0,469	0,582	0,693	0,801	0,907	1,010	1,111
10°	0,000	0,113	0,225	0,335	0,444	0,552	0,657	0,759	0,860	0,957	1,052
11°	0,000	0,102	0,204	0,304	0,402	0,500	0,594	0,687	0,778	0,865	0,950
12°	0,000	0,094	0,186	0,278	0,368	0,456	0,542	0,627	0,709	0,789	0,866
13°	0,000	0,086	0,171	0,255	0,338	0,419	0,498	0,575	0,651	0,724	0,794
14°	0,000	0,080	0,159	0,236	0,312	0,387	0,460	0,532	0,601	0,668	0,733
15°	0,000	0,074	0,147	0,220	0,291	0,360	0,427	0,493	0,557	0,619	0,679
16°	0,000	0,069	0,138	0,205	0,271	0,335	0,398	0,460	0,518	0,577	0,632
17°	0,000	0,065	0,129	0,192	0,254	0,314	0,373	0,430	0,485	0,539	0,591
18°	0,000	0,061	0,121	0,180	0,238	0,295	0,350	0,403	0,455	0,505	0,553
19°	0,000	0,058	0,114	0,170	0,224	0,278	0,329	0,380	0,428	0,475	0,520
20°	0,000	0,055	0,108	0,161	0,212	0,262	0,311	0,359	0,404	0,448	0,490

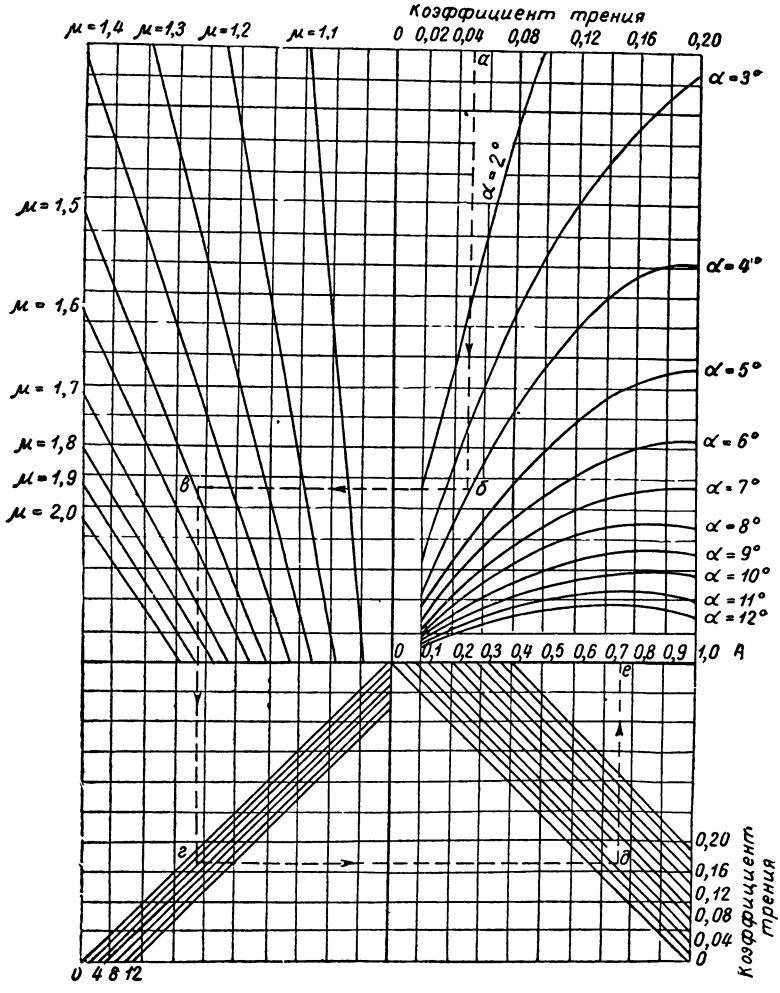


Рис. 87. Номограмма для расчета напряжения σ_z по формуле А. Л. Тарнавского при отсутствии противонатяжения
Заданные величины: $\mu = 1{,}5$; $\alpha = 4°$; $f = 0{,}05$.
Искомая величина: $\sigma_z = A_{\sigma_F} = 0{,}76\ \sigma_F$

Коэффициент запаса $K_з$ приведен в табл. 43.

Таблица 43

Коэффициент запаса $K_з$

Наименование параметра	Значение или рекомендуемые величины параметра	Наименование параметра	Значение или рекомендуемые величины параметра
Коэффициент запаса $K_з$	$K_з = \frac{P_в}{P_z} = \frac{\sigma_в}{\sigma_z}$	Вероятность массовых обрывов	$K_з < 1{,}40$
Условия надежного осуществления процесса волочения	$\sigma_z < \sigma_в$; $K_з > 1{,}00$	Неполное использование пластичности протягиваемого металла	$K_з > 2{,}00$
Рекомендуемые значения $K_з$	$K_з = 1{,}40 \div 2{,}00$		

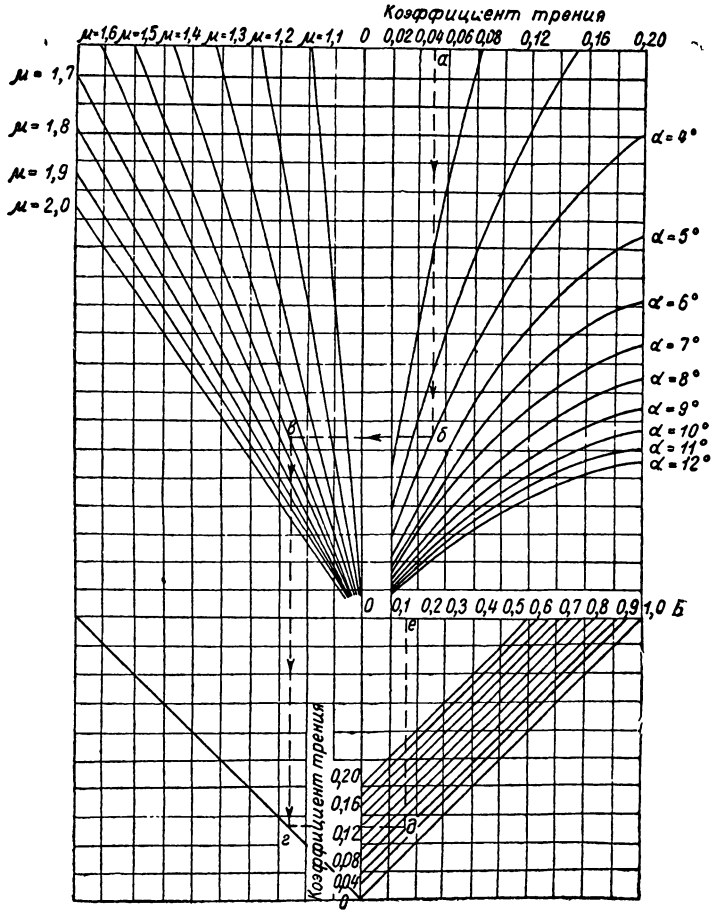


Рис. 88. Номограмма для расчета приращения напряжения волочения при наличии противонатяжения по формуле А. Л. Тарнавского
Заданные величины $\mu = 1{,}5$; $\alpha = 4°$; $f = 0{,}05$. Искомые величины: приращение напряжения волочения $\Delta\sigma_z = 0{,}16\ \sigma_q$ и полное напряжение волочения

$$\sigma_z = A\sigma_p + B\sigma_q = 0{,}76\ \sigma_p + 0{,}16\ \sigma_q$$

5. Влияние разных факторов на σ_z и $K_з$ по экспериментальным данным

Влияние формы рабочего очага на σ_z и $K_з$

Коническая форма рабочего очага, Проведенные Н. З. Днестровским и др. работы [5, 9] показали наличие широкой зоны оптимальных полууглов конуса α, в пределах которой σ_l не меняется (рис. 89). На рис. 90, *а* и *б* показано схематически изменение σ_z и $K_з$ при увеличении α. При увеличении вытяжки (кривые *2*) зона оптимальных полууглов сдвигается в сторону больших величин. Опровергнуты данные зарубежных исследователей о наличии единого резко выраженного оптимального полуугла конуса.

Радиальная форма рабочего очага. Проведенные работы не показали какого-либо существенного повышения σ_z по сравнению с его значением при конической форме. Опровергнуты данные зарубежных исследователей о непригодности радиальной формы, утверждавших, что из всех элементарных усеченных конусов, образующих такую форму, только у одного значение α будет соответствовать единому оптимальному; отклонение значения α у всех остальных элементарных усеченных конусов в обе стороны от оптимальной величины повлечет за собой повышение σ_z. Поскольку же фактически имеется широкая оптимальная зона, то вполне возможна такая радиальная форма у которой величины α всех элементарных усеченных конусов будут лежать в пределах оптимальной зоны.

При практическом применении радиального рабочего очага необходимо, чтобы длина очага деформации радиальной формы, соответствующая максимальной расчетной вытяжке 1,67 (обжатию 40%), равнялась диаметру калибрующего пояска.

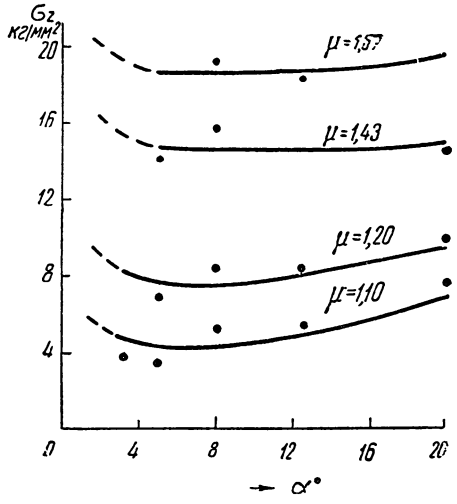


Рис. 89. Зависимость σ_z от полуугла рабочего конуса $\alpha°$ для твердосплавных волок [9]

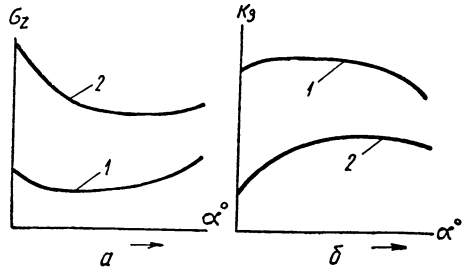


Рис 90. Зависимость σ_z (*а*) и $K_з$ (*б*) от полуугла рабочего конуса $\alpha°$:
1 — при малых вытяжках μ; *2* — при больших вытяжках μ

Преимущества радиальной формы следующие:

1. При радиальной форме один и тот же канал может обеспечить достаточную длину очага деформации как для большой, так и для малой вытяжки; при конической же форме требуется изготовление нескольких волок с разными значениями α.

2. При радиальной форме в начале очага деформации величина вытяжки наибольшая; по мере перехода к калибрующему пояску металл все более нагартовывается, но одновременно соответственно уменьшается и вытяжка; при конической же форме величина вытяжки по длине очага деформации увеличивается, несмотря на увеличение нагартовки.

3. При радиальной форме стойкость канала в эксплуатации должна быть больше, поскольку износ радиального рабочего очага может быть представлен как постепенное истирание сначала до конического профиля и только затем до образования кольца.

Влияние длины калибрующего пояска на σ_z и $K_з$

При малых частных вытяжках (1,10—1,20) фактический диаметр протянутого металла не отличается от диаметра калибрующего пояска, вследствие чего на всем протяжении пояска происходит трение протягиваемого металла о его стенки; чем большую длину имеет калибрующий поясок, тем больше будут потери на трение и тем больше будет σ_z (рис. 91, *а*, кривая *1*).

При больших частных вытяжках фактический диаметр проволоки будет несколько меньше диаметра пояска; в результате этого потери на трение будут небольшими и σ_z не будет зависеть от длины пояска (см. рис. 91, *а*, кривая *2*). Величина $K_з$ также

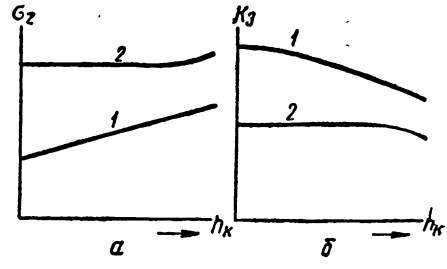


Рис. 91. Зависимость σ_z (*а*) и $K_з$ (*б*) от длины калибрующего пояска $h_к$:
1 — при малых вытяжках μ; *2* — при больших вытяжках μ

будет зависеть от длины пояска только при малых вытяжных (см. рис. 91, *б*, кривые *1* и *2*).

Практически длину калибрующего пояска нельзя определять по величине σ_z, а следует устанавливать с учетом производственных соображений: стойкости волоки на износ и удобства разделки.

Влияние степени деформации на σ_z и $K_з$

Зависимость σ_z от $\ln \mu$ в пределах зоны оптимальных полууглов рабочего конуса может быть выражена прямой линией, не проходящей через начало координат (рис. 92, *а*). Уравнение этой прямой может быть выражено формулой:

$$\sigma_z = a + b \ln \mu.$$

Если принять для заготовки размеры, настолько мало отличающиеся от размеров калибрующего пояска, что вся деформация будет лежать в пределах упругих деформаций, то для осуществления упругой деформации и преодоления трения потребуется некоторое усилие, хотя остаточная дефор-

мация после волочения будет равна нулю, т. е. при $\mu = 1{,}0$ и $\ln \mu = 0$, $\sigma_{z_0} = a > 0$.

Необходимо учитывать, что обычно по оси абсцисс откладывают остаточные деформации после снятия нагрузки, а не полные деформации под нагрузкой, включающие в себя и упругие деформации.

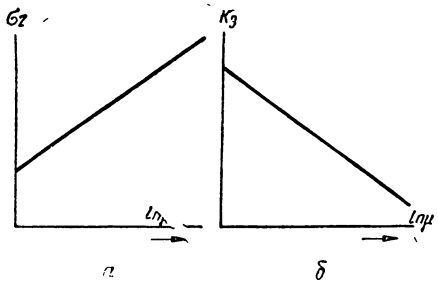


Рис. 92. Зависимость σ_z (*а*) и $K_з$ (*б*) от натурального логарифма вытяжки $\lg \mu$

Величины $K_з$, соответствующие прямой для σ_z, представлены на рис. 92, *б*.

Зависимость σ_z и $K_з$ от величины обжатия δ представлена на рис. 93.

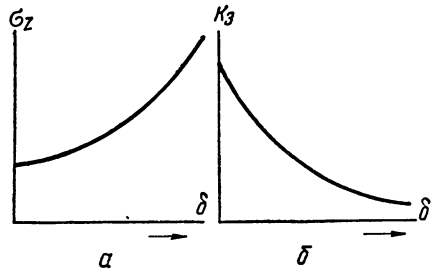


Рис. 93. Зависимость σ_z (*а*) и $K_з$ (*б*) от обжатия δ

Влияние предела прочности протянутого металла σ_b на σ_z и $K_з$

Зависимость σ_z и $K_з$ от σ_b, по экспериментальным данным, может быть изображена кривыми, показанными на рис. 94. Прямолинейная зависимость между $K_з$ и σ_b имеет место при средних значениях σ_b (рис. 94, *б*).

У металлов с пониженным пределом прочности (свинец, цинк, чистейший алюминий) пониженная величина $K_з$ связана с тем, что низкая температура рекристаллизации не позволяет воспринимать этим металлам нагартовку в процессе волочения; естественно, что при прочих равных условиях ненагартованный металл не способен передать необходимое для волочения усилие и легче обрывается при той же величине вытяжки.

У сплавов с повышенным пределом прочности пониженная величина $K_з$ объясняется очень высоким отношением предела текучести к пределу прочности у протянутого металла; при одинаковых частных вытяжках это приводит к отклонению величины σ_z вверх, а $K_з$ — вниз от прямой (рис. 94, *б*).

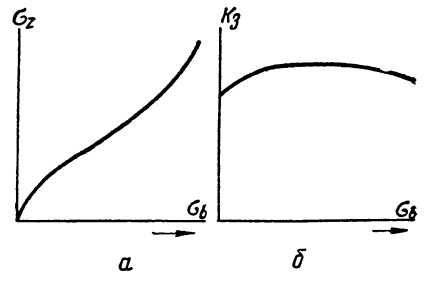


Рис. 94. Зависимость σ_z (*а*) и $K_з$ (*б*) от предела прочности протягиваемого металла σ_b

Влияние противонатяжения на σ_z и $K_з$

Процесс волочения подчиняется гипотезе наибольших касательных напряжений:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = 2\tau,$$

где σ_1 и σ_2 — главные нормальные напряжения;

τ — наибольшее касательное напряжение.

Если иметь в виду абсолютные значения напряжений и учесть соответствующими знаками, что σ_1 — напряжение растяжения, а σ_2 — напряжение сжатия, то можно написать

$$\sigma_1 + \sigma_2 = 2\tau.$$

Главное напряжение σ_1 функционально связано с напряжением волочения, а σ_2 — с давлением стенки волочильного канала.

Противонатяжение прилагается к заготовке перед входом ее в волоку и действует в сторону, противоположную направлению волочения.

Применением противонатяжения достигается увеличение главного напряжения растяжения σ_1 при входе в волоку. Это вызывает соответствующее уменьшение значения σ_2 в силу того, что необходимое для пластической деформации напряжение τ должно остаться неизменным. Уменьшение же σ_2 приводит к уменьшению давления стенки волоки.

Чтобы дать практически существенный результат, противонатяжение должно быть достаточно большим, приближаясь к пределу текучести протягиваемого металла.

В таком процессе проволока деформируется главным образом за счет растягивающих напряжений, а сжимающие напряжения и давление стенки играют второстепенную роль.

При однократном волочении противонатяжение можно создавать торможением отдающей катушки либо присоединением

отдающей катушки к валу электрического генератора, который будет направлять в сеть выработанную им энергию.

При многократном волочении противонатяжение, строго говоря, имеется во всех случаях, так как проволока сходит с тяговой шайбы или барабана с некоторым натяжением; но при обычных конструкциях машин противонатяжение недостаточно для того, чтобы дать заметный практический эффект.

По экспериментальным данным, среднее значение σ_z при наличии противонатяжения увеличивается и тем больше, чем больше противонатяжение (рис. 95, *а*); естественно,

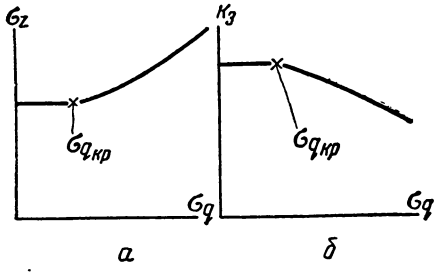


Рис. 95. Зависимость σ_z (*а*) и $K_з$ (*б*) от напряжения противонатяжения σ_q ($\sigma_{q_{кр}}$ — критическое напряжение противонатяжения)

что величина $K_з$ уменьшается (рис. 95, *б*). Преимущества следующие: резко снижается давление протягиваемого металла на стенки канала и вследствие этого значительно повышается стойкость волок. Недостатки следующие: снижается величина вытяжки и увеличивается число проходов; существенно возрастает расход электроэнергии на волочение единицы изделия (при отсутствии использования усилия противонатяжения для выработки электроэнергии).

Влияние вращения волоки на σ_z и $K_з$

Экспериментальными данными Н. З. Днестровского и Г. И. Аноповой показано, что после перехода за известный предел числа оборотов волоки, приходящихся на единицу длины протянутого металла, σ_z падает в десятки раз — в пределе до нуля (рис. 96 *а*). Для получения такого эффекта на каждую единицу длины протянутого металла, равную его диаметру, должно приходиться не менее одного оборота волоки. Однако экономия на суммарном расходе энергии не получается, так как для вращения волоки требуется затрата энергии. Не удается также существенно увеличить частные вытяжки, поскольку пределом является разрушение металла от поперечного скручивания, а не от продольного разрыва, как при обычном процессе волочения. Место разрушения шейки не имеет и соответствует обычному излому при испытании на кручение. Величина $K_з$ при учете скручивающих напряжений практически не меняется (рис. 96, *б*).

Для медной проволоки процесс ротационного волочения в настоящее время не может иметь практического значения, так как при рекомендуемых скоростях волочения (до 30 *м/сек*), число оборотов волоки для

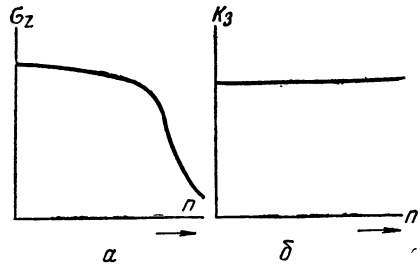


Рис. 96. Зависимость σ_z (*а*) и $K_з$ (*б*) от числа оборотов волоки n

проволоки диаметров 1,00 *мм* должно было бы составлять 1 800 000 в минуту, что практически недостижимо. Этот процесс имеет значение для волочения толстой проволоки из высокопрочных сплавов, а также прутков и труб, где применяемые скорости волочения и необходимое число оборотов волоки значительно ниже.

Влияние вибрации протягиваемого металла на σ_z и $K_з$

По экспериментальным данным Н. З. Днестровского, если увеличить число вибраций на единицу длины протягиваемого металла, можно уменьшить продольно действующее усилие волочения в десятки раз — в пределе до нуля (рис. 97, *а*). Значение σ_z умень-

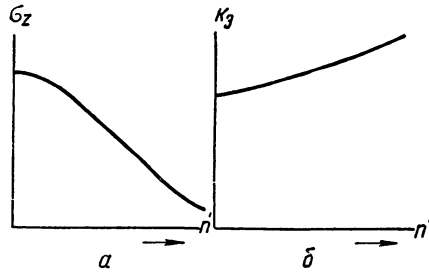


Рис. 97. Зависимость σ_z (*а*) и $K_з$ (*б*) от числа вибраций волоки n'

шается вследствие того, что протягиваемый металл деформируется еще до входа в очаг деформации за счет внешней силы, вызывающей его вибрацию; кроме того, облегчается доступ смазки в очаг деформации.

Можно полагать, что коэффициент запаса $K_з$ при вибрационном волочении значи-

тельно увеличится (рис. 97, *б*), что позволит существенно повысить величины частных вытяжек.

Влияние температуры на σ_z и $K_з$

По экспериментальным данным Н. З. Днестровского, по мере повышения температуры значение σ_z значительно падает (рис. 98, *а*); однако параллельно и более резко

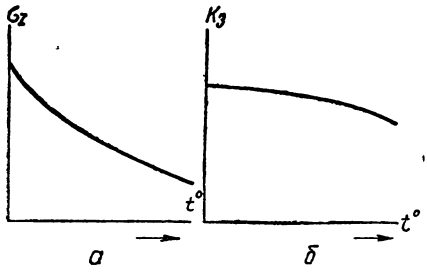


Рис. 98. Зависимость σ_z (*а*) и $K_з$ (*б*) от температуры протягиваемого металла $t°$

падает предел прочности; в результате величина $K_з$ несколько уменьшается (рис. 98, *б*), что требует снижения частных вытяжек. Обычные волочильные смазки при высоких температурах становятся непригодными; можно рекомендовать смазки с добавками графита. Процесс горячего волочения может представлять интерес только для малопластичных сплавов: вольфрама, молибдена и т. п.

Влияние скорости прямолинейного волочения на σ_z и $K_з$

Многочисленные опыты и массовая практика не показывают какого-либо существенного изменения σ_z и $K_з$ при увеличении скорости (рис. 99). Неизменность σ_z при изменении скорости прямолинейного волочения вытекает из условия постоянства работы, необходимой для осуществления определенной деформации при прочих равных условиях. Проведенные Н. З. Днестровским опыты при близком к прямолинейному волочению процессе — холодной деформации прямолинейным растяжением — не показали существенных изменений в работе, затраченной на деформацию, даже при увеличении скорости в 500 000 раз. Из условия постоянства работы и постоянства пройденного пути на единицу длины протянутого металла неизбежно вытекает постоянство усилия волочения при любой скорости. Мощность электродвигателя, связанная с произведением усилия волочения на скорость волочения, возрастает пропорционально увеличению скорости.

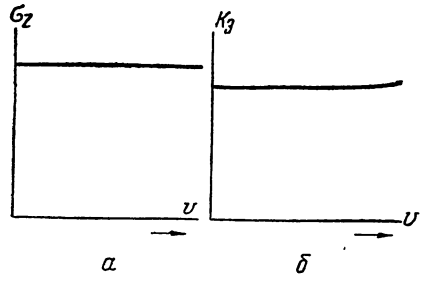


Рис. 99. Зависимость σ_z (*а*) и $K_з$ (*б*) от скорости волочения по прямой линии v

Влияние скорости волочения с последующей намоткой на катушку на σ_z и $K_з$

При волочении проволоки одновременно с прямолинейной протяжкой через волоку происходит обвивание ее вокруг тяговой шайбы с последующей намоткой на катушку или же непосредственная намотка на приемный барабан. Движение проволоки из прямолинейного становится криволинейным по окружности, причем в витках проволоки появляются дополнительные напряжения $\sigma_ц$ от центробежных усилий, стремящиеся вызвать ее разрыв:

$$\sigma_ц = \frac{\gamma \cdot v^2}{1000g} \text{ кг/мм}^2,$$

где γ — удельный вес;
v — скорость волочения, *м/сек*;
g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 *м/сек*.

Для меди

$$\sigma_ц = \frac{8{,}89 \cdot v^2}{1000 \cdot 9{,}81} = \frac{v^2}{1104} \text{ кг/мм}^2;$$

для стали

$$\sigma_ц = \frac{v^2}{1250} \text{ кг/мм}^2.$$

Напряжение $\sigma_ц$ будет складываться с напряжением волочения σ_z, вызывая увеличение σ_z (рис. 100, *а*) и снижение $K_з$ (рис. 100, *б*), более существенные при скоростях волочения выше 100 *м/сек*. Одновременно с приемом проволоки на катушку появятся центробежные усилия, действующие на периферии щеки катушки и до-

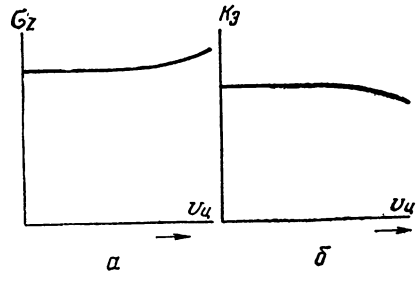


Рис. 100. Зависимость σ_z (*а*) и $K_з$ (*б*) от скорости волочения с намоткой на катушку $v_ц$

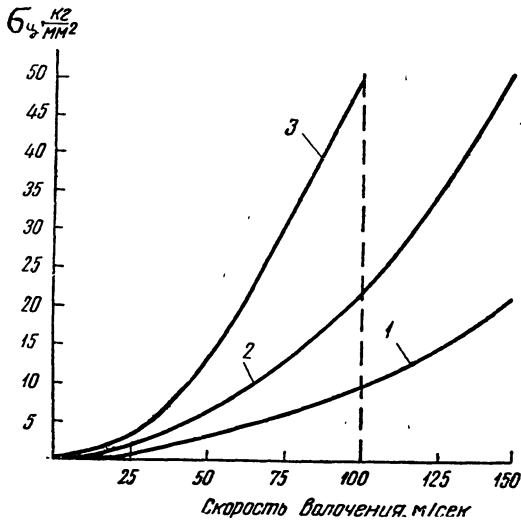


Рис. 101. Зависимость добавочного напряжения от скорости волочения:
1 — $\sigma_ц$ для проволоки; *2* — $\sigma_ц$ для периферии щеки катушки при $D_ф = 1{,}5\ D_ш$; *3* — $\sigma_ц$ для периферии щеки катушки при $D_ф = 2{,}5\ D_ш$

стигающие больших значений (рис. 101) в связи с тем, что начальной скорости движения животика в 100 *м/сек* будут соответствовать скорости в 150—250 *м/сек* на периферии щеки:

$$D_ф = 1{,}50 \div 2{,}50 D_ш.$$

Соответствующие напряжения $\sigma_ц$ на периферии щеки могут дойти до 50 *кг/мм²* (рис. 101, кривая *3*), что вызовет разрушение катушки, если она изготовлена из обычной стали.

При волочении проволоки со скоростью выше 50 *м/сек* особое внимание уделяется материалу и размерам катушек, а также способам их закрепления на машине, обеспечивающим устранение вибрации.

6. Методика экспериментального определения усилия волочения и коэффициентов запаса

Усилие волочения P_z и напряжение волочения σ_z определяют на разрывных машинах, однократных волочильных машинах и на цепных станах.

Для определения величины коэффициента запаса $K_з$ необходимо, помимо величины σ_z, определить еще величину σ_b.

Определение разрывающего усилия P_b и предела прочности при растяжении σ_b производят обычными способами на разрывных машинах.

Экспериментальные данные для величины среднего напряжения при волочении медной проволоки и различной формы профилей из медной заготовки приведены в табл. 44 и 45.

Таблица 44

Экспериментальные данные для величин среднего напряжения σ_z при волочении медной проволоки

Начальный диаметр d_0, *мм*	Конечный диаметр $d_к$, *мм*	Предел прочности при растяжении σ_b, *кг/мм²*	Усилие волочения P_z, *кг*	Напряжение волочения σ_z, *кг/мм²*	Коэффициент запаса, $K_з$
1,500	1,400	46,5	23,500	15,3	3,04
1,400	1,250	47,5	30,000	24,5	1,94
1,250	1,130	47,5	29,000	28,9	1,65
1,130	1,000	47,5	20,000	25,5	1,70
1,000	0,900	48,5	14,100	22,2	2,18
0,900	0,800	48,5	11,100	22,1	2,19
0,800	0,700	49,5	9,200	23,9	2,07
0,700	0,630	50,5	7,700	24,7	2,05
0,630	0,560	48,5	—	—	—
0,560	0,500	46,5	5,300	27,0	1,72
0,500	0,450	46,5	4,600	29,6	1,57
0,450	0,400	45,5	3,900	31,0	1,47
0,400	0,350	45,5	3,100	32,2	1,41
0,350	0,310	44,5	2,200	30,0	1,48
0,310	0,280	44,5	1,800	29,0	1,53
0,280	0,250	45,5	1,000	20,5	2,22
0,250	0,220	46,0	—	—	—
0,220	0,200	46,5	0,800	25,2	1,85
0,200	0,180	47,0	—	—	—
0,180	0,160	47,5	0,450	22,5	2,11
0,160	0,140	47,5	0,260	17,7	2,68
0,140	0,130	47,5	0,240	18,5	2,57
0,130	0,120	48,5	0,230	20,9	2,32
0,120	0,110	48,5	0,200	20,0	2,43
0,110	0,100	48,5	0,170	16,0	3,03
0,100	0,095	49,5	0,110	15,5	3,19
0,095	0,090	49,5	0,140	21,9	2,26
0,090	0,085	49,5	0,090	15,9	3,11
0,085	0,080	49,5	0,080	17,0	2,91
0,080	0,075	49,5	0,070	15,9	3,11
0,075	0,070	49,5	0,086	22,6	2,19
0,070	0,065	49,5	0,065	19,3	2,56
0,065	0,060	49,5	0,054	19,3	2,56
0,060	0,055	49,5	0,043	17,9	2,77
0,055	0,050	49,5	0,035	17,5	2,83

Таблица 45

Экспериментальные данные для величин среднего напряжения волочения круглых, шестигранных, квадратных и прямоугольных медных профилей из отожженной заготовки (Н. З. Днестровский, Н. М. Богорад)

Обжатие %	Величина полуугла α	Среднее напряжение волочения, кг/мм², при волочении профилей						Примечание
		круглых	шестигранных	квадратных	прямоугольных с соотношением сторон 2:1	прямоугольных с соотношением сторон 4:1	прямоугольных с соотношением сторон 8:1	
10	5°	6,8	6,8	8,7	8,5	7,0	8,5	Зона оптимальных полууглов
10	7°	7,0	6,8	8,7	8,7	8,3	9,5	
10	9°	7,0	6,0	8,7	8,7	8,3	8,8	
10	12°30′	7,2	7,4	8,7	9,2	9,0	8,5	
10	20°	8,3	7,7	7,7	10,8	8,5	11,5	
20	5°	11,8	15,6	15,6	15,3	15,1	18,8	
20	7°	11,8	12,8	14,8	16,3	14,4	18,3	
20	9°	11,3	11,3	13,5	14,3	14,4	15,8	Зона оптимальных полууглов
20	12°30′	11,3	13,3	14,0	14,8	14,8	14,8	
20	20°	11,8	14,3	14,8	14,8	14,4	15,5	
30	5°	19,0	23,3	24,2	22,5	24,5	25,0	
30	7°	18,5	21,8	22,9	22,0	20,3	27,0	
30	9°	18,0	17,5	19,8	21,3	21,3	25,0	
30	12°30′	17,3	17,8	20,6	21,0	21,3	22,8	Зона оптимальных полууглов
30	20°	17,4	18,0	22,0	21,5	19,8	22,5	

7. Эмпирическая формула для определения напряжения волочения

При укрупненных подсчетах для ориентировочного определения напряжения волочения можно принять

$$K_з = 1{,}40 \div 2{,}00;$$

$$\sigma_z = (0{,}7 \div 0{,}5)\,\sigma_b.$$

§ 2. ПРОЦЕСС НЕПРЕРЫВНОГО МНОГОКРАТНОГО ВОЛОЧЕНИЯ

1. Основные определения

Схема процесса непрерывного многократного волочения представлена на рис. 102.

Частная вытяжка металла в волоке n

$$\mu_n = \frac{S_{n-1}}{S_n}.$$

Отношение скорости последующей тяговой шайбы v_n к скорости предыдущей v_{n-1}

$$\gamma_n = \frac{v_n}{v_{n-1}}.$$

2. Натяжение сходящего конца проволоки при непрерывном волочении

Промежуточные тяговые шайбы воспринимают на себя полное усилие волочения проволоки через находящиеся перед ними

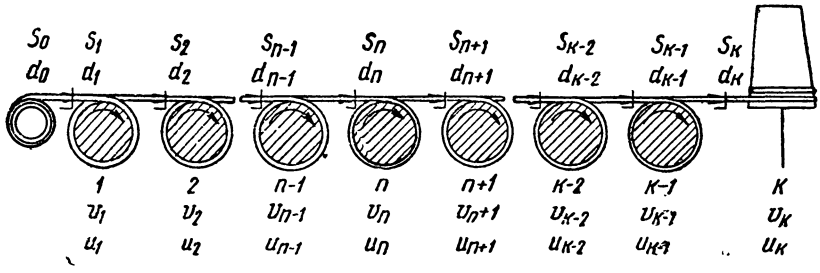


Рис. 102. Схема процесса непрерывного многократного волочения:
1, 2 . . . . k — номера тяговых шайб; d — диаметры; S — сечения; v — скорость тяговых шайб; u — скорости движения проволоки

волоки. Применяя закон трения гибкого тела о цилиндрическую поверхность, получаем

$$P_z = P_ш e^{f\varphi},$$

где P_z — усилие волочения через волоку, воспринимаемое тяговой шайбой через подаваемый на шайбу конец проволоки;

$P_ш$ — натяжение конца проволоки, сходящего с тяговой шайбы;

f — коэффициент трения протягиваемого металла о поверхность шайбы;

φ — угол охвата шайбы проволокой, в радианах:

$$\varphi = 2\pi \frac{\varphi^\circ}{360};$$

e — основание натуральных логарифмов.

Пример: при $f=0{,}20$ и числе витков 5 получаем $e^f = 535{,}49$, т. е. натяжение сходящего с тяговой шайбы конца проволоки в 535 раз меньше усилия волочения.

Таблица 46

Значения величин $e^{f\varphi}$

Число витков $\frac{\varphi}{2\pi}$	Значения величины $e^{f\varphi}$				
	$f=0{,}05$	$f=0{,}10$	$f=0{,}15$	$f=0{,}20$	$f=0{,}25$
1	1,37	1,87	2,57	3,51	4,81
2	1,87	3,51	6,59	12,35	23,14
3	2,57	6,59	16,90	43,38	111,32
4	3,51	12,35	43,38	151,40	535,49
5	4,81	23,14	111,32	535,49	2596,00

3. Закон постоянства протекающего объема металла

Во время волочения на машинах с непрерывным движением проволоки не происходит ни накапливания, ни убыли металла в машине — число витков, намотанных вокруг каждой тяговой шайбы, не меняется. В то же время многочисленными опытами доказано, что удельный вес металла во время волочения почти не меняется. Таким образом, объем металла, проходящего каждую секунду по машине в любом месте, должен быть постоянным, т. е. сколько металла принимает в секунду приемное устройство, столько же сматывается в секунду с лежащей у машины бухты заготовки и столько же проходит в секунду через каждую волоку.

Этот секундный объем металла для случая волочения на бухты определяется из того условия, что проволока на приемном барабане закреплена жестко и не может проскальзывать по нему, т. е.

$$u_k = v_k.$$

Объем металла, проходящего в секунду через последнюю волоку k и наматываемого на приемный барабан, будет равен

$$W_k = S_k u_k = S_k v_k.$$

Объем металла, проходящего в секунду через промежуточную волоку n, будет равен

$$W_n = S_n u_n.$$

Из закона постоянства протекающего объема имеем

$$W_n = S_n u_n = S_k v_k = \text{const}.$$

Расчет скорости проволоки, проходящей через волоку n, производят по формуле

$$u_n = \frac{S_k}{S_n} v_k = \frac{v_k}{\mu_{\Sigma_k^n}},$$

где v_k — скорость приемного барабана;

$\mu_{\Sigma_k^n}$ — суммарная вытяжка металла во всех последующих волоках после волоки n, равная $\frac{S_n}{S_k}$.

4. Расчет маршрутов волочения

Расчет маршрутов волочения при постоянной величине частной вытяжки $\mu_{n-1} = \mu_n = \mu_{n+1}$.

Необходимое число волок при постоянной величине частной вытяжки в каждой волоке может быть определено по формуле

$$k = \frac{\lg \frac{S_0}{S_k}}{\lg \mu_c},$$

где k — необходимое число волок;

S_0 — исходное сечение, *мм*²;

S_k — конечное сечение, *мм*²;

μ_c — средняя величина частной вытяжки, которую выбирают на основании практических соображений.

Величину k можно также определить по номограмме рис. 103, где $\mu_{\Sigma_к^0}$ — суммарная вытяжка при волочении от исходного сечения S_0 до сечения S_k, равная $\frac{S_0}{S_k}$.

Расчет маршрутов волочения может быть проведен по формуле

$$\lg S_n = \lg S_0 - \left(\lg \frac{S_0}{S_k}\right) \frac{n}{k},$$

где S_n — промежуточное сечение после выхода из волоки n;

n — номер промежуточной волоки.

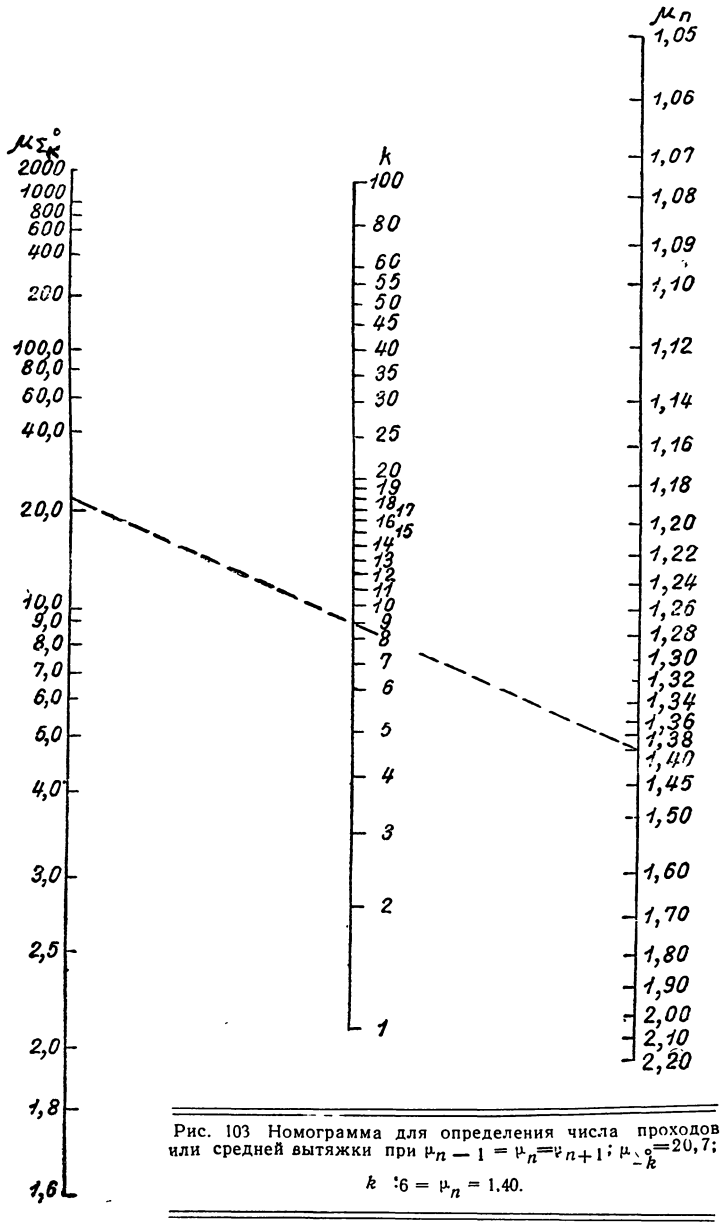


Рис. 103 Номограмма для определения числа проходов или средней вытяжки при $\mu_{n-1} = \mu_n = \mu_{n+1}$; $\mu_{\Sigma_k^0} = 20{,}7$; $k = 6 = \mu_n = 1.40$.

Для круглой проволоки

$$\lg d_n = \lg d_0 - \left(\lg \frac{d_0}{d_k}\right) \frac{n}{k},$$

где d_n — диаметр промежуточной волоки за номером n, *мм*;
d_0 — диаметр исходной заготовки, *мм*;
d_k — диаметр готовой проволоки, *мм*.

Расчет маршрута волочения при $\mu_{n-1} = \mu_n = \mu_{n+1}$ может быть произведен также по номограмме рис. 104.

Расчет маршрутов волочения при непрерывно уменьшающейся величине частной вытяжки $\mu_{n-1} > \mu_n > \mu_{n+1}$

Необходимое число волок может быть определено по формуле

$$k = \frac{\lg \mu_{\Sigma_k^0}}{C' - \alpha \lg \mu_{\Sigma_k^0}},$$

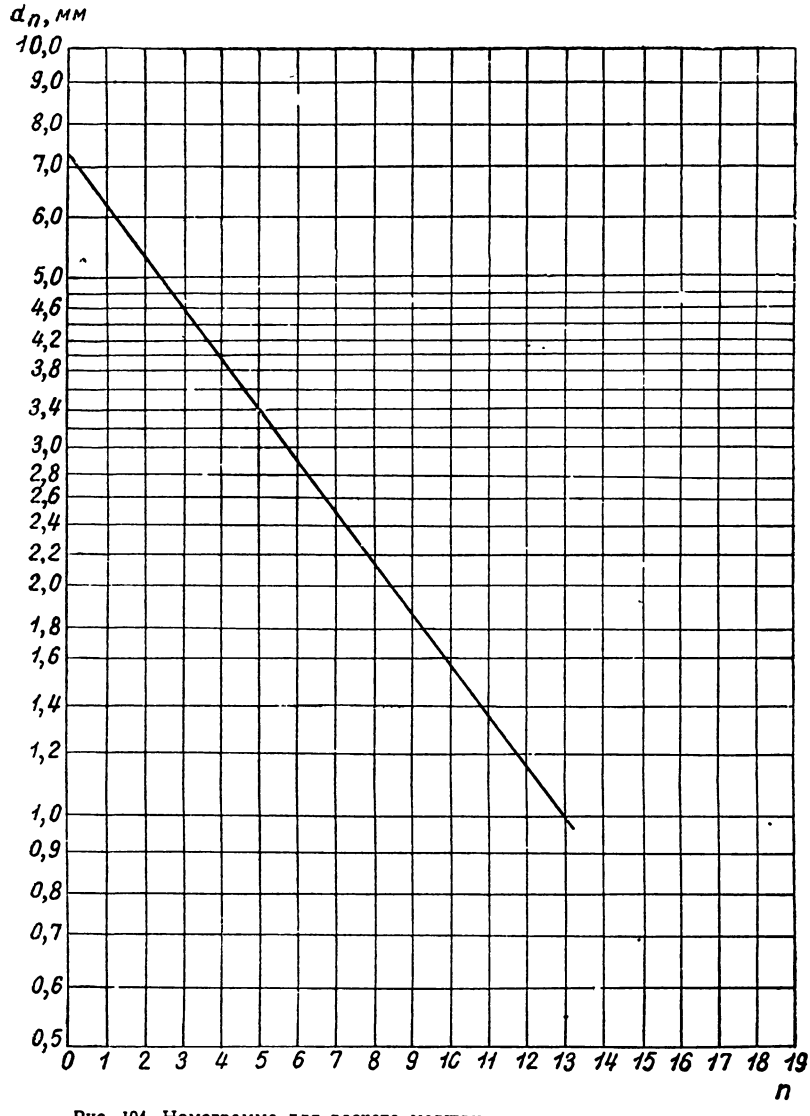


Рис. 104. Номограмма для расчета маршрутов волочения при $\mu_{n-1} = \mu_n = \mu_{n+1}$

Заданные величины $d_0 = 7{,}20$ *мм*; $d_к = 1.00$ *мм*; $к = 13$. Искомые данные $d_1 = 6.19$; $d_2 = 5{,}31$; $d_3 = 4.57$; $d_4 = 3{,}92$; $d_5 = 3{,}37$; $d_6 = 2{,}90$; $d_7 = 2.49$; $d_8 = 2{,}13$; $d_9 = 1{,}83$; $d_{10} = 1{,}57$; $d_{11} = 1{,}35$; $d_{12} = 1{,}16$; $d_{13} = 1{,}00$

где k — необходимое число волок;

$\mu^{0}_{\Sigma k}$ — суммарная вытяжка при волочении с исходного сечения S_0 до конечного сечения S_k, равная $\frac{S_0}{S_k}$;

C' — коэффициент, определяемый по табл. 47 в зависимости от диаметра протягиваемой проволоки;

α — коэффициент, определяемый по табл. 47 в зависимости от диаметра протягиваемой проволоки.

Расчет маршрутов волочения может быть произведен по формуле

$$\lg S_n = \lg S_0 - \left(\lg \frac{S_0}{S_k}\right) \frac{1 + \alpha k}{k} \cdot \frac{n}{1 + \alpha n}.$$

Для круглой проволоки

$$\lg d_n = \lg d_0 - \left(\lg \frac{d_0}{d_k}\right) \frac{1 + \alpha k}{k} \cdot \frac{n}{1 + \alpha n},$$

Таблица 47

Значения величин C' и α для определения числа проходов при $\mu_{n-1} > \mu_n > \mu_{n+1}$

Класс волочения	Вид волочения	Диаметр протягиваемой проволоки *мм*	Величина, α	Величина C' для	
				меди	прочих цветных металлов и сплавов
I	Тяжелое	16,00 4,50	0,03	0,20	0,18
II	Толстое	4,49—1,00	0,03	0,18	0,16
III	Среднее	0,99—0,40	0,02	0,14	0,12
IV	Тонкое	0,39—0,20	0,01	0,12	0,11
V	»	0,19—0,10	0,01	0,11	0,10
VI	Тончайшее	0,09—0,05	0,00	0,10	0,09
VII	То же	0,04—0,03	0,00	0,09	0,08
VIII	»	0,02—0,01	0,00	0,08	0,07

где $\frac{1+\alpha k}{k}$ — коэффициент, который может быть определен при помощи табл. 48, принимая $k = n$ и учитывая, что

$$\frac{1+\alpha k}{k} = 1 : \frac{k}{1+\alpha k};$$

$\frac{n}{1+\alpha n}$ — коэффициент, который может быть непосредственно определен по табл. 48.

Расчет маршрутов волочения при убывающей величине μ_n может быть произведен также по номограмме (рис. 105).

Таблица 48

Зависимость величин $\frac{n}{1+\alpha n}$ от α и n

n	$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,02$	$\alpha = 0,03$
0	0,00000	0,00000	0,00000
1	0,99010	0,98039	0,97087
2	1,96078	1,92308	1,88679
3	2,91262	2,83019	2,75229
4	3,84615	3,70370	3,57142
5	4,76190	4,54545	4,34782
6	5,66038	5,35714	5,08474
7	6,54206	6,14035	5,78512
8	7,40741	6,89655	6,45161
9	8,25688	7,62712	7,08661
10	9,09091	8,33333	7,69231
11	9,90991	9,01639	8,27060
12	10,71429	9,67742	8,82353
13	11,50442	10,31741	9,35252
14	12,28070	10,92969	9,85915
15	13,04348	11,53846	10,34484
16	13,79310	12,12121	10,81081
17	14,52991	12,68657	11,25828
18	15,25424	13,23529	11,68832
19	15,96639	13,76812	12,10191
20	16,66667	14,28571	12,50000
21	17,35612	14,78873	12,88344
22	18,03279	15,27778	13,34458
23	18,69919	15,75342	13,60947
24	19,35484	16,35135	13,95343
25	20,00000	16,66667	14,28571

В сводной таблице (табл. 49) приведены параметры маршрутов волочения при постоянной или непрерывной уменьшающейся величине частной вытяжки.

Примерный расчет маршрута волочения проволоки для вновь конструируемых машин приведен в табл. 50.

Таблица 49

Параметры маршрутов волочения при постоянной или непрерывно уменьшающейся величине частной вытяжки μ_n

Наименование параметра	Величина параметра	
	при постоянной частной вытяжке $\mu_{n-1} = \mu_n = \mu_{n+1}$	при непрерывно уменьшающейся частной вытяжке $\mu_{n-1} > \mu_n > \mu_{n+1}$
Начальное сечение	S_0	S_0
Конечное сечение	$S_к$	$S_к$
Суммарная вытяжка после конечного прохода k	$\mu_{\Sigma_к^0} = \frac{S_0}{S_к}$	$\mu_{\Sigma_к^0} = \frac{S_0}{S_к}$

Продолжение табл. 49

Наименование параметра	Величины параметра при постоянной частной вытяжке $\mu_{n-1} = \mu_n = \mu_{n+1}$	Величины параметра при непрерывно уменьшающейся частной вытяжке $\mu_{n-1} > \mu_n > \mu_{n+1}$
Средняя частная вытяжка	$\mu_n = \text{const}$	$\mu_n \neq \text{const}$
Общее число проходов k	$k = \dfrac{\lg \mu_{\Sigma_к^0}}{\lg \mu_n}$	$k = \dfrac{\lg \mu_{\Sigma_к^0}}{C' - \alpha \lg \mu_{\Sigma_к^0}}$
	Определяется непосредственно по номограмме (см. рис. 103)	Определяется расчетом, величины C' и α принимаются по табл. 47
Число проходов до промежуточного прохода сечением S_n	n	n
Логарифм суммарной вытяжки от заготовки до прохода n включительно	$\lg \mu_{\Sigma_n^0} = \lg \dfrac{S_0}{S_к} \cdot \dfrac{1}{k} \cdot n$	$\lg \mu_{\Sigma_k^0} = \lg \dfrac{S_0}{S_к} \cdot \dfrac{1+\alpha k}{k} \times \times \dfrac{n}{1+\alpha n}$
Величина $\dfrac{1+\alpha k}{k}$	—	Определяется при помощи таблицы 48, при этом принимают $k = n$. $\dfrac{1+\alpha k}{k} = 1 : \dfrac{k}{1+\alpha k}$
Величина $\dfrac{n}{1+\alpha n}$	—	Определяется непосредственно по табл. 48
Длина профиля после прохода k	$L_к = L_0 \dfrac{S_0}{S_к}$	$L_к = L_0 \dfrac{S_0}{S_к}$
Логарифм длины профиля после прохода n	$\lg L_n = \lg L_0 + \lg \dfrac{S_0}{S_к} \times \times \dfrac{1}{k} n$	$\lg L_n = \lg L_0 + \lg \dfrac{S_0}{S_к} \times \times \dfrac{1+\alpha k}{k} \cdot \dfrac{n}{1+\alpha n}$
Логарифм средней частной вытяжки до прохода k	$\lg \mu_к = \lg \dfrac{S_0}{S_k} \cdot \dfrac{1}{k}$	$\lg \mu_к = \lg \dfrac{S_0}{S_к} \cdot \dfrac{1}{k}$
Логарифм средней частной вытяжки до прохода n	$\lg \mu_n = \lg \dfrac{S_0}{S_к} \cdot \dfrac{1}{k}$	$\lg \mu_n = \lg \dfrac{S_0}{S_к} \cdot \dfrac{1}{k} \cdot \dfrac{1+\alpha k}{1+\alpha n}$
Маршрут волочения с исходного сечения S_0 до конечного сечения $S_к$	$\lg S_n = \lg S_0 - \lg \dfrac{S_0}{S_k} \times \times \dfrac{1}{k} n$	$\lg S_n = \lg S_0 - \lg \dfrac{S_0}{S_к} \times \times \dfrac{1+\alpha k}{k} \cdot \dfrac{n}{1+\alpha n}$

Продолжение табл. 49

Наименование параметра	Величина параметра	
	при постоянной частной вытяжке $\mu_{n-1} = \mu_n = \mu_{n+1}$	при непрерывно уменьшающейся частной вытяжке $\mu_{n-1} > \mu_n > \mu_{n+1}$
Маршрут волочения круглой проволоки с исходного диаметра d_0 до конечного диаметра $d_к$	$\lg d_n = \lg d_0 - \lg \frac{d_0}{d_k} \times \times \frac{1}{k} n$ при $d_к = 7{,}0 - 0{,}5$ *мм* определяется непосредственно по номограмме (см. рис. 104)	$\lg d_n = \lg d_0 - \lg \frac{d_0}{d_k} \times \times \frac{1 + \alpha k}{k} \cdot \frac{n}{1 + \alpha n}$ при $d_к = 7{,}0 - 1{,}0$ *мм* определяется непосредственно по номограмме (см. рис. 105)

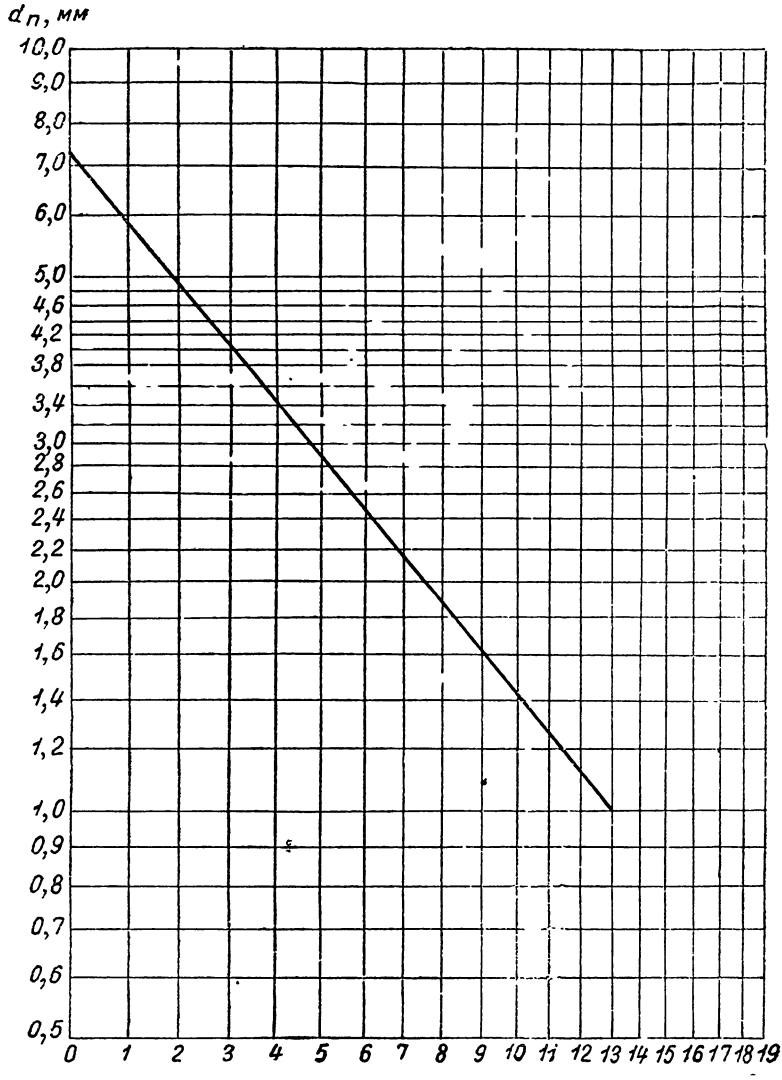


Рис. 105. Номограмма для расчета маршрута волочения при $\mu_{n-1} > \mu_n > \mu_{n+1}$
Заданные величины: $d_0 = 7{,}20$ *мм*; $d_k = 1{,}00$ *мм*; $k = 13$. Искомые данные: $d_0 = 7{,}20$; $d_1 = 5{,}87$; $d_2 = 4{,}84$; $d_3 = 4{,}03$; $d_4 = 3{,}39$; $d_5 = 2{,}88$; $d_6 = 2{,}46$; $d_7 = 2{,}12$; $d_8 = 1{,}85$; $d_9 = 1{,}61$; $d_{10} = 1{,}42$; $d_{11} = 1{,}26$; $d_{12} = 1{,}12$; $d_{13} = 1{,}00$

Примерный расчет маршрута волочения
Исходная заготовка —
Готовое изделие —

Определяем число проходов: $k = \frac{\lg \mu_{\Sigma_k^0}}{C' - \alpha \mu_{\Sigma_k^0}} =$

Определяем вспомогательную величину: $\lg \frac{d_0}{d_k} \cdot \frac{1 + \alpha k}{k} =$

Формула	№ про-					
	0	1	2	3	4	5
$\frac{n}{1 + 0{,}03\ n}$	0,00000	0,97087	1,88679	2,75229	3,57142	4,34782
$\lg d_0 = \lg 7{,}20$	0,85733	0,85733	0,85733	0,85733	0,85733	0,85733
$0{,}09167 \frac{n}{1 + 0{,}03\ n}$	0,00000	0,08900	0,17296	0,25230	0,32739	0,39838
$\lg d_n = \lg d_0 - 0{,}09167 \times \times \frac{n}{1 + 0{,}03\ n}$	0,85733	0,76833	0,68437	0,60503	0,52994	0,45895
Расчетный маршрут d_n	7,200	5,866	4,835	4,027	3,388	2,877
Вытяжка $\mu_n = \frac{S_{n-1}}{S_n}$	—	1,507	1,472	1,441	1,413	1,387

Составление таблицы маршрутов для всех выходных диаметров в определенном диапазоне не следует проводить, исходя из каждого выходного диаметра в отдельности, так как это потребует особого маршрута для каждого диаметра, а следовательно, и очень большого числа волок разного диаметра. В основу следует положить один маршрут для наименьшего типового выходного размера.

Все величины диаметров, промежуточных между нормальными диаметрами основного маршрута, принимаются сопряженными с ближайшим нормальным диаметром маршрута и получаются по основному маршруту в то же число волок, но с изменением размеров только одной выходной волоки или одной-двух предпоследних волок.

В основу примерной таблицы маршрутов (табл. 51) положен рассчитанный выше, но несколько округленный, маршрут:

7,20→5,80→4,80→4,00→3,35→2,85→2,44→ →2,10→1,82→1,60→1,41→1,25→1,11→1,00 *мм*.

Эти же размеры приняты в качестве типовых при волочении через соответствующее число волок. Ближайшие большие сопряженные с типовым выходные размеры проволоки тянутся в то же число волок, но с изменением размеров как выходной, так и двух предыдущих волок. Ближайшие меньшие сопряженные с данным типовым выходные размеры проволоки также тянутся в то же число волок, но с изменением как выходной, так и одной предыдущей волоки.

5. Машины со скольжением непрерывного типа

Выходная скорость движения проволоки после волоки k будет v_k. Скорость движения тяговой шайбы n будет v_n. Суммарная вытяжка после волоки n до выходной волоки k.

$$\mu_{\Sigma_k^n} = \frac{S_n}{S_k}.$$

Скорость движения проволоки на тяговой шайбе n:

$$u_n = \frac{v_k}{\mu_{\Sigma_k^n}} = \frac{v_k}{\frac{S_n}{S_k}}.$$

Таблица 50

проволоки для вновь конструируемых машин
катанка $d_0 = 7{,}2$ *мм*
проволока $d_k = 1{,}0$ *мм*

$$-\frac{\lg\frac{7{,}2^2}{1{,}0^2}}{0{,}18 - 0{,}03\lg\frac{7{,}2^2}{1{,}0^2}} = 13{,}3 = 13$$

$$\lg\frac{7{,}20}{1{,}00}\cdot\frac{1+0{,}03\cdot 13}{13} = 0{,}09167$$

хода n							
6	7	8	9	10	11	12	13
5,08474	5,78512	6,45161	7,08661	7,69231	8,27060	8,82353	9,35252
0,85733	0,85733	0,85733	0,85733	0,85733	0,85733	0,85733	0,85733
0,46611	0,53032	0,59142	0,64963	0,70515	0,75817	0,80885	0,85795
0,39122	0,32701	0,26591	0,20770	0,15218	0,09916	0,04848	—0,00062
2,462	2,123	1,845	1,613	1,420	1,257	1,118	1,000
1,366	1,344	1,325	1,307	1,291	1,277	1,263	1,250

Коэффициент опережения представляет собой отношение скорости тяговой шайбы к соответствующей скорости движения проволоки

$$T_n = \frac{v_n}{u_n}.$$

Скольжение проволоки на тяговой шайбе, выраженное в процентах, равно

$$R = \frac{v_n - u_n}{v_n}\cdot 100 = \left(1 - \frac{1}{T_n}\right)100.$$

Параметры машин со скольжением, обеспечивающие надежный процесс при заправке

При заправке проволоки на какую-либо промежуточную тяговую шайбу n скорость движения проволоки будет не u_n, а $u_n' = v_n$. Тогда и на предыдущей шайбе n—1 скорость движения проволоки будет не u_{n-1}, а

$$u'_{n-1} = u'_n \cdot \frac{S_n}{S_{n-1}} = \frac{v_n}{\mu_n}.$$

Во избежание немедленного обрыва в предыдущей волоке необходимо, чтобы скорость u'_{n-1} была меньше окружной скорости шайбы, равной v_{n-1}, т. е. $v_{n-1} > u'_{n-1}$ или $v_{n-1} > \frac{v_n}{\mu_n}$, откуда

$$\mu_n > \frac{v_n}{v_{n-1}}.$$

Обозначим $\frac{v_n}{v_{n-1}}$ через γ_n, тогда $\mu_n > \gamma_n$.

Величину $\frac{\mu_n}{\gamma_n}$ обозначим через τ_n и назовем ее коэффициентом относительного опережения:

$$\tau_n = \frac{\mu_n}{\gamma_n};\ \mu_n = \tau_n\gamma_n;\ \tau_n > 1{,}00.$$

Выполнение условия $\tau_n > 1{,}00$ необходимо не только для обеспечения возможности заправки машины, но оно значительно увеличивает надежность процесса волочения.

Таблица 51

Примерные маршруты многократного волочения толстых размеров медной проволоки из катанки диаметром 7,2 *мм*

Число рабочих волок	Номера волок														
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIII типовая
Тринадцативолочная машина															
13	7,20	5,80	4,80	4,00	3,35	2,85	2,44	2,10	1,82	1,60	1,41	1,25	1,08	0,95—0,97	
	7,20	5,80	4,80	4,00	3,35	2,85	2,44	2,10	1,82	1,60	1,41	1,25	1,11	0,98—1,02	1,00
	7,20	5,80	4,80	4,00	3,35	2,85	2,44	2,10	1,82	1,60	1,41	1,30	1,16	1,03—1,05	
12	7,20	5,80	4,80	4,00	3,35	2,85	2,44	2,10	1,82	1,60	1,41	1,23	—	1,06—1,07	
	7,20	5,80	4,80	4,00	3,35	2,85	2,44	2,10	1,82	1,60	1,41	1,25	—	1,08—1,14	1,11
	7,20	5,80	4,80	4,00	3,35	2,85	2,44	2,10	1,82	1,60	1,43	1,28	—	1,15—1,18	
11	7,20	5,80	4,80	4,00	3,35	2,85	2,44	2,10	1,82	1,60	1,36	—	—	1,19—1,21	
	7,20	5,80	4,80	4,00	3,35	2,85	2,44	2,10	1,82	1,60	1,41	—	—	1,22—1,28	1,25
	7,20	5,80	4,80	4,00	3,35	2,85	2,44	2,10	1,82	1,65	1,46	—	—	1,29—1,33	
10	7,20	5,80	4,80	4,00	3,35	2,85	2,44	2,10	1,82	1,55	—	—	—	1,34—1,36	
	7,20	5,80	4,80	4,00	3,35	2,85	2,44	2,10	1,82	1,60	—	—	—	1,37—1,45	1,41
	7,20	5,80	4,80	4,00	3,35	2,85	2,44	2,10	1,90	1,65	—	—	—	1,46—1,49	
Девятиволочная машина															
9	7,20	5,80	4,80	4,00	3,35	2,85	2,44	2,10	1,80	—	—	—	—	1,50—1,55	
	7,20	5,80	4,80	4,00	3,35	2,85	2,44	2,10	1,82	—	—	—	—	1,56—1,64	1,60
	7,20	5,50	4,80	4,00	3,35	2,85	2,44	2,15	1,95	—	—	—	—	1,65—1,70	

Продолжение табл. 51

Число рабочих волок	Номера волок														
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIII типовая
8	7,20	5,80	4,80	4,00	3,35	2,85	2,44	2,05	—	—	—	—	—	1,71—1,77	1,82
	7,20	5,80	4,80	4,00	3,35	2,85	2,44	2,10	—	—	—	—	—	1,78—1,86	
	7,20	5,80	4,80	4,00	3,35	2,85	2,55	2,30	—	—	—	—	—	1,87—1,95	
7	7,20	5,80	4,80	4,00	3,35	2,85	2,40	—	—	—	—	—	—	1,96—2,06	2,10
	7,20	5,80	4,80	4,00	3,35	2,85	2,44	—	—	—	—	—	—	2,06—2,14	
	7,20	5,80	4,80	4,00	3,35	2,95	2,60	—	—	—	—	—	—	2,15—2,26	
6	7,20	5,80	4,80	4,00	3,35	2,75	—	—	—	—	—	—	–	2,27—2,38	2,44
	7,20	5,80	4,80	4,00	3,35	2,85	—	—	—	—	—	—	—	2,39—2,49	
	7,20	5,80	4,80	4,00	3,45	2,95	—	—	—	—	—	—	—	2,40—2,64	
5	7,20	5,80	4,80	4,00	3,25	—	—	—	—	—	—	—	—	2,65—2,77	2,85
	7,20	5,80	4,80	4,00	3,35	—	—	—	—	—	—	—	—	2,78—2,92	
	7,20	5,80	4,80	4,10	3,45	—	—	—	—	—	—	—	—	2,93—3,05	
4	7,20	5,80	4,80	3,90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,06—3,26	3,35
	7,20	5,80	4,80	4,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,27—3,43	
	7,20	5,80	4,90	4,10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,44—3,65	
3	7,20	5,80	4,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,66—3,89	4,00
	7,20	5,80	4,80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,90—4,10	
	7,20	5,90	4,95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,11—4,49	

По проф. И. Л. Перлину, на машинах со скольжением вполне возможны такие случаи, когда проволока прилипает к тяговой шайбе n. В предельном случае скольжение проволоки уменьшается до 0, а скорость движения ее увеличивается от величины u_n до величины $u'_n = v_n$. Тогда скорость движения проволоки на предыдущей шайбе увеличится от величины u_{n-1} до величины $u'_{n-1} = \frac{v_n}{\mu_n}$. Очевидно, что для устранения обрывов на всех предыдущих тяговых шайбах величины τ_n должны быть больше 1,00.

При установлении абсолютных значений величины γ_n учитывается износ волок. При этом предусматривается возможность совпадения такого случая, когда какая-либо последующая волока будет разработана до максимальных положительных допусков ($S_{n+1\text{макс}}$), а предыдущая будет новой с максимальным отрицательным допуском ($S_{n\text{мин}}$). В первом приближении можно принять

$$\tau_n = 1{,}00 + \frac{S_{n\text{макс}} - S_{n\text{мин}}}{S_{n\text{мин}}}.$$

По действующим техническим условиям допуски в толстом волочении составляют около ± 1% к диаметру или ± 2% к сечению, откуда

$$\tau_n = 1{,}00 + \frac{1{,}02\,S_n - 0{,}98\,S_n}{0{,}98 S_n} = 1{,}04.$$

Учитывая малую вероятность совпадения предельных размеров и необходимость снижения абсолютного скольжения, величине τ_n обычно дают значения порядка 1,015—1,040.

Соотношение скоростей движения проволоки и тяговых шайб при $\mu_n = \text{const}$;

$$\gamma_n = \text{const}$$

$$\lg \frac{u_n}{u_k} = \lg \frac{S_k}{S_0} - \lg \frac{S_k}{S_0} \cdot \frac{n}{k};$$

$$\lg \frac{v_n}{v_k} = \lg \frac{v_1}{v_k} - \lg \frac{v_1}{v_k} \cdot \frac{n-1}{k-1}.$$

В системе координат: ось абсцисс $x = n$, ось ординат $y = \lg \frac{u_n}{u_k}$, или $y = \lg \frac{v_n}{v_k}$ величины $\frac{u_n}{u_k}$ и $\frac{v_n}{v_k}$ изображаются двумя прямыми линиями, пересекающимися в одной точке при $n = k$.

На практике даже у тех машин, у которых величины μ_n и γ_n приняты одинаковыми, в последнем проходе величины μ_n и γ_n делаются несколько меньшими, чем в остальных. Таким образом, прямые линии имеют место только в диапазоне между проходом $n = 1$ и проходом $n = k-1$.

Таблица 52

Параметры многократных машин непрерывного типа со скольжением

Наименование параметра	Величина параметра
Условия, необходимые для обеспечения нормальной работы станка на ходу	
Скорость движения тяговой шайбы n	v_n
Скорость движения проволоки по тяговой шайбе n	$u_n = \frac{S_k}{S_n} \cdot v_k$
Коэффициент абсолютного опережения	$T_n = \frac{v_n}{u_n}$
Условия, обеспечивающие надлежащее скольжение	$v_n > u_n$; $T_n > 1{,}00$
Скольжение проволоки	$R_n = \frac{v_n - u_n}{v_n} \cdot 100$; $R_n = \left(1 - \frac{1}{T_n}\right) \times 100$
Условия, необходимые для обеспечения нормальной работы станков при заправке	
Скорость движения проволоки при заправке на промежуточную тяговую шайбу n	$u'_n = v_n$
Скорость движения проволоки на предыдущей шайбе $n-1$ при заправке на шайбу n	$u'_{n-1} = \frac{v_n}{\mu_n}$
Соотношение скоростей тяговых шайб	$\gamma_n = \frac{v_n}{v_{n-1}}$
Коэффициент относительного опережения	$\tau_n = \frac{\mu_n}{\gamma_n}$
Условия, устраняющие опасность немедленного обрыва при заправке	$v_{n-1} > u'_{n-1}$ $\mu_n > \gamma_n$; $\tau_n > 1{,}00$
Рекомендуемые величины τ_n	$\tau_n = 1{,}015 \div 1{,}040$
Расчет маршрутов волочения при $\mu_{n-1} = \mu_n = \mu_{n+1}$	$\lg d_n = \lg d_0 - \lg \frac{d_0}{dk} \cdot \frac{1}{k} \cdot n$
Расчет маршрутов волочения при $\mu_{n-1} > \mu_n > \mu_{n+1}$	$\lg d_n = \lg d_0 - \lg \frac{d_0}{dk} \cdot \frac{1+\alpha k}{k} \times \frac{n}{1+\alpha n}$

Соотношения скоростей движения проволоки и тяговых шайб при

$\mu_{n-1} > \mu_n > \mu_{n+1}$; $\gamma_{n-1} > \gamma_n > \gamma_{n+1}$.

Для обеспечения непрерывного уменьшения μ_n от первого прохода к последнему необходимо величине $\lg \frac{u_n}{u_k}$ придать прямолинейный характер в системе координат: ось абсцисс $x = \frac{n}{1 + \alpha n}$, ось ординат

$$\lg \frac{u_n}{u_k} = \lg \frac{S_k}{S_0} - \left(\lg \frac{S_k}{S_0}\right) \frac{1 + \alpha k}{k} \cdot \frac{n}{1 + \alpha n}$$

В сводной таблице (табл. 52) приведены параметры многократных машин непрерывного типа со скольжением.

Расчет суммарных вытяжек и скоростей тяговых шайб для новых машин

Расчет величин $\frac{u_n}{u_k}$ и $\frac{v_n}{v_k}$ для новых машин можно производить по номограммам, построенным аналогично номограмме

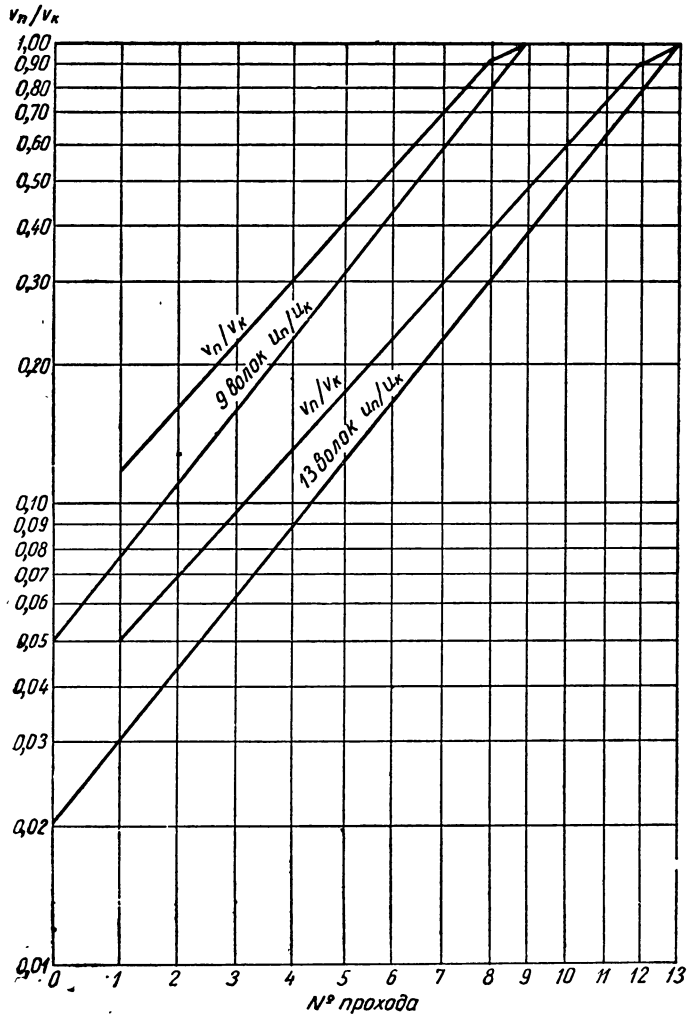


Рис. 106. Номограмма для расчета параметров машин со скольжением

$y = \lg \frac{u_n}{u_k}$. Уравнение прямой для $\lg \frac{u_n}{u_k}$ имеет вид

рис. 106: ось абсцисс $x = \frac{n}{1 + \alpha n}$; ось ординат $y = \lg \frac{u_n}{u_k}$; $y = \lg \frac{v_n}{v_k}$.

В качестве примера на рис. 106 приведено построение номограммы, прямых $\frac{u_n}{u_k}$ и кривых $\frac{v_n}{v_k}$ для девяти- и тринадцативолочных машин толстого волочения (выходные диаметры 4,49—1,00 *мм*).

Для девятиволочных машин толстого волочения на основании анализа ряда действующих машин принято

$$\alpha = 0{,}03;\ k = 9;\ \frac{S_0}{S_k} = 20{,}0;$$

$$\frac{u_0}{u_k} = 0{,}05;\ \frac{v_1}{v_k} = 0{,}114.$$

Для построения прямой $\frac{u_n}{u_k}$ проводим на номограмме прямую линию между точками с координатами

$$n = 9;\ \frac{u_n}{u_k} = 1{,}00;$$

$$n = 0;\ \frac{u_n}{u_k} = 0{,}05.$$

Построение кривой $\frac{v_n}{v_k}$ производим следующим образом:

а) принимаем для величины

$$\frac{v_{k-1}}{v_k} = \frac{1}{\gamma} = 0{,}9;$$

б) соединяем на номограмме прямой линией точки с координатами

$$n = 9;\ \frac{v_n}{v_k} = 1{,}00;$$

$$n = 8;\ \frac{v_n}{v_k} = 0{,}90;$$

в) для определения всех остальных величин $\frac{v_n}{v_k}$ проводим на номограмме прямую линию с меньшим уклоном по сравнению с прямой $\frac{u_n}{u_k}$ между точками с координатами

$$n = 8;\ \frac{v_n}{v_k} = 0{,}9$$

$$n = 1;\ \frac{v_n}{v_k} = 0{,}112;$$

г) проверяем правильность принятого уклона прямой $\frac{v_n}{v_{k-1}}$ по величине $\tau_n = \frac{\mu_n}{\gamma_n}$, которая должна лежать в пределах 1,015 ÷ 1,040; принятые в примере для девяти волочных машин значения $\frac{u_0}{u_k}$ и $\frac{v_1}{v_k}$ обеспечивают для τ_n постоянную величину, равную 1,038.

Для тринадцативолочных машин толстого волочения прямые $\frac{u_n}{u_k}$ и $\frac{v_n}{v_{k-1}}$ построены из условия параллельности их прямым для девятиволочных машин.

Таблица 53

Рекомендуемые значения $\mu \sum_k^0$ величин $\frac{u_0}{u_k}$ и α для машин со скольжением

Диапазон диаметров протягиваемой проволоки d_k, *мм*	Рекомендуемая суммарная вытяжка $\frac{S_0}{S_k}$ (медь) $\mu \sum_k^0 =$	Рекомендуемые величины отношений $\frac{S_k}{S_0} = \frac{u_0}{u_k}$	Рекомендуемые величины α
16,00—10,00	3	0,333	0,03
9,99—4,50	6	0,167	0,03
4,49—1,60	20	0,050	0,03
1,59—1,00	50	0,020	0,03
0,99—0,40	16	0,063	0,02
0,39—0,20	25	0,040	0,01
0,19—0,10	20	0,050	0,01
0,09—0,05	16	0,063	0,00
0,04—0,03	12	0,083	0,00
0,02—0,01	9	0,111	0,00

В табл. 53 приведены рекомендуемые значения суммарных вытяжек, величин $\frac{u_0}{u_k}$ и α для машин всех диапазонов. Эти данные обеспечивают построение прямых $\frac{u_n}{u_k}$. Построение прямых $\frac{v_n}{v_{k-1}}$ должно быть осуществлено из условия, что τ_n лежит в пределах 1,015÷1,040.

Расчет маршрутов волочения для действующих машин со скольжением

Если параметры действующей машины заданы ее паспортом, расчет маршрутов волочения рекомендуем производить по схеме, приведенной в табл. 54; величины τ_n и в этом случае должны лежать в пределах 1,015 ÷ 1,040.

Волочение с неполным числом волок на машинах со скольжением применяют при протяжке проволоки с большими выходными размерами, которую можно протянуть в меньшее число волок по сравнению с нормальным для машины.

Таблица 54

Примерный расчет маршрута волочения для действующей машины непрерывного типа со скольжением

Диаметр готовой проволоки $d_к = 1{,}65$ *мм*, число проходов $k = 9$, выходная скорость $v_к = 9{,}75$ *м/сек*, скорости тяговых шайб v_n принимаем по паспорту машины.

Определяем

$$\gamma_n = \frac{v_n}{v_{n-1}}; \qquad \mu_n = \gamma_n \tau_n;$$

$$\tau_n \cong 1{,}03; \qquad d_n = d_{n+1}\sqrt{\mu_{n+1}}; \qquad u_n = v_9 \frac{d_9^2}{d_n^2}; \qquad T_n = \frac{v_n}{u_n}.$$

n	v_n по паспорту действующей машины *м/сек*	γ_n	τ_n	$\mu_n = \gamma_n\tau_n$	d_n *мм*	u_n *м/сек*	T_n	$\frac{u_n}{u_k}$	$\frac{v_n}{v_k}$
9	9,750	1,13	1,03	1,16	1,65	9,75	1,00	1,000	1,000
8	8,600	1,26	1,03	1,30	1,78	8,38	1,03	0,860	0,882
7	6,850	1,29	1,03	1,33	2,03	6,43	1,07	0,660	0,703
6	5,310	1,32	1,03	1,36	2,34	4,85	1,10	0,498	0,545
5	4,027	1,36	1,03	1,40	2,73	3,56	1,13	0,366	0,414
4	2,970	1,37	1,03	1,41	3,23	2,54	1,17	0,260	0,305
3	2,165	1,42	1,03	1,46	3,84	1,80	1,20	0,185	0,222
2	1,525	1,49	1,03	1,53	4,64	1,24	1,23	0,127	0,157
1	1,027	—	—	1,58	5,73	0,81	1,27	0,083	0,105
0	—	—	—	—	7,20	0,51	—	0,052	—

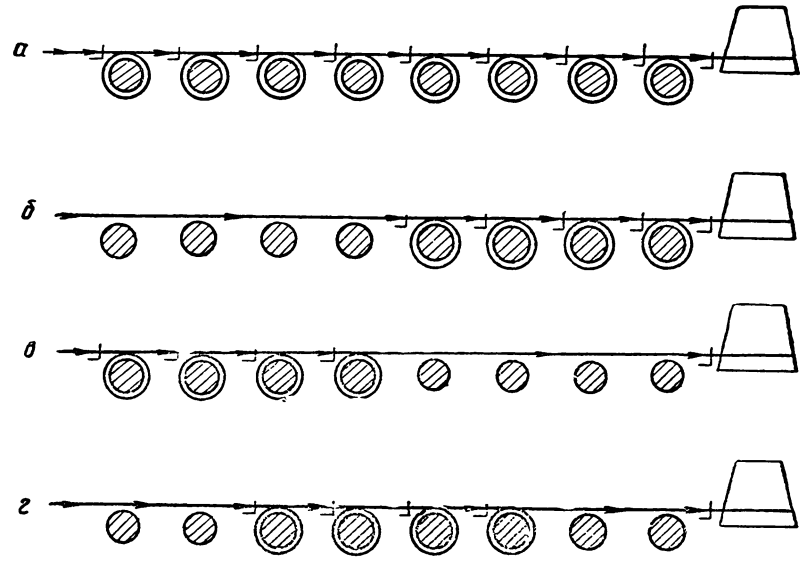


Рис. 107. Схема процесса волочения с полным числом волок (*а*) и неполным числом волок (*б*, *в*, *г*)

При заправке машины рекомендуют следующие положения:

а) при работе на машинах с переменной выходной скоростью и соответственно изменяющимися скоростями тяговых шайб следует пропускать первые шайбы (рис. 107, *б*)

б) при работе на машинах с постоянной выходной скоростью и постоянными скоростями тяговых шайб также рекомендуется пропускать первые шайбы (рис. 107, *б*), иначе не будет соответствия между скоростью приемного барабана и скоростью последней тяговой шайбы;

в) при работе на машинах, допускающих изменение выходной скорости при постоянных скоростях тяговых шайб, следует работать по схемам *в* и *г* (рис. 107); при работе с выходными скоростями, пониженными в полном соответствии со снижением числа

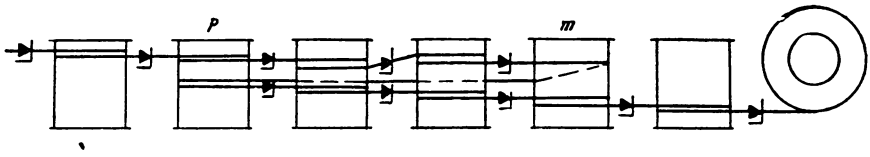


Рис. 108. Схема процесса волочения с избыточным числом волок

волок, следует пропускать последние тяговые шайбы (схема *в*), так как при пропуске первых тяговых шайб сильно увеличится скольжение; при работе с выходными скоростями, большими по сравнению с теми, какие соответствуют пониженному числу волок, следует работать по схеме *г;* скорость последней рабочей тяговой шайбы должна соответствовать измененной скорости приемного барабана.

При работе по схемам *в* и *г* необходима проверка как общей мощности, потребляемой машиной, так и мощности, приходящейся на каждую отдельную тяговую шайбу. Волочение медной проволоки предпочтительнее проводить по схеме *в* и устанавливать первую волоку перед первой тяговой шайбой.

Волочение с избыточным числом волок применяют при протяжке на машине из обычной заготовки ненормально малого выходного диаметра. Проволоку после навивки на какую-нибудь тяговую шайбу *m* возвращают обратно и обвивают вторым рядом витков вокруг уже ранее обвитой тяговой шайбы *p*, затем пропускают через волоку (рис. 108) и обвивают вторыми рядами витков последующую тяговую шайбу $p + 1$ и т. д.

При волочении по этой схеме резко увеличивается скольжение, так как в формуле $T_1 = \frac{v_1 \cdot S_1}{v_k \cdot S_k}$ величины $v_1 S_1$ и v_k не меняются, S_k же резко уменьшается. Кроме того, резко увеличивается нагрузка на те тяговые шайбы, перед которыми установлено по две волоки. Рекомендуется переносить протяжку тонких диаметров на машины, допускающие установку большего числа волок, или подавать на машину заготовку меньшего диаметра.

6. Машины без скольжения комбинированного типа

Машины без скольжения непрерывного типа делятся на два вида:

1) машины непрерывно-петлевого типа без скольжения с регулировкой скоростей тяговых шайб при помощи натяжных роликов(рис. 109).

2) машины непрерывно-прямоточного типа без скольжения с непосредственной регулировкой скоростей тяговых шайб (рис. 110)

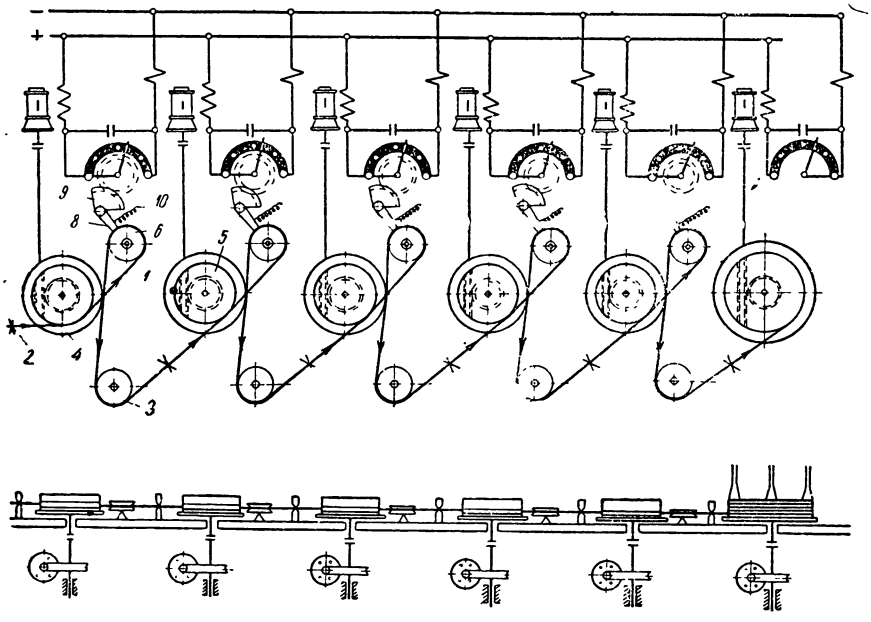


Рис. 109 Машина без скольжения непрерывно-петлевого типа:
1 — проволока; *2* — первая волока; *3* — вторая волока; *4* — первая тяговая шайба; *5* — вторая тяговая шайба; *6* — подвижный натяжной ролик; *7* — неподвижный натяжной ролик; *8* — уравнительный рычаг; *9* — зубчатый сектор; *10* — пружина

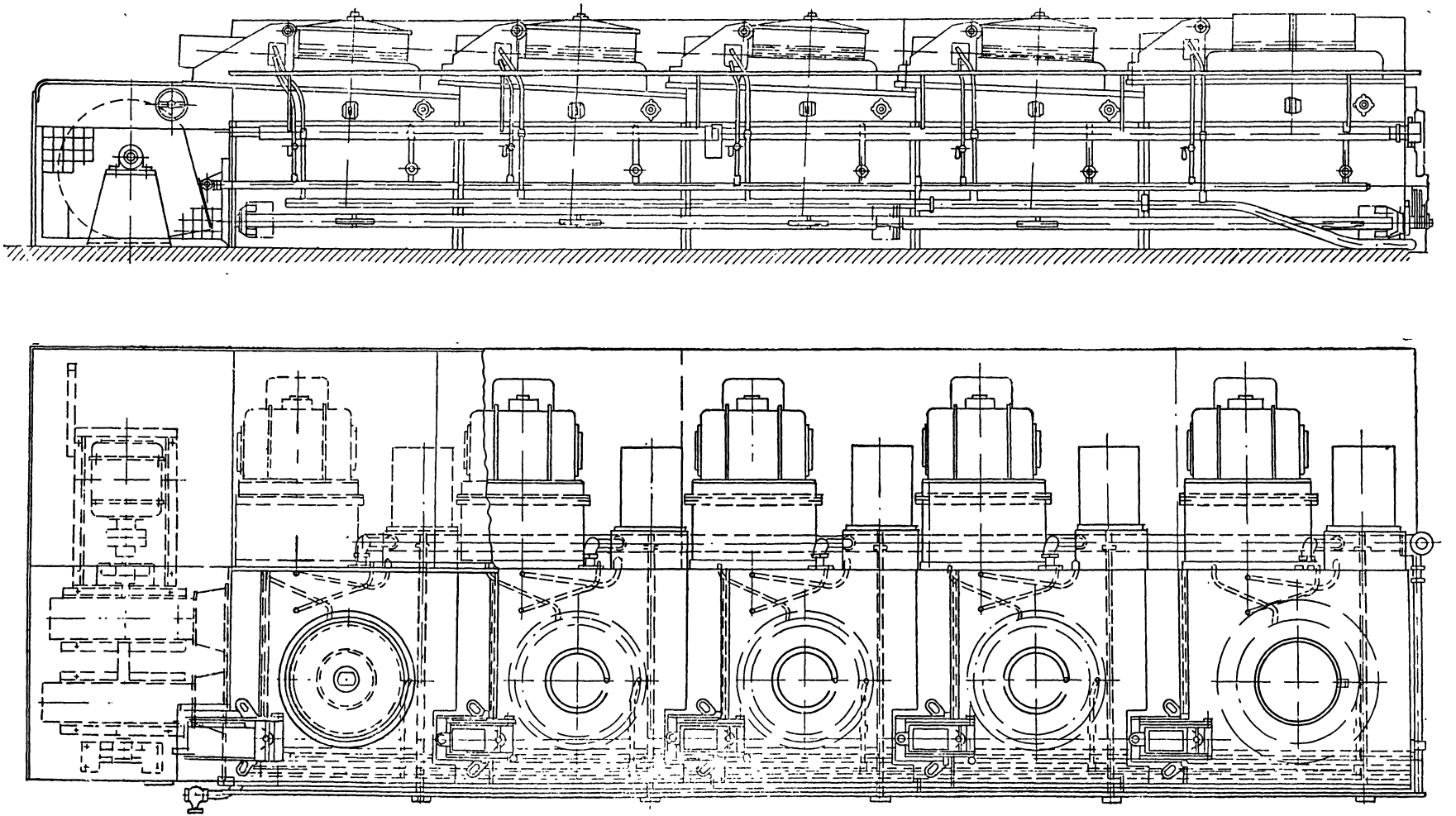


Рис. 110. Машина без скольжения непрерывно-прямоточного типа

Таблица 55

Параметры многократных машин без скольжения непрерывного типа

Наименование параметра	Величина параметра
Скорость приемного барабана	v_k
Выходная скорость движения проволоки u_k	$u_k = v_k$
Скорость движения промежуточных размеров проволоки u_n	$u_n = \frac{S_k v_k}{S_n}$
Скорости тяговых шайб, принятые равными скоростям движения промежуточных размеров проволоки	$v_{n-1} = u_{n-1};$ $v_n = u_n;$ $v_{n+1} = u_{n+1}$
Коэффициент абсолютного опережения T_n	$T_n = \frac{v_n}{u_n} = 1{,}00$
Отношение скоростей тяговых шайб γ_n принимается равным частной вытяжке μ_n	$\gamma_n = \frac{v_n}{v_{n-1}} = \frac{S_{n-1}}{S_n} = \mu_n$
Коэффициент относительного опережения τ_n	$\tau_n = \frac{\mu_n}{\gamma_n} = 1{,}00$
Маршрут волочения круглой проволоки	$\lg d_n = \lg d_0 - \lg\left(\frac{d_0}{d_k}\right)\frac{1+\alpha k}{k} \cdot \frac{n}{1+\alpha n}$

7. Машины без скольжения магазинного типа

Машины без скольжения магазинного типа (рис. 111) отличаются от машин непрерывного типа созданием условий, при которых количество витков на каждом промежуточном тяговом барабане может во время волочения увеличиваться или уменьшаться в некоторых пределах независимо друг от друга, что исключает необходимость соблюдения постоянства объема проволоки, проходящего через промежуточные волоки в один и тот же промежуток времени. Для устранения скольжения тягового барабана внутри намотанных на него витков проволоки достаточно накапливать 12—15 витков, причем верхний конец сбегающей проволоки должен быть несколько натянут.

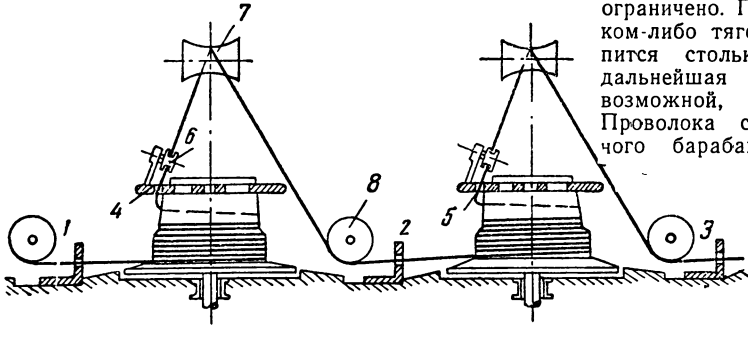


Рис. 111. Схема процесса волочения на машинах без скольжения магазинного типа:
1, 2, 3 — волоки; *4* — кольцо; *5* — прорезь; *6, 7, 8* — ролики

При одновременном вращении всех барабанов проволока может накапливаться как на приемном барабане, так и на всех тяговых. Количество витков, которое может накопиться на каждом из тяговых барабанов, ограничено. После того как на каком-либо тяговом барабане накопится столько проволоки, что дальнейшая намотка станет невозможной, его останавливают. Проволока сбегает с остановленного барабана (выполняющего роль отдающей фигурки) витками, закручиваясь около своей оси по винтовой линии с шагом, равным длине одного витка. После того как на тяговом барабане останется 10—15 витков, его опять пускают в работу.

Обозначим скорость движения проволоки, набегающей на тяговый барабан *n—1*,

$$u_{n-1} = v_{n-1}$$

и скорость движения проволоки, сбегающей с тягового барабана $n-1$,

Таблица 56

Параметры многократных машин без скольжения магазинного типа

Наименование параметра	Величина параметра	Примечания
	Основные параметры	
Скорость движения тягового барабана $n-1$	v_{n-1}	—
Скорость движения проволоки, набегающей на тяговый барабан $n-1$	$u_{n-1}=v_{n-1}$	—
Скорость движения проволоки, набегающей на тяговый барабан n	$u_n=v_n$	—
Скорость движения проволоки, сбегающей с тягового барабана $n-1$	$u'_{n-1}=\frac{u_n}{\mu_n}=\frac{v_n}{\mu_n}$	—
Скорость накапливания проволоки на барабане $n-1$	$v_{n-1}-u'_{n-1}=$ $=v_n\frac{\mu_n-\gamma_n}{\mu_n\cdot\gamma_n}$	—
	Возможные варианты соотношения скоростей набегания и сбегания проволоки	
Скорость накапливания проволоки положительная	$u_{n-1}>u'_{n-1}$	Количество витков на тяговом барабане $n-1$ увеличивается. $m_{кон}>m_{нач}$. Наблюдается закручивание проволоки вокруг своей оси
Скорость накапливания проволоки равная нулю	$u_{n-1}=u_{n-1}$	Количество витков на тяговом барабане $n-1$ не меняется. $m_{кон}=m_{нач}$. Закручивание проволоки не наблюдается
Скорость накапливания проволоки отрицательная	$u_{n-1}<u'_{n-1}$	Количество витков на барабане $n-1$ уменьшается. $m_{кон}<m_{нач}$ Наблюдается закручивание проволоки вокруг своей оси, но в обратную сторону
	Требования ко вновь конструируемым машинам	
Условия, обеспечивающие накапливание проволоки на любом промежуточном тяговом барабане $n-1$	$S_{n-1}\cdot v_{n-1}>S_n v_n$; $\frac{S_{n-1}}{S_n}>\frac{v_n}{v_{n-1}}$; $\mu_n>\gamma_n$; $\tau_n=\frac{\mu_n}{\gamma_n}>1{,}00$	—
Требования к приводу для каждого барабана	Привод к каждому барабану должен допускать остановку последнего с одновременной остановкой всех предыдущих барабанов	—

$$u'_{n-1} = \frac{u_n}{\mu_n} = \frac{v_n}{\mu_n}.$$

Возможны три случая:

1. $u_{n-1} > u'_{n-1}$ количество витков на тяговом барабане $n-1$ увеличивается; проволока при сбегании закручивается вокруг своей оси и тем больше, чем больше $u_{n-1} - u'_{n-1}$.

2. $u_{n-1} = u'_{n-1}$; количество витков на тяговом барабане $n-1$ не меняется; при сбегании проволоки закручивание ее не наблюдается.

3. $u_{n-1} < u'_{n-1}$ количество витков на тяговом барабане $n-1$ уменьшается; проволока при сбегании закручивается вокруг своей оси в обратную сторону.

При конструировании новых машин без скольжения магазинного типа должны быть соблюдены следующие условия:

1. Любой промежуточный тяговый барабан $n-1$ должен допускать некоторое накапливание витков проволоки; для этого необходимо, чтобы

$$S_{n-1} u_{n-1} > S_n u_n,$$

$$\frac{S_{n-1}}{S_n} > \frac{v_n}{v_{n-1}},$$

или

$$\mu_n > \gamma_n.$$

2. Привод к каждому промежуточному тяговому барабану должен допускать остановку последнего с обязательной одновременной остановкой всех предыдущих тяговых барабанов; последующие тяговые и приемный барабаны должны иметь возможность продолжать работу.

Скорость накапливания проволоки на промежуточном тяговом барабане $n-1$ определяется разностью

$$v_{n-1} - u'_{n-1} = \frac{v_n}{\gamma_n} - \frac{v_n}{\mu_n} =$$

$$= v_n \frac{\mu_n - \gamma_n}{\mu_n \gamma_n} = v_n \frac{\tau_n - 1}{\tau_n \gamma_n}$$

Так как μ_n принято большим, чем γ_n, то разность $\tau_n - 1$ будет положительным числом.

Обычно принимают $\tau_n = 1{,}02 \div 1{,}05$.

Преимущества машин магазинного типа: отсутствие скольжения и возможность значительного естественного охлаждения проволоки при переходе из волоки в волоку из-за длительного промежутка времени, требующегося для такого перехода, что особо важно для высокопрочных сплавов, а также в тех случаях, когда предъявляются высокие требования к пределу прочности протянутой проволоки. Примером может служить алюминиевая проволока для голых воздушных проводов.

Недостатки машин магазинного типа: затруднения при применении высоких скоростей (более 10 *м/сек*) из-за сложного пути прохождения проволоки; малая пригодность для волочения тонкой и тончайшей проволоки и полная непригодность их для волочения фасонной проволоки из-за ее перекручивания.

8. Машины без скольжения комбинированного типа

Машины без скольжения комбинированного типа представляют собой видоизменение машин без скольжения магазинного типа. Они снабжены специальными устройствами, обеспечивающими постоянное равенство скоростей наматывания и сбегания проволоки с каждого тягового барабана и постоянство секундного объема проволоки, проходящего через каждую волоку.

Маршруты волочения и скорости тяговых шайб в этом случае рассчитываются аналогично расчету машин без скольжения непрерывного типа.

Преимущество машин без скольжения комбинированного типа по сравнению с машинами непрерывного типа заключается в возможности значительного естественного охлаждения проволоки при переходе из волоки в волоку.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Гавриленко Механическая технология металлов, ч III, 1903.
2. С Н Петров, Работа и давление при прокатке. Записки Горного института, 1917, т. VI, вып 2
3. И Л Перлин. (с участием Н. З. Днестровского) Волочение цветных металлов. гл 1, Металлургиздат, 1935
4. А И Басс. Волочение проволоки и прутков, ОНТИ. 1937.
5. Н З Днестровский и Н. М. Богорад Исследование процесса волочения простых профилей, Сб работ Цниоцветмет, Металлургиздат, 1941, № 2, стр 5—25
6. С И Губкин Теория обработки металлов давлением, Металлургиздат, 1947
7. П И Минин Исследование волочения прутков стали, Машгиз, 1947.
8. Энциклопедический справочник «Машиностроение», т. VIII, Машгиз, 1949.
9. Н. З. Днестровский и Р. А. Блюмкина Сб. научных работ, Гипроцветметобработка, вып. XIII, Металлургиздат, 1952
10. И Л. Перлин Сб «Обработка металлов давлением», т. I, Металлургиздат, 1952, стр. 409—449.
11. Н. З. Днестровский Волочение цветных металлов и сплавов, Металлургиздат, 1954.
12. И. А Юхвец. Волочильное производство, Металлургиздат, 1954.
13. И Н Недовизий и А. Л. Тарнавский Скоростное волочение низкоуглеродистой стальной проволоки, Металлургиздат, 1954
14. И. Л Перлин. Теория волочения, Металлургиздат, 1957.
15. Н. З. Днестровский и С. Н Померанцев. Краткий справочник по обработке цветных металлов и сплавов, Металлургиздат, 1958.

ГЛАВА IV

ВОЛОЧЕНИЕ ПРОВОЛОКИ

§ 1. ПРОДУКТЫ ПРОИЗВОДСТВА

Таблица 57

Номенклатура ходовых сортов проволоки из цветных металлов и сплавов

Наименование металлов или группы сплавов	Материал, из которого сделана проволока	Наименование металлов или группы сплавов	Материал, из которого сделана проволока
Медь	Медь М1	Никелевые сплавы	Кремнистый никель
Латуни	Полутомпак Л80		Марганцевый никель НМц2,5
	Латунь Л68		Марганцевый никель НМц5
	Латунь Л62		Алюмель
	Свинцовая латунь ЛС59-1		Хромель
Бронзы	Кадмиевая бронза Бр. Кд0,5		Нихром
	Хромовая бронза		Монель-металл
	Телефонная бронза		Ферронихром
	Кадмиевая бронза Бр. Кд1,0	Алюминий . . .	Алюминий А1
	Бериллиевая бронза	Алюминиевые сплавы	Алдрей Ад
	Кремнистомарганцевая бронза		Альманган АМц
	Оловяннофосфористая бронза		Альмаг АМг
	Оловянноцинковая бронза		Дуралюмин Д18П
Медноникелевые сплавы	Сплав ТП		Дуралюмин Д3П
	Манганин		Дуралюмин Д1П
	Сплав ТБ		Альмаг АМг5П
	Мельхиор		Дуралюмин Д16П
	Нейзильбер	Титан	Титан
	Константан	Цинк	Цинк ЦО
	Копель		
Никель	Никель Н1		

Таблица 58

Сортамент круглой проволоки диаметром 0,005—16 *мм* (по ГОСТ 2771—57)

Номинальные диаметры проволоки, *мм*				Допускаемые отклонения, *мм*, при классе точности						
группы размеров										
I	II	III	IV	1	2	2а	3	3а	4	5
—	—	0,005	—							
—	—	0,0056	—							
0,006	0,006	0,006	—	—	—0,001	—0,0015	—0,0020	—	—	—
—	—	0,007	—							
—	0,008	0,008	—							
—	—	0,009	—							

Продолжение табл. 58

Номинальные диаметры проволоки, *мм*				Допускаемые отклонения, *мм*, при классе точности						
группы размеров										
I	II	III	IV	1	2	2а	3	3а	4	5
0,010	0,010	0,010	—							
—	—	0,011	—							
—	0,012	0,012	—							
—	—	0,014	—							
0,016	0,016	0,016	—							
—	—	0,018	—	—0,001	—0,002	—0,003	—0,004	—0,005	—	—
—	0,020	0,020	—							
—	—	0,022	—							
0,025	0,025	0,025	—							
—	—	0,028	—							
—	0,030	—	—							
—	—	0,032	—							
—	—	0,036	—							
0,040	0,040	0,040	—							
—	—	0,045	—							
—	0,050	0,050	—							
—	—	0,056	—	—0,002	—0,003	—0,005	—0,008	—0,010	—	—
0,060	0,060	0,063	—							
—	—	0,070	—							
—	0,080	0,080	—							
—	—	0,090	—							
0,10	0,10	0,10	0,10							
—	—	0,11	0,11							
—	0,12	0,12	0,12							
—	—	—	0,13							
—	—	0,14	0,14							
—	—	—	0,15							
0,16	0,16	0,16	0,16							
—	—	—	0,17							
—	—	0,18	0,18	—0,003	—0,005	—0,008	—0,013	—0,020	—0,035	—0,050
—	—	—	0,19							
—	0,20	0,20	0,20							
—	—	—	0,21							
—	—	0,22	0,22							
—	—	—	0,24							
0,25	0,25	0,25	0,25							
—	—	—	0,26							
—	0,30	0,28	0,28							

Продолжение табл. 58

Номинальные диаметры проволоки, *мм*				Допустимые отклонения, *мм*, при классе точности						
группа размеров										
I	II	III	IV	1	2	2а	3	3а	4	5
—	—	0,32	0,32							
—	—	—	0,34							
—	—	0,36	0,36							
—	—	—	0,38							
0,40	0,40	0,40	0,40							
—	—	—	0,42							
—	—	0,45	0,45	—0,004	—0,006	—0,010	—0,015	—0,025	—0,040	—0,060
—	—	—	0,48							
—	0,50	0,50	0,50							
—	—	—	0,53							
—	—	0,56	0,56							
0,60	0,60	—	0,60							
—	—	0,63	0,63							
—	—	—	0,67							
—	—	0,70	0,70							
—	—	—	0,75	—0,005	—0,007	—0,012	—0,018	—0,030	—0,045	—0,070
—	0,80	0,80	0,80							
—	—	—	0,85							
—	—	0,90	0,90							
—	—	—	0,95							
1,00	1,00	1,00	1,00							
—	—	—	1,05							
—	—	1,10	1,10							
—	—	—	1,15							
—	1,20	1,20	1,20							
—	—	—	1,30							
—	—	1,40	1,40							
—	—	—	1,50							
1,60	1,60	1,60	1,60	—	—0,010	—0,014	—0,020	—0,040	—0,060	—0,120
—	—	—	1,70							
—	—	1,80	1,80							
—	—	—	1,90							
—	2,00	2,00	2,00							
—	—	—	2,10							
—	—	2,20	2,20							
—	—	—	2,40							

Продолжение табл. 58

Номинальные диаметры проволоки, *мм*				Допустимые отклонения, *мм*, при классе точности						
группа размеров										
I	II	III	IV	1	2	2а	3	3а	4	5
2,5	2,5	2,5	2,50							
—	—	—	2,60							
—	—	2,8	2,80	—	—0,010	—0,014	—0,020	—0,040	—0,060	—0,120
—	3,0	—	3,00							
—	—	3,2	3,2							
—	—	—	3,4							
—	—	3,6	3,6							
—	—	—	3,8							
4,0	4,0	4,0	4,0							
—	—	—	4,2							
—	—	4,5	4,5	—	—0,013	—0,018	—0,025	—0,048	—0,080	—0,16
—	—	—	4,8							
—	5,0	5,0	5,0							
—	—	—	5,3							
—	—	5,6	5,6							
6,0	6,0	—	6,0							
—	—	6,3	6,3							
—	—	—	6,7							
—	—	7,0	7,0							
—	—	—	7,5							
—	8,0	8,0	8,0	—	—0,016	—0,022	—0,030	—0,058	—0,10	—0,20
—	—	—	8,5							
—	—	9,0	9,0							
—	—	—	9,5							
10,0	10,0	10,0	10,0							
—	—	—	10,5							
—	—	11,0	11,0							
—	—	—	11,5							
—	12,0	12,0	12,0	—	—	—0,027	—0,035	—0,070	—0,12	—0,24
—	—	—	13,0							
—	—	14,0	14,0							
—	—	—	15,0							
16,0	16,0	16,0	16,0							

Примечание. IV группу размеров применять не рекомендуется.

Таблица 59

Параметры проволоки из меди марки М1
Химический состав по ГОСТ 859—41; технические условия по ГОСТ 2112—46

Наименование параметра	Величина параметра для проволоки диаметром, *мм*									
	до 0,09	0,10—0,39	0,40—0,59	0,60—0,99	1,00—1,49	1,50—2,49	2,50—3,99	4,00—5,99	6,00—9,99	10,00—12,00
Предел прочности σ_b, *кг/мм²*:										
отожженная	⩽28	⩽28	⩽28	⩽27	⩽27	⩽27	⩽26	⩽26	⩽25	⩽25
твердая	⩾39	⩾39	⩾39	⩾39	⩾39	⩾39	⩾39	⩾37	⩾36	⩾34
Относительное удлинение δ при l=200 *мм*, %:										
отожженная	⩾18	⩾18	⩾18	⩾25	⩾25	⩾25	⩾30	⩾30	⩾35	⩾35
твердая	⩾0,5	⩾0,5	⩾0,5	⩾0,6	⩾0,8	⩾1,0	⩾1,2	⩾1,5	⩾2,0	⩾2,5
Удельное сопротивление ρ, *ом·мм²/км*:										
отожженная	⩽17,54	⩽17,54	⩽17,54	⩽17,54	⩽17,54	⩽17,54	⩽17,54	⩽17,54	⩽17,54	⩽17,54
твердая	⩽18,20	⩽18,20	⩽18,20	⩽18,20	⩽18,00	⩽18,00	⩽17,90	⩽17,90	⩽17,90	⩽17,90
Температурный коэффициент электросопротивления $\alpha_\rho \cdot 10^3$	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Удельный вес γ, *г/см³*	8,89	8,89	8,89	8,89	8,89	8,89	8,89	8,89	8,89	8,89
Теплопроводность, *кал/см·сек·°С*	0,7189	0,7189	0,7189	0,7189	0,7189	0,7189	0,7189	0,7189	0,7189	0,7189
Теплоемкость, *кал/г·°С*	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Коэффициент линейного расширения, $\alpha_\lambda \cdot 10^6$	16,40	16,40	16,40	16,40	16,40	16,40	16,40	16,40	16,40	16,40
Температура плавления, °С:										
ликвидус	1083	1083	1083	1083	1083	1083	1083	1083	1083	1083
солидус	1083	1083	1083	1083	1083	1083	1083	1083	1083	1083
Радиус закругления губок r, *мм*	—	—	—	—	5	5	10	10	—	—
Количество перегибов (твердая), не менее	—	—	—	—	7	5	5	4	—	—
Допускаемые отклонения, *мк*	±3	±5/±10	±10	±10/±15	±15/±20	±20/±30	±30/±40	±40/±50	±60/±80	±100

Таблица 60

Параметры проволоки из латуней.
Химический состав по ГОСТ 1019—47, технические условия по ГОСТ 1066—58

Наименование параметра	Наименование и марка сплава			
	полутомпак Л80	латунь Л68	латунь Л62	свинцовистая латунь ЛС59-1
Предел прочности σ_b, *кг/мм²*:				
отожженная	⩾34	⩾30/⩾38	⩾32/⩾35	⩾35
полутвердая	—	⩾35/⩾40	⩾36/⩾45	⩾40
твердая	⩾56	55—95	55—95	45—65
Относительное удлинение δ при $l = 100$ *мм*, %:				
отожженная	⩾29	⩾40/⩾20	⩾34/⩾18	⩾30
полутвердая	—	⩾15/⩾5	⩾12/⩾5	—
твердая	—	—	—	⩾8/⩾5
Удельное электросопротивление ρ *ом·мм²/км*:				
отожженная	54,0	68,0	71,0	65,0
твердая	60,0	71,0	74,0	68,0
Температурный коэффициент электросопротивления, $\alpha_\rho \cdot 10^3$	1,5	1,5	1,7	2,6
Удельный вес γ, *г/см³*	8,65	8,60	8,43	8,50
Теплопроводность, *кал/см·сек* °С	0,34	0,28	0,26	0,25
Теплоемкость, *кал/г·°С*	0,093	0,093	0,0925	—
Коэффициент линейного расширения $\alpha_\lambda 10^6$	19,1	19,9	20,6	20,6
Температура плавления, °С:				
ликвидус	1000	938	905	900
солидус	965	909	898	885

Таблица 61

Параметры проволоки из бронз

Наименование параметра	Наименование и марка сплава							
	кадмиевая Бр. Кд0,5	хромовая Бр. Х0,5	телефонная Бр Т	кадмиевая Бр. Кд1	бериллиевая Бр. Б2	кремнисто-марганцевая Бр. КМц3-1	оловянно-фосфористая Бр.ОФ6,5-0,4	оловянно-цинковая Бр. ОЦ4-3
Стандарт на химический состав, ГОСТ	—	ЦМТУ 3299—53	ЦМТУ —	ЦМТУ 192—41	493—54	493—54	5017—49	5017—49
Стандарт на технические условия, ГОСТ	—	—	—	—	ЦМТУ 673—41	5222—50	ЦМТУ 3352—53	5221—50
Предел прочности σ_b, *кг/мм²*:								
отожженная	27—29	—	⩾30	28—30	40—60	—	⩾42/⩾44	—
твердая	47—53	⩾55	⩾75	60—70	75	⩾78/⩾90	⩾85	⩾78/⩾90
Относительное удлинение δ при l=100 *мм*, %:								
отожженная	40—35	—	40	38—30	30	—	⩾60/⩾55	—
твердая	5—2	—	2	1—0,5	1	⩾2/⩾0,5	⩾2	⩾2/⩾0,5

Продолжение табл. 61

Наименование параметра	Наименование и марка сплава							
	кадмиевая Бр. КдО,5	хромовая Бр. Х0,5	телефонная Бр. Т	кадмиевая Бр. Кд1	бериллиевая Бр. Б2	кремнисто-марганцевая Бр. КМц3-1	оловянно-фосфористая Бр.ОФ6,5-0,4	оловянно-цинковая Бр. ОЦ4-3
Удельное электросопротивление ρ, *ом·мм²/км*:								
отожженная . . .	18,5—18,7	—	⩽41,0	19,3—19,7	—	150,0	176,0	87,0
твердая	19,0—19,8	21,5—24,5	⩽42,0	20,0—21,2	68,0	152,0	178,0	88,0
Температурный коэффициент электросопротивления $\alpha_\rho \cdot 10^3$	—	—	—	—	—	—	—	—
Удельный вес γ, *г/см³* .	8,85	8,85	8,80	8,80	8,23	8,40	8,80	8,80
Теплопроводность *кал/см·сек·°С*	—	0,80	—	—	0,20	0,11	0,12	0,20
Теплоемкость, *кал/г.°С*	—	—	—	—	—	0,09	—	—
Коэффициент линейного расширения $\alpha_\lambda \cdot 10^6$ . .	—	—	—	—	16,6	15,8	17,1	18,0
Температура плавления °С:								
ликвидус	—	1080	—	1080	955	1025	995	1045
солидус	—	—	—	—	864	—	—	—

Таблица 62

Параметры проволоки из медноникелевых сплавов

Наименование параметра	Наименование и марка сплава						
	сплав ТП МН06	манганин МНМц3-12	сплав ТБ МН16	мельхиор МН19	нейзильбер МНЦ15-20	константан МНМц40-1,5	копель МНМц43-0,5
Стандарт на химический состав, ГОСТ	492—52	492—52	492—52	492—52	492—52	492—52	492—52
Стандарт на технические условия, ГОСТ	1791—54	ЦМТУ 683—41	—	—	5220—50	5307—50	В-1790—42
Предел прочности σ_b *кг/мм²*:							
отожженная . . .	⩽30	40—65	⩽45	80	⩾35	40—55	⩽60
твердая	45—50	66—90	70—75	40	⩾55	⩾65	65—75
Относительное удлинение δ при *l*=200 *мм*, %:							
отожженная . . .	⩾25	30—25	⩾20	⩾30	⩾20—30	⩾15	⩾20
твердая	3—1	3—1	3—1	—	1—0,5	4—2	3—1
Удельное электросопротивление ρ, *ом·мм²/км*:							
отожженная . . .	30—32	420—480	220—237	287	260	450—480	440—490
твердая	32—34	425—485	225—240	290	265	460—520	445—495

Продолжение табл. 62

Наименование параметра	Наименование и марка сплава						
	сплав ТП МН06	манганин МНМц3-12	сплав ТБ МН16	мельхиор МН19	нейзильбер МНЦ15-20	константан МНМц40-1,5	копель МНМц43-0,5
Температурный коэффициент электросопротивления $\alpha_\rho \cdot 10^3$ . . .	3,14	0,03—0,01	2,68	0,29	0,20	0,05	0,14
Удельный вес γ, *г/см*³ .	8,96	8,40	9,00	8,90	8,70	8,90	8,89
Теплопроводность *кал/см·сек·°С*	0,650	0,052	—	0,092	0,085	0,050	0,058
Теплоемкость, *кал/г · °С*	—	0,098	—	—	0,095	0,098	—
Коэффициент линейного расширения $\alpha_\lambda \cdot 10^6$ . .	16,0	16,0	15,3	16,0	16,6	14,4	14,0
Температура плавления °С:							
ликвидус	1084	1010	1170	1190	1080	1260	1290
солидус	—	960	1120	1150	—	—	1220
Максимальная рабочая температура, °С . . .	100	100	100	200	250	500	600

Таблица 63

Параметры проволоки из никеля марки Н1.
Химический состав по ГОСТ 492—52; технические условия по ГОСТ 2179—59

Наименование параметра	Величина параметра	Наименование параметра	Величина параметра
Предел прочности σ_b, *кг/мм*²:		Температурный коэффициент электросопротивления $\alpha_\rho \cdot 10^3$	4,60
отожженная	⩾38/⩾43	Удельный вес γ, *г/см*³	8,90
твердая	60—135	Теплопроводность, *кал/см·сек °С*	0,14
Относительное удлинение δ при l=200 *мм*, %:		Теплоемкость, *кал/г °С* . . .	0,11
отожженная	⩾26/⩾18	Коэффициент линейного расширения $\alpha_\lambda \cdot 10^6$	13,7
твердая	—	Температура плавления, °С:	
Удельное электросопротивление ρ, *ом·мм²/км*:		ликвидус	1455
отожженная	92,0	солидус	1455
твердая	92,0		

Таблица 64

Параметры проволоки из никелевых сплавов

Наименование параметра	Наименование и марка сплава							
	кремнистый никель НКО,2	марганцевый никель НМц2,5	марганцевый никель НМц5	алюмель НМцАК2-2-1	хромель НХ9,5	нихром Х20Н80	монель-металл НМЖМц 28-2,5-1,5	ферронихром Х15Н60
Стандарт на химический состав ГОСТ . .	492—52	492—52	492—52	492—52	492—52	5632—51	492—52	5632—51
Стандарт на технические условия, ГОСТ .	2179—59	1049—57	1049—57	В-1790—42	В-1790—42	2238—58	ЦМТУ 664—41	2238—58
Предел прочности σ_b, *кг/мм²*:								
отожженная	≥38/≤43	≤65	≤100—≤75	≤64	≤80	50—76	≥45	64—74
твердая	60—85	≥70	≥75	110	80—110	77—120	≥65	100—120
Относительное удлинение δ при l=100 *мм*, %:								
отожженная	≥26/≤18	≥20	≥18	≥30	≥25	≥6—≥18	25	≥6—≥18
твердая	—	—	—	2	3—1	2—0,5	≥1	2—0,5
Удельное электросопротивление ρ, *ом·мм²/км*:								
отожженная	—	130—170	170—220	250—350	610—710	1020—1170	≥420	1060—1170
твердая	—	135—175	180—230	—	650—750	1040—1200	≥400	1080—1200
Температурный коэффициент электросопротивления $\alpha_\rho \cdot 10^3$	—	4,2	3,6	2,6	0,48	0,08	1,9	0,15
Удельный вес γ, *г/см³*	8,80	8,90	8,76	8,50	8,70	8,40	8,80	8,40
Теплопроводность, *кал/см·сек·°С*	0,14	0,127	—	—	—	0,034	0,07	0,033
Коэффициент линейного расширения $\alpha_\lambda \cdot 10^6$	13,7	13,7	13,4	—	12,8	17,6	14,5	16,0
Температура плавления, °С:								
ликвидус	1450	1440	1410	1440	1435	1400	1350	1390
солидус	—	—	1370	—	—	—	—	—
Максимальная рабочая температура, °С	—	—	—	1000	1000	1100	—	1000

Таблица 65

Параметры проволоки из алюминия марки А1,
Химический состав по ГОСТ 3549—55; технические условия по ГОСТ 6132—52

Наименование параметра	Величина параметра для проволоки диаметром, *мм*							
	0,80—1,00	1,01—1,50	1,51—2,00	2,01—2,50	2,51—3,00	3,01—4,00	4,01—4,50	4,51—5,00
Предел прочности σ_b, *кг/мм²*:								
отожженная	⩾ 7,5	⩾ 7,5	⩾ 7,5	⩾ 7,5	⩾ 7,5	⩾ 7,5	⩾ 7,5	⩾ 7,5
твердая	⩾16,5	⩾16,0	⩾16,0	⩾16,0	⩾16,0	⩾15,0	⩾15,0	⩾15,0
Относительное удлинение δ при $l = 200$ *мм*, %:								
отожженная	⩾10,0	⩾12,0	⩾12,0	⩾15,0	⩾15,0	⩾18,0	⩾18,0	⩾18,0
твердая	⩾ 1,0	⩾ 1,2	⩾ 1,5	⩾ 1,5	⩾ 1,5	⩾ 1,5	⩾ 2,0	⩾ 2,0
Удельное электросопротивление ρ, *ом·мм²/км*:								
отожженная	⩽29,5	⩽29,5	⩽29,5	⩽29,5	⩽29,5	⩽29,5	⩽29,5	⩽29,5
твердая	⩽29,5	⩽29,5	⩽29,5	⩽29,5	⩽29,5	⩽29,5	⩽29,5	⩽29,5
Температурный коэффициент электросопротивления $\alpha_\rho \cdot 10^3$	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Удельный вес γ, *г/см³*	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
Теплопроводность, *кал/см·сек·°С*	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
Теплоемкость, *кал/г·°С*	0,226	0,226	0,226	0,226	0,226	0,226	0,226	0,226
Коэффициент линейного расширения $\alpha_\lambda \cdot 10^6$	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8
Температура плавления, °С:								
ликвидус	653	653	653	653	653	653	653	653
солидус	653	653	653	653	653	653	653	653
Радиус закругления губок *r*, *мм*	—	—	5	5	10	10	10	10
Число перегибов (твердая)	—	—	⩾6	⩾6	⩾ 6	⩾ 6	⩾ 5	⩾ 5

Таблица 6

Параметры проволоки из алюминиевых сплавов. Химический состав по ГОСТ 4784—49

Наименование параметра	Наименование и марка сплава							
	алдрей Ад	альманган АМц	альмаг 3 АМг	дуралюмин Д18П	дуралюмин Д3П	дуралюмин Д1П	альмаг АМг5П	дуралюмин Д16П
Предел прочности σ_b, *кг/мм²*:								
отожженная	—	13	—	16	—	—	—	—
твердая	⩾31,5	16	—	30	—	—	—	27
Относительное удлинение δ при $l = 200$ *мм*, %:								
отожженная	—	20	—	24	—	—	—	—
твердая	⩾5	10	—	24	—	—	—	—
Удельное электросопротивление ρ, *ом·мм²/км*:								
отожженная	⩽32,7	34,4	—	—	—	—	—	—
твердая	⩽33,3	35,0	—	—	—	—	58,0	58,0
Температурный коэффициент электросопротивления $\alpha_\rho \cdot 10^3$	3,6	3,6	—	—	—	—	—	—
Удельный вес γ, *г/см³*	2,70	2,75	2,70	2,75	2,80	2,80	2,70	2,80
Теплопроводность, *кал/см·сек·°С*	—	0,45	—	—	—	0,42	0,28	0,46
Коэффициент линейного расширения $\alpha_\lambda \cdot 10^6$	23,0	24,0	23,8	22,0	22,0	22,0	24,3	22,0
Температура плавления (ликвидус), °С	650	654	652	648	650	641	638	638

Таблица 67

Параметры проволоки из титана марки ВТ1 Химический состав и технические условия по ЦМТУ 4602—56

Наименование параметра	Величина параметра
Предел прочности σ_b (отожженная), *кг/мм²*	⩾45
Относительное удлинение δ при $l = 200$ *мм* (отожженная), %	⩾25
Удельный вес γ, *г/см³*	4,54
Теплопроводность, *кал/см сек* °С	0,037
Теплоемкость, *кал/г* °С	0,125
Коэффициент линейного расширения $\alpha_\lambda \cdot 10^6$	8,35
Температура плавления, °С:	
ликвидус	1723—1800
солидус	1723—1800

Таблица 68

Параметры проволоки из цинка марки Ц1 Химический состав по ГОСТ 3640—47

Наименование параметра	Величина параметра
Удельное электросопротивление ρ, *ом·мм²/км*:	
отожженная	62,0
твердая	62,0
Удельный вес γ, *г/см³*	7,13
Теплопроводность, *кал/см·сек·* °С	0,270
Теплоемкость, *кал/г·* °С	0,092
Коэффициент линейного расширения $\alpha_\lambda \cdot 10^6$	39,7
Температура плавления, °С:	
ликвидус	419
солидус	419
Максимальная рабочая температура, °С	100

§ 2. ЧАСОВАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ВОЛОЧИЛЬНЫХ МАШИН

Теоретическая часовая производительность волочильных машин

$$G_m = 2{,}8274\,\gamma\,v_k d_k^2 \ кг/час,$$

где γ — удельный вес;
v_k — выходная скорость, *м/сек.*;
d_k — выходной диаметр, *мм.*

Теоретическая часовая производительность волочильных машин для разных металлов и сплавов приведена в табл. 69.

Теоретические часовые выработки машин при волочении проволоки из меди, никеля и их сплавов приведены для проволоки диам. 18,0—0,10 *мм* в табл. 70, для проволоки диам 0,10—0,005 *мм* — в табл. 71.

Теоретические часовые выработки волочильных машин при волочении проволоки из алюминия и его сплавов приведены в табл. 72. Ориентировочные коэффициенты перехода от теоретических к техническим нормам даны в табл. 73.

§ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ И ПРИМЕРНЫЕ МАШРУТЫ

Рекомендуемые значения технологических параметров при волочении приведены в табл. 74.

Рекомендуемые схемы разработки круглой медной проволоки даны в табл. 75.

Примерные маршруты волочения проволоки из цветных металлов и сплавов приведены в табл. 76.

§ 4. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВОЛОЧЕНИЯ

Классификация волочильных машин по видам волочения и размерам протягиваемой проволоки приведена в табл. 77, а в зависимости от схемы волочения — в табл. 78.

Рекомендуемые типы машин для волочения проволоки из цветных металлов и сплавов приведены в табл. 79.

1. Однократные машины

Однократные машины предназначены для волочения проволоки через одну волоку. В зависимости от расположения приемного барабана или от конструкции приемного устройства однократные машины делятся на следующие 5 типов (табл. 80):

а) однократные машины с горизонтальным приемным коническим барабаном;

б) однократные машины с вертикальным приемным коническим барабаном;

в) однократные машины с перевернутым приемным барабаном;

г) однократные машины с приемом проволоки непосредственно на катушку;

д) однократные машины с приемом проволоки на катушку через тяговую шайбу.

Рекомендуемые параметры нормального ряда однократных машин даны в табл. 81.

Технические параметры вертикальных однократных машин, поставляемых отечественной промышленностью, приведены в табл. 82.

Общий вид и план однократной вертикальной машины типа ВМА 1/550 представлен на рис. 112.

Таблица 69

Теоретическая часовая производительность волочильных машин для разных металлов и сплавов

Наименование металла или группы сплавов	Марка	Удельный вес *г/см*³	Теоретическая производительность, *кг/час*
Медь	М1	8,89	$25{,}14\,v_k d_k^2$
Латуни	Л68	8,60	$24{,}32\,v_k d_k^2$
Бронзы	БрОф6,5-0,4	8,80	$24{,}88\,v_k d_k^2$
Медноникелевые сплавы	Манганин	8,40	$23{,}75\,v_k d_k^2$
Никель	Н1	8,90	$25{,}16\,v_k d_k^2$
Никелевые сплавы	Монель-металл	8,80	$24{,}88\,v_k d_k^2$
Алюминий	А1	2,70	$7{,}63\,v_k d_k^2$
Алюминиевые сплавы	Дуралюмин	2,80	$7{,}92\,v_k d_k^2$
Титан	ВТ1	4,54	$12{,}84\,v_k d_k^2$
Цинк	Ц1	7,13	$20{,}16\,v_k d_k^2$

Таблица 70

Теоретические часовые выработки волочильных машин при волочении проволоки диаметром 18,0—0,10 *мм* из меди, никеля и их сплавов, *кг/час*

($G_т = 25\ vd^2$)

Диаметр *d*, *мм*	Скорость волочения *v*, *м/сек*																
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	25,0	30,0	40,0
18,00	4050,00	8100,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16,00	3200,00	6400,00	9600,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14,00	2450,00	4900,00	7350,00	9800,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12,00	1800,00	3600,00	5400,00	7200,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11,00	1512,50	3025,00	4537,50	6050,00	7562,50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10,00	1250,00	2500,00	3750,00	5000,00	6250,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9,00	1012,50	2025,00	3037,50	4050,00	5062,50	6075,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8,00	800,00	1600,00	2400,00	3200,00	4000,00	4800,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7,00	612,50	1225,00	1837,50	2450,00	3062,50	3675,00	4900,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6,30	496,13	992,25	1488,38	1984,50	2480,63	2976,75	3969,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5,60	392,00	784,00	1176,00	1568,00	1960,00	2352,00	3136,00	3920,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5,00	312,50	625,00	937,50	1250,00	1562,50	1875,00	2500,00	3125,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4,50	253,13	506,25	759,38	1012,50	1265,63	1518,75	2025,00	2531,25	3037,50	—	—	—	—	—	—	—	—
4,00	200,00	400,00	600,00	800,00	1000,00	1200,00	1600,00	2000,00	2400,00	3200,00	—	—	—	—	—	—	—
3,60	162,00	324,25	486,00	648,00	810,00	972,00	1296,00	1620,00	1944,00	2592,00	3240,00	—	—	—	—	—	—
3,20	128,00	256,00	384,00	512,00	640,00	768,00	1024,00	1280,00	1536,00	2048,00	2560,00	3072,00	—	—	—	—	—
2,80	98,00	196,00	294,00	392,00	490,00	588,00	784,00	980,00	1176,00	1568,00	1960,00	2352,00	3136,00	—	—	—	—
2,50	78,13	156,25	234,38	312,50	390,63	468,75	625,00	781,25	937,50	1250,00	1562,50	1875,00	2500,00	3125,00	—	—	—
2,20	60,50	121,00	181,50	242,00	302,50	363,00	484,00	605,00	726,00	968,00	1210,00	1452,00	1936,00	2420,00	3025,00	—	—
2,00	50,00	100,00	150,00	200,00	250,00	300,00	400,00	500,00	600,00	800,00	1000,00	1200,00	1600,00	2000,00	2500,00	3000,00	—
1,80	40,50	81,00	121,50	162,00	202,50	243,00	324,00	405,00	486,00	648,00	810,00	972,00	1296,00	1620,00	2025,00	2130,00	3240,00
1,60	32,00	64,00	96,00	128,00	160,00	192,00	256,00	320,00	384,00	512,00	640,00	768,00	1024,00	1280,00	1600,00	1920,00	2560,00

Продолжение табл. 70

Диаметр d, мм	Скорость волочения v, м/сек																
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	25,0	30,0	40,0
1,40	24,50	49,00	73,50	98,00	122,50	147,00	196,00	245,00	294,00	392,00	490,00	588,00	784,00	980,00	1225,00	1470,00	1960,00
1,20	18,00	36,00	54,00	72,00	90,00	108,00	144,00	180,00	216,00	288,00	360,00	432,00	576,00	720,00	900,00	1080,00	1440,00
1,10	15,13	30,25	45,38	60,50	75,63	90,75	121,00	151,25	181 50	242,00	302,50	363,00	484,00	605,00	756,25	907,50	1210,00
1,00	12,50	25,00	37,50	50,00	62,50	75.00	100,00	125,00	150,00	200,00	250,00	300,00	400,00	500,00	625,00	750,00	1000,00
0,90	10,13	20,25	30,38	40,50	50,63	60,75	81,00	101,25	121,50	162,00	202,50	243,00	324,00	405,00	506,25	607,50	810,00
0,80	8,00	16,00	24,00	32,00	40,00	48,00	64,00	80,00	96,00	128,00	160,00	192,00	256,00	320,00	400,00	480,00	640,00
0,70	6,13	12,25	18,38	24,50	30,63	36,75	49,00	61,25	73,50	98,00	122,50	147,00	196,00	245,00	306,25	367,50	490,00
0,63	4,96	9,92	14,88	19,85	24,81	29,77	39,69	49,61	59,54	79,38	99,23	119,07	158,76	198,45	248,06	297,68	396,90
0,56	3,92	7,84	11,76	15,68	19,60	23,52	31,36	39,20	47,04	62,72	78,40	94,08	125,44	156,80	196,00	235,20	313,60
0,50	3,13	6,25	9,38	12,50	15,63	18,75	25,00	31,25	37,50	50,00	62,50	75,00	100,00	125,00	156,25	187,50	250,00
0,45	2,53	5,06	7,59	10,13	12,66	15,19	20,25	25,31	30,38	40,50	50,63	60,75	81,00	101,25	126,56	151,88	202,50
0,40	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	16,00	20,00	24,00	32,00	40,00	48,00	64,00	80,00	100,00	120,00	160,00
0,36	1,62	3,24	4,86	6,48	8,10	9,72	12,96	16,20	19,44	25,92	32,40	38,88	51,84	64,80	81,00	97,20	129,60
0,32	1,28	2,56	3,84	5,12	6,40	7,68	10,24	12,80	15,36	20,48	25,60	30,72	40,96	51,20	64,80	76,80	102,40
0,28	0,98	1,96	2,94	3,92	4,90	5,88	7,84	9,80	11,76	15,68	19,60	23,52	31,36	39,20	49,00	58,80	78,40
0,25	0,78	1,56	2,34	3,13	3,91	4,69	6,25	7,81	9,38	12,50	15,63	18,75	25,00	31,25	39,06	46,88	62,50
0,22	0,61	1,21	1,82	2,42	3,03	3,62	4,84	6,05	7,26	9,68	12,10	14,52	19,36	24,20	30,25	36,30	48,40
0,20	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	4,00	5,00	6,00	8,00	10,00	12,00	16,00	20,00	25,00	30,00	40,00
0,18	0,41	0,81	1,22	1,62	2,03	2,43	3,24	4,05	4,86	6,48	8,10	9,72	12,96	16,20	20,25	24,30	32,40
0,16	0,32	0,64	0,96	1,28	1,60	1,92	2,56	3,20	3,84	5,12	6,40	7,68	10,24	12,80	16,00	19,20	25,60
0,14	0,25	0,49	0,74	0,98	1,23	1,47	1,96	2,45	2,94	3,92	4,90	5,88	7,84	9,80	12,25	14,70	19,60
0,12	0,18	0,36	0,54	0,72	0,90	1,08	1,44	1,80	2,16	2,88	3,60	4,32	5,76	7,20	9,00	10,80	14,40
0,11	0,15	0,30	0,45	0,61	0,76	0,91	1,21	1,51	1,82	2,4	3,03	3,63	4,84	6,05	7,56	9,08	12,10
0,10	0,13	0,25	0,38	0,50	0,63	0,75	1,00	1,25	1,50	2,00	2,50	3,00	4,00	5,00	6,25	7,50	10,00

Таблица 71

Теоретические часовые выработки волочильных машин при волочении проволоки диаметром 0,10—0,005 *мм* из меди, никеля и их сплавов, *г/час*

($G_т = 25\,000\ vd^2$)

Диаметр *d*, *мм*	Скорость волочения *v*, *м/сек*																
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	25,0	30,0	40,0
0,100	125,00	250,00	375,00	500,00	625,00	750,00	1000,00	1250,00	1500,00	2000,00	2500,00	3000,00	4000,00	5000,00	6250,00	7500,00	10000,00
0,090	100,25	202,50	303,75	405,00	506,25	607,50	810,00	1012,50	1215,00	1620,00	2025,00	2430,00	3240,00	4050,00	5062,50	6075,00	8100,00
0,080	80,00	160,00	240,00	320,00	400,00	480,00	640,00	800,00	960,00	1280,00	1600,00	1920,00	2560,00	3200,00	4000,00	4800,00	6400,00
0,070	61,25	122,50	183,75	245,00	306,25	367,50	490,00	612,50	735,00	980,00	1225,00	1470,00	1960,00	2450,00	3062,50	3675,00	4900,00
0,063	49,62	99,23	148,84	198,45	248,06	297,68	396,90	496,13	595,35	793,80	992,25	1190,70	1587,60	1984,50	2480,63	2976,25	3969,00
0,056	39,20	78,40	117,60	156,80	196,00	235,20	313,60	392,00	470,40	627,20	784,00	940,80	1254,40	1568,00	1960,00	2352,00	3136,00
0,050	31,25	62,50	93,75	125,00	156,25	187,50	250,00	312,50	375,00	500,00	625,00	750,00	1000,00	1250,00	1562,50	1875,00	2500,00
0,045	25,31	50,62	75,93	101,25	126,55	151,86	202,50	253,10	303,72	404,96	506,20	607,44	809,92	1012,40	1265,50	1518,60	2025,00
0,040	20,00	40,00	60,00	80,00	100,00	120,00	160,00	200,00	240,00	320,00	400,00	480,00	640,00	800,00	1000,00	1200,00	1600,00
0,036	16,20	32,40	48,60	64,80	81,00	97,20	129,60	162,00	194,40	259,20	324,00	388,80	518,40	648,00	810,00	972,00	1296,00
0,032	12,80	25,60	38,40	51,20	64,00	76,80	102,40	128,00	153,60	204,80	256,00	307,20	409,60	512,00	640,00	768,00	1024,00
0,028	9,80	19,60	29,40	39,20	49,00	58,80	78,40	98,00	117,60	156,80	196,00	235,20	313,60	392,00	490,00	588,00	784,00
0,025	7,81	15,62	23,43	31,25	39,06	46,88	62,50	78,13	93,75	125,00	156,25	187,50	250,00	312,50	390,63	468,75	625,00
0,022	6,05	12,10	18,15	24,20	30,25	36,30	48,40	60,50	72,60	96,80	121,00	145,20	193,60	242,00	302,50	363,00	484,00
0,020	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00	40,00	50,00	60,00	80,00	100,00	120,00	160,00	200,00	250,00	300,00	400,00
0,018	4,05	8,10	12,15	16,20	20,25	24,30	32,40	40,50	48,60	64,80	81,00	97,20	129,60	162,00	202,50	243,00	324,00
0,016	3,20	6,40	9,60	12,80	16,00	19,20	25,60	32,00	38,40	51,20	64,00	76,80	102,40	128,00	160,00	192,00	256,00
0,014	2,45	4,90	7,35	9,80	12,25	14,70	19,60	24,50	29,40	39,20	49,00	58,80	78,40	98,00	122,50	147,00	196,00
0,012	1,80	3,60	5,40	7,20	9,00	10,80	14,40	18,00	21,60	28,80	36,00	43,20	57,60	72,00	90,00	108,00	144,00
0,011	1,51	3,03	4,54	6,05	7,58	9,09	12,10	15,15	18,15	24,20	30,30	36,35	48,40	60,50	75,65	90,90	121,00
0,010	1,25	2,50	3,75	5,00	6,25	7,50	10,00	12,50	15,00	20,00	25,00	30,00	40,00	50,00	62,50	75,00	100,00
0,009	1,01	2,03	3,04	4,05	5,07	6,07	8,10	10,13	12,14	16,20	20,20	24,25	32,34	40,40	50,70	60,70	81,00
0,008	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	6,40	8,00	9,60	12,80	16,00	19,20	25,60	32,00	40,00	48,00	64,00
0,007	0,61	1,23	1,84	2,45	3,06	3,68	4,90	6,12	7,36	9,80	12,25	14,70	19,61	24,50	30,60	36,75	49,00
0,006	0,45	0,90	1,35	1,80	2,25	2,70	3,60	4,50	5,40	7,20	9,00	10,80	14,40	18,00	22,50	27,00	36,00
0,0056	0,39	0,78	1,17	1,57	1,96	2,34	3,14	3,92	4,68	6,28	7,84	9,37	12,48	15,68	19,60	23,40	31,36
0,005	0,32	0,63	0,95	1,25	1,58	1,88	2,50	3,16	3,76	5,00	6,25	7,50	10,01	12,50	15,80	18,75	25,00

Таблица 72

Теоретические часовые выработки волочильных машин при волочении проволоки из алюминия и его сплавов, *кг/час*

($G_г = 7{,}63\ vd^2$)

Диаметр d, *мм*	Скорость волочения v, *м/сек*									
	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0
18,00	1236,06	2472,12	—	—	—	—	—	—	—	—
16,00	976,64	1953,28	—	—	—	—	—	—	—	—
14,00	747,74	1495,48	—	—	—	—	—	—	—	—
12,00	549,36	1098,72	—	—	—	—	—	—	—	—
11,00	461,62	923,23	1846,46	—	—	—	—	—	—	—
10,00	381,50	763,00	1526,00	—	—	—	—	—	—	—
9,00	309,02	618,03	1236,06	—	—	—	—	—	—	—
8,00	244,16	488,32	976,64	1953,28	—	—	—	—	—	—
7,00	186,94	373,87	747,74	1495,48	—	—	—	—	—	—
6,30	151,42	302,84	605,67	1211,34	—	—	—	—	—	—
5,60	119,64	239,28	478,55	957,11	1435,66	—	—	—	—	—
5,00	95,38	190,75	381,50	763,00	1144,50	—	—	—	—	—
4,50	77,25	154,51	309,02	618,03	927,05	1236,06	—	—	—	—
4,00	61,04	122,08	244,16	488,32	732,48	976,64	1220,80	—	—	—
3,60	49,44	98,88	197,77	395,54	593,31	791,08	988,85	1186,62	—	—
3,20	39,07	78,13	156,26	312,52	468,79	625,05	781,31	937,57	1250,10	—
2,80	29,91	59,82	119,64	239,28	358,92	478,55	598,19	717,83	957,11	1196,38
2,50	23,84	47,69	95,38	190,75	286,13	381,50	476,88	572,25	763,00	953,75
2,20	18,47	36,93	73,86	147,72	221,58	295,43	369,29	443,15	590,87	738,58
2,00	15,26	30,52	61,04	122,08	183,12	244,16	305,20	366,24	488,32	610,40
1,80	12,36	24,72	49,44	98,88	148,33	197,77	247,21	296,65	395,54	494,42
1,60	9,77	19,55	39,07	78,13	117,20	156,26	195,33	234,39	312,52	390,66
1,40	7,48	14,95	29,91	59,82	89,73	119,64	149,55	179,46	239,28	299,10
1,20	5,49	10,99	21,97	43,95	65,92	87,90	109,87	131,85	175,80	219,74
1,10	4,62	9,23	18,46	36,93	55,39	73,86	92,32	110,79	147,72	184,65
1,00	3,82	7,63	15,26	30,52	45,78	61,04	76,30	91,56	122,08	152,60
0,90	3,09	6,18	12,36	24,72	37,08	49,44	61,80	74,16	98,88	123,61
0,80	2,44	4,88	9,77	19,53	29,30	39,07	48,83	58,60	78,13	97,66
0,70	1,87	3,74	7,48	14,95	22,43	29,91	37,39	44,86	60,82	74,77
0,63	1,51	3,03	6,06	12,11	18,17	24,23	30,28	36,34	48,45	60,57
0,56	1,20	2,39	4,79	9,57	14,36	19,14	23,93	28,71	38,28	47,86
0,50	0,95	1,91	3,82	7,63	11,45	15,26	19,08	22,89	30,52	38,15
0,45	0,77	1,55	3,09	6,18	9,27	12,36	15,45	18,54	24,72	30,90
0,40	0,61	1,22	2,44	4,88	7,32	9,77	12,21	14,65	19,53	24,42
0,36	0,49	0,99	1,98	3,96	5,93	7,91	9,89	11,87	15,82	19,78
0,32	0,39	0,78	1,56	3,13	4,69	6,25	7,81	9,38	12,50	15,63
0,28	0,30	0,60	1,20	2,39	3,59	4,79	5,98	7,18	9,57	11,96
0,25	0,24	0,48	0,95	1,91	2,86	3,82	4,77	5,72	7,63	9,54
0,22	0,18	0,37	0,74	1,48	2,22	2,95	3,69	4,43	5,91	7,39
0,20	0,15	0,31	0,61	1,22	1,83	2,44	3,05	3,66	4,88	6,10
0,18	0,12	0,25	0,49	0,99	1,48	1,98	2,47	2,97	3,96	4,94
0,16	0,10	0,20	0,39	0,78	1,17	1,56	1,95	2,34	3,13	3,91
0,14	0,08	0,15	0,30	0,60	0,90	1,20	1,50	1,79	2,39	2,99
0,12	0,06	0,11	0,22	0,44	0,66	0,88	1,10	1,32	1,7	2,20
0,11	0,05	0,09	0,18	0,37	0,55	0,74	0,92	1,11	1 48	1,85
0,10	0,04	0,08	0,15	0,31	0,46	0,61	0,76	0,92	1,22	1,53

Таблица 73

Ориентировочные коэффициенты перехода от теоретических к техническим нормам

Вид волочения	Класс	Число волок	Рекомендуемые скорости волочения *м/сек*	Диапазон диаметров протягиваемой проволоки *мм*	Коэффициент перехода к техническим нормам выработки оборудования	Коэффициент перехода к техническим нормам выработки рабочих
Тяжелое	I	5	0,9—1,8	16,00—10,00	0,60	0,50
	I	9	4,0—8,0	9,99—4,50	0,70	0,55
Толстое	II	9	5,0—15,0	4,49—1,60	0,75	0,60
	II	13	16,0—25,0	1,59—1,00	0,80	0,65
Среднее	III	12	20,0—30,0	0,99—0,40	0,85	0,70
Тонкое	IV	19	26,0—40,0	0,39—0,20	0,85	0,70
	V	19	26,0—40,0	0,19—0,10	0,85	0,70
Тончайшее	VI	19	20,0—30,0	0,09—0,05	0,80	0,65
	VII	19	13,0—20,0	0,04—0,03	0,75	0,60
	VIII	19	5,0—8,0	0,02—0,01	0,70	0,55

Таблица 74

Рекомендуемые значения технологических параметров при волочении проволоки

Классы	Выходной диаметр *мм*	Наименование технологического параметра	Величина параметров при волочении различных сплавов									
			медь	латунь	бронзы	медноникелевые сплавы	никель	никелевые сплавы	алюминий	алюминиевые сплавы	титан	цинк
I	16,00—4,50	Частная вытяжка	1,33—1,50	1,30—1,45	1,26—1,40	1,20—1,30	1,20—1,30	1,20—1,30	1,30—1,45	1,16—1,24	1,13—1,20	1,13—1,20
II	4,49—1,00		1,33—1,50	1,30—1,45	1,26—1,40	1,20—1,30	1,20—1,30	1,20—1,30	1,26—1,40	1,16—1,24	1,13—1,20	1,13—1,20
III	0,99—0,40		1,26—1,40	1,16—1,24	1,16—1,24	1,16—1,24	1,16—1,24	1,16—1,24	1,20—1,30	1,13—1,20	—	—
IV—V	0,39—0,10		1,20—1,30	1,13—1,20	1,13—1,20	1,13—1,20	1,13—1,20	1,13—1,20	1,16—1,24	1,13—1,20	—	—
VI—VIII	0,09—0,01		1,10—1,15	1,08—1,12	1,08—1,12	1,08—1,12	1,08—1,12	1,08—1,12	—	—	—	—
I	16,00—4,50	Полуугол рабочего конуса	7—9	6—8	5—7	4—6	4—6	4—6	10—12	10—12	10—12	10—12
II	4,49—1,00		7—9	6—8	5—7	4—6	4—6	4—6	9—11	10—12	10—12	10—12
III	0,99—0,40		6—8	5—7	5—7	4—6	4—6	4—6	8—10	9—11	—	—
IV—V	0,39—0,10		5—7	4—6	4—6	4—6	4—6	4—6	8—10	9—11	—	—
VI—VIII	0,09—0,01		5—7	4—6	4—6	4—6	4—6	4—6	—	—	—	—
I	16,00—4,50	Длина калибрующего пояска, % к диаметру	40	50	50	60	60	60	30	30	60	30
II	4,49—1,00		40	50	50	60	60	60	30	30	60	30
III	0,99—0,40		30	40	40	50	50	50	20	20	—	—
IV—V	0,39—0,10		30	40	40	50	50	50	20	20	—	—
VI—VIII	0,09—0,01		30	40	40	50	50	50	—	—	—	—
I	16,00—4,50	Коэффициент $K_з$	1,4—2,1	1,3—2,0	1,3—2,0	1,3—2,0	1,3—2,0	1,3—2,0	1,3—2,0	1,3—2,0	1,4—2,1	1,3—2,0
II	4,49—1,00		1,5—2,3	1,4—2,1	1,4—2,1	1,4—2,1	1,4—2,1	1,4—2,1	1,4—2,1	1,4—2,1	1,5—2,3	1,4—2,1
III	0,99—0,40		1,6—2,4	1,4—2,1	1,4—2,1	1,4—2,1	1,4—2,1	1,4—2,1	1,6—2,4	1,6—2,4	—	—
IV—V	0,39—0,10		1,8—2,7	1,6—2,4	1,6—2,4	1,6—2,4	1,6—2,4	1,6—2,4	1,8—2,7	1,8—2,7	—	—
VI—VIII	0,09—0,01		2,3—3,0	1,8—2,7	1,8—2,7	1,8—2,7	1,8—2,7	1,8—2,7	—	—	—	—

Примечание. Для классов I—II (выходной диаметр 16,0—1,00 *мм*) материалом волоки служит твердый сплав, а для классов III—VIII (выходной диаметр 0,99—0,01 *мм*) — алмаз.

Таблица 75

Рекомендуемая схема разработки круглой медной проволоки

Класс машин	Вид волочения	Диаметр заготовки или катанки, *мм*	Подтяжка				Номинальное число волок у машины	Число рабочих волок	Диапазон *мм*	Тип машины	Рекомендуемые скорости волочения *м/сек*	Существующие скорости волочения *м/сек*
			I степени	II степени	III степени	IV степени						
I	Тяжелое с катаной заготовки	20—8	—	—	—	—	5	3—5	16,00—10,00	I—5	0,9—1,8	0,2—0,5
		20—8	—	—	—	—	9	3—5	9,99—4,50	I—9	4,0—8,0	0,5—1,0
II	Толстое с катаной заготовки	7,2	—	—	—	—	9	2—3	4,49—4,00	II—9	5,0—7,5	1,0—1,5
		7,2	—	—	—	—	9	4—5	3,99—2,85	II—9	6,5—10,0	1,5—4,0
		7,2	—	—	—	—	9	6—7	2,84—2,10	II—9	8,0—12,0	4,0—8,0
		7,2	—	—	—	—	9	8—9	2,09—1,60	II—9	10,0—15,0	8,0—10,0
		7,2	—	—	—	—	13	10—11	1,59—1,25	II—13	16,0—25,0	8,0—12,0
		7,2	—	—	—	—	13	12—13	1,24—1,00	II—13	16,0—25,0	8,0—12,0
III	Среднее с подтяжки I степени	7,2	2,40	—	—	—	12	8—12	0,99—0,60	III—12	20,0—30,0	10,0—12,0
		7,2	1,60	—	—	—	12	8—12	0,59—0,40	III—12	20,0—30,0	10,0—12,0
IV	Тонкое с подтяжки I степени	7,2	1,60	—	—	—	19	14—19	0,39—0,30	IV—19	26,0—40,0	12,0—18,0
		7,2	1,00	—	—	—	19	14—19	0,29—0,20	IV—19	26,0—40,0	12,0—18,0
V	Тонкое с подтяжки II степени	7,2	2,40	0,60	—	—	19	14—19	0,19—0,14	V—19	26,0—40,0	12,0—18,0
		7,2	1,60	0,40	—	—	19	14—19	0,13—0,10	V—19	26,0—40,0	12,0—18,0
VI	Тончайшее с подтяжки II степени	7,2	1,60	0,30	—	—	19	14—19	0,09—0,07	VI—19	20,0—30,0	10,0—18,0
		7,2	1,00	0,20	—	—	19	14—19	0,06—0,05	VI—19	20,0—30,0	10,0—18,0
VII	Тончайшее с подтяжки III степени	7,2	2,40	0,60	0,14	—	19	14—19	0,04	VII—19	13,0—20,0	2,0—4,0
		7,2	1,60	0,40	0,10	—	19	14—19	0,03	VII—19	13,0—20,0	1,5—2,0
VIII	Тончайшее с подтяжки IV степени	7,2	1,00	0,20	0,06	—	19	14—19	0,02	VIII—19	5,0—8,0	1,0—2,0
		7,2	1,60	0,40	0,10	0,03	19	14—19	0,01	VIII—19	5,0—8,0	—

Примерные маршруты волочения проволоки

№ протяжек	Медь М1	Латуни				Бронзы				
		Л80	Л68	Л62	ЛС59-1	Бр. Кд 0,5	Бр.Х 0,5	Бр.Т	Бр.Кд1	Бр.Б2
0	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20
1	5,80	5,80	6,20	5,60	6,00	5,80	6,20	6,20	6,20	6,20*
2	4,80	4,85	5,30	4,50*	5,30*	4,85	5,30	5,30	5,30	5,30*
3	4,00	4,05	4,50	3,90	4,50	4,05	4,50	4,50	4,50	4,50*
4	3,35	3,40	3,90	3,35	4,20*	3,40	3,90	3,90	3,90	3,90
5	2,85	3,05	3,40	2,92	3,50	3,05	3,40	3,40	3,40	3,40*
6	2,44	2,65	3,05	2,56	3,20*	2,65	3,05	3,05	3,05	3,05
7	2,10	2,30	2,65	2,24	2,70	2,30	2,65	2,65	2,65	2,70
8	1,82	2,00	2,30	2,00*	2,40*	2,00	2,30	2,30	2,30	2,50*
9	1,60	1,70	2,00	1,77	2,00	1,70	2,00	2,00	2,00	2,30
10	1,41	1,50	1,70	1,56	—	1,50	1,70	1,70	1,70	2,00*
11	1,25	1,30	1,50	1,38	—	1,30	1,50	1,50	1,50	1,70
12	1,11	1,12	1,30	1,23	—	1,12	1,30	1,30	1,30	1,50*
13	1,00	1,00	1,12	1,10	—	1,00	1,12	1,12	1,12	1,30
14	0,90	—	1,00	1,00	—	0,88	1,00	1,00	1,00	1,12
15	0,81	—	—	0,90*	—	0,80	—	—	0,88	1,00*
16	0,72	—	—	0,78	—	0,75	—	—	0,80	0,88
17	0,64	—	—	0,69	—	0,68	—	—	0,72	0,80*
18	0,56	—	—	0,61	—	0,60	—	—	0,65	0,72
19	0,50	—	—	0,54	—	0,54	—	—	0,60	0,63
20	0,45	—	—	0,48	—	0,48	—	—	0,54	0,60
21	0,40	—	—	0,42	—	0,44	—	—	0,48	—
22	0,36	—	—	0,37	—	0,40	—	—	0,44	—
23	0,32	—	—	0,33	—	0,36	—	—	0,40	—
24	0,28	—	—	0,30	—	0,32	—	—	0,36	—
25	0,25	—	—	0,27	—	0,28	—	—	0,32	—
26	0,22	—	—	0,24	—	0,25	—	—	0,28	—
27	0,20	—	—	0,22	—	0,22	—	—	0,25	—
28	0,18	—	—	0,20	—	0,20	—	—	0,22	—
29	0,16	—	—	—	—	0,18	—	—	0,20	—
30	0,142	—	—	—	—	0,16	—	—	—	—
31	0,132	—	—	—	—	—	—	—	—	—
32	0,123	—	—	—	—	—	—	—	—	—
33	0,115	—	—	—	—	—	—	—	—	—
34	0,108	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35	0,100	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 76

из цветных металлов и сплавов

зы			Медноникелевые сплавы						
Бр.КМц 3-1	Бр.ОФ 6,5-0,4	Бр.ОЦ 4-3	сплав ТП МН0,6	манганин МНМц 3-12	сплав ТБ МН16	мельхиор МН19	нейзильбер МНЦ 15-20	константан МНМц40-1,5	копель МНМц 43-0,5
7,20	4,6	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20
6,20	5,30	6,20	6,20	5,80	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20
5,30	4,50	5,30	5,30	4,85	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30
4,50	3,90	4,50	4,50	4,05	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
3,90	3,40*	3,90	3,90	3,40	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90
3,40	3,05	3,40	3,40	3,05	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40
3,00*	2,70	3,05	3,05	2,65	3,05	3,05	3,05	3,05	3,05
2,65	2,50	2,70	2,65	2,30	2,65	2,65	2,70	2,65	2,65
2,30	2,30	2,50*	2,30	2,00	2,30	2,30	2,40	2,30	2,30
2,00	2,00*	2,30	2,00	1,70	2,00	2,00	2,10	2,00	2,00
1,75	1,77	2,00	1,70	1,50	1,70	1,70	1,80*	1,70	1,70
1,59	1,56	1,70	1,50	1,30	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
1,32*	1,38	1,50	1,30	1,12	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30
1,12	1,23	1,30	1,12	1,00	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12
0,97	1,10	1,12	1,00	0,88	1,00	1,00	1,00	1,00*	1,00
0,85	1,00	1,00	—	0,80	—	—	0,92	0,92	—
0,78	0,88*	0,92	—	0,75	—	—	—	0,83	—
0,72	0,80	0,83	—	0,68	—	—	—	0,75	—
0,65	0,72	0,75	—	0,60	—	—	—	0,68	—
0,60	0,65	0,68	—	0,54	—	—	—	0,60	—
0,54	0,60	0,60	—	0,48	—	—	—	0,54	—
0,48	0,54	0,54	—	—	—	—	—	0,49	—
—	0,48	0,50	—	—	—	—	—	—	—
—	0,44	—	—	—	—	—	—	—	—
—	0,40	—	—	—	—	—	—	—	—
—	0,36	—	—	—	—	—	—	—	—
—	0,32	—	—	—	—	—	—	—	—
—	0,28	—	—	—	—	—	—	—	—
—	0,25*	—	—	—	—	—	—	—	—
—	0,22	—	—	—	—	—	—	—	—
—	0,20	—	—	—	—	—	—	—	—
—	0,18	—	—	—	—	—	—	—	—
—	0,16	—	—	—	—	—	—	—	—
—	0,142	—	—	—	—	—	—	—	—
—	0,132	—	—	—	—	—	—	—	—
—	0,123	—	—	—	—	—	—	—	—

№ протяжек	Никель Н1	Никелевые сплавы							
		НК0,2	НМц2,5	НМц5	алюмель НМцАК-2-2-1	хромель НХ9,5	нихром Х20Н80	монель-металл НМЖМц 28-2,5-1,5	ферронихром Х15Н60
0	7,20*	7,20*	7,20*	7,20*	7,20*	7,20*	7,20*	7,20*	7,20*
1	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,50	6,50	6,20	6,50
2	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30	5,50	5,50	5,30	5,50
3	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	5,00	5,00	4,50	5,00
4	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90	4,40	4,40	3,90	4,40
5	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,90	3,90	3,40	3,90
6	3,05	3,05	3,05	3,05	3,20*	3,40	3,40	3,05	3,40
7	2,65	2,65	2,65	2,65	3,05	3,20*	3,20*	2,65	3,20*
8	2,30	2,30	2,30	2,30	2,65	2,95	2,95	2,30	2,95
9	2,00	2,00	2,00	2,00	2,30	2,55	2,55	2,00	2,55
10	1,70	1,70	1,70	1,70	2,00	2,25	2,25	1,70	2,25
11	1,50	1,50	1,50	1,50	1,80	2,00	2,00	1,50*	2,00
12	1,30	1,30	1,30	1,30	1,65	1,80	1,80	1,30	1,80
13	1,12	1,12	1,12	1,12	1,52*	1,65	1,65	1,12	1,65
14	1,00	1,00	1,00*	1,00*	1,40	1,50	1,50	0,98	1,50
15	0,88	0,88	0,88	0,88	1,23	1,40*	1,40*	0,88	1,40*
16	0,80*	0,80*	0,78	0,78	1,12	1,20	1,20	0,80	1,20
17	0,72	0,72	0,70*	0,70*	0,98	1,10	1,10	0,75	1,10
18	0,65	0,65	0,64	0,64	0,88	1,00	1,00	0,68	1,00
19	0,60	0,60	0,58	0,58	0,80*	0,88	0,88	0,60	0,88
20	0,54	0,54	0,54	0,54	0,68	0,80	0,80	0,54	0,80
21	0,48	0,48	0,48	0,48	0,60	0,72	0,72	0,48	0,72
22	—	—	—	—	0,54	0,65	0,65	—	0,65
23	—	—	—	—	0,48	0,57	0,57	—	0,57
24	—	—	—	—	—	0,52	0,52	—	0,52
25	—	—	—	—	—	0,48	0,48*	—	0,48*
26	—	—	—	—	—	—	—	—	—
27	—	—	—	—	—	—	—	—	—
28	—	—	—	—	—	—	—	—	—
29	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	—	—	—	—	—	—	—	—	—
31	—	—	—	—	—	—	—	—	—
32	—	—	—	—	—	—	—	—	—
33	—	—	—	—	—	—	—	—	—
34	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* Для последующего волочения проволоку этих размеров необходимо подвергнуть отжигу.

Продолжение табл. 76

Алюминий А1	Алюминиевые сплавы								Цинк
	Ад	АМц	АМг	Д18П	Д3П	Д1П	АМг5	Д16П	
9,00*	9,00*	10,50*	10,50*	10,50*	10,50*	10,50*	10,50*	10,50*	7,20*
7,40	7,50	8,80	8,90	9,10	9,10	9,30	9,40	9,40	6,50
6,00	6,20	7,40	7,70	8,00	8,00	8,30	8,60	8,60	5,40
4,90	5,20	6,30	6,70	7,10	7,10	7,50	8,00	8,00	5,35
4,00	4,45	5,50*	6,00*	6,50*	6,50*	7,00*	7,50*	7,50*	4,85
3,25	3,80	5,00	5,50	6,00	6,00	6,20	7,00	7,00	4,40
2,70	3,25	4,30	4,80	5,30	5,30	5,60	6,30	6,30	4,00
2,30	2,85	3,80	4,25	4,70	4,70	5,10*	5,70	5,70	3,65
2,00*	2,50*	3,30*	3,70*	4,10*	4,10*	4,40	5,10*	5,10*	3,30
1,85	—	3,00	3,30	3,60	3,60	3,90	4,60	4,60	3,00
1,70	—	2,70	2,95	3,20	3,20	3,60*	4,20	4,20	2,72
1,55	—	2,40	2,65	2,90	2,90	3,10	3,80*	3,80*	2,48
1,42	—	2,10	2,40*	2,70*	2,70*	2,70*	3,40	3,40	2,25
1,31	—	1,80	2,20	2,50	2,50	2,50	3,10	3,10	2,05
1,20	—	1,60	2,00	2,30	2,30	2,30	2,90	2,90	1,86
1,10	—	—	1,80	2,10	2,10	2,10	2,70*	2,70*	1,69
1,01	—	—	1,60	1,90	1,90	1,90	2,50	2,50	1,54
0,93	—	—	—	1,75	1,75	1,75	2,30	2,30	1,40
0,85	—	—	—	1,60	1,60	1,60	2,10	2,10	1,27
0,78	—	—	—	—	—	—	1,90	1,90	1,15
0,72	—	—	—	—	—	—	1,75	1,75	1,05
0,66	—	—	—	—	—	—	1,60	1,60	0,96
0,61	—	—	—	—	—	—	—	—	0,87
0,55	—	—	—	—	—	—	—	—	0,79
0,51	—	—	—	—	—	—	—	—	0,72
0,47	—	—	—	—	—	—	—	—	0,66
0,435	—	—	—	—	—	—	—	—	0,60
0,400	—	—	—	—	—	—	—	—	0,54
0,365	—	—	—	—	—	—	—	—	0,49
0,335	—	—	—	—	—	—	—	—	0,44
0,310	—	—	—	—	—	—	—	—	0,40
0,285	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,260	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,240	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,220	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,200	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 77

Классификация волочильных машин по видам волочения и размерам протягиваемой проволоки

Вид волочения	Класс	Размеры проволоки, *мм*	Вид волочения	Класс	Размеры проволоки, *мм*
Тяжелое	I	16,00—4,50	Тончайшее	VI	0,09—0,05
Толстое	II	4,49—1,00		VII	0,04—0,03
Среднее	III	0,99—0,40		VIII	0,02—0,01
Тонкое	IV	0,39—0,20			
	V	0,19—0,10			

Рекомендуемые типы машин

Вид волочения	Класс машин	Выходной диаметр *мм*	Рекомендуемые типы машин	Число волок	Выходная скорость при	
					медь	латуни
Тяжелое	I	16,00– 10,00	Однократные горизонтальные барабаны диам. 1000– 650 *мм*	1	0,9—1,8	0,5—1,0
	I	9,99—4,50	Однократные вертикальные барабаны диам. 550 *мм*	1	1,0—2,0	0,8—1,6
	I	16,00—10,00	Многократные со скольжением с горизонтальными цилиндрическими шайбами	5	0,9—1,8	-
	I	9,99—4,50	То же	9	4,0—8,0	—
	I	9,99—4,50	Многократные без скольжения непрерывно-прямоточного типа	5	—	1,5—3,0
Толстое	II	4,49—1,60	Многократные со скольжением с горизонтальными ступенчатыми шайбами	9	10,0—15,0	—
	II	1,59—1,00	Многократные со скозжением с горизонтальными ступенчатыми шайбами	13	16,0—25,0	--
	II	4,49—1,00	Многократные без скольжения непрерывно-прямоточные	5—9	—	4,5—9,0
	II	4,49—1,60	Многократные без скольжения магазинного типа .	6—10	—	—
	II	1,59—1,00	То же	8—10	—	—
Среднее	III	0,99—0,40	Многократные со скольжением с горизонтальными ступенчатыми шайбами	13	20,0—30,0	—
	III	0,99—0,40	Многократные без скольжения непрерывно-прямоточные	9	—	3,0—6,0
	III	0,99—0,40	Многократные без скольжения магазинного типа	8	—	—
Тонкое	IV	0,39—0,20	Многократные со скольжением с горизонтальными ступенчатыми направляющими и тяговыми шайбами	13	—	7,5—15,0
	IV	0,39—0,20	То же	19	26,0—40,0	—
	V	0,19—0,10	» »	13	—	7,5—15,0
	V	0,19—0,10	» »	19	26 0—40,0	—
Тончайшее	VI	0,09—0,05	» »	19	20,0—30,0	7,5—15,0
	VII	0,04—0,03	» »	19	13,0—20,0	6,0—12,0
	VIII	0,02—0,01	» »	19	5,0—8,0	—

Таблица 78

Классификация волочильных машин в зависимости от схемы волочения

Однократные	—	—	—	Однократные	—	—	—
Многократные	Непрерывные	Со скольжением	Прямоточные	Многократные	Прерывные	Без скольжения	Магазинные
		Без скольжения	Петлевые				Комбинированные
			Прямоточные				Сдвоенные

Таблица 79

для волочения проволоки

волочении различных сплавов, *м/сек*

бронзы	медноникелевые сплавы	никель	никелевые сплавы	алюминий	алюминиевые сплавы	титан	цинк
0,3—0,6	0,3—0,6	0,3—0,6	0,3—0,6	0,6—1,2	0,2—0,4	0,3—0,6	0,3—0,6
0,6—1,2	0,6—1,2	0,6—1,2	0,6—1,2	0,9—1,8	0,6—1,2	0,6—1,2	0,6—1,2
—	—	—	—	0,9—1,8	—	—	—
—	—	—	—	3,0—6,0	—	—	—
1,5—3,0	1,2—2,4	1,2—2,4	1,2—2,4	3,0—6,0	1,5—3,0	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
4,0—8,0	4,0—8,0	3,0—6,0	3,0—6,0	—	—	—	—
—	—	—	—	6,0—12,0	4,0—8,0	—	—
—	—	—	—	6,0—12,0	3,0—6,0	—	3,0—6,0
—	—	—	—	—	—	—	—
3,0—6,0	3,0—6,0	3,0—6,0	3,0—6,0	—	—	—	—
—	—	—	—	4,5—9,0	3,0—6,0	—	3,0—6,0
4,5—9,0	4,5—9,0	4,5—9,0	4,5—9,0	4,5—9,0	3,0—6,0	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
4,5—9,0	4,5—9,0	4,5—9,0	4,5—9,0	4,5—9,0	3,0—6,0	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
4,5—9,0	4,5—9,0	4,5—9,0	4,5—9,0	4,5—9,0	—	—	—
—	4,5—9,0	4,0—8,0	4,0—8,0	—	—	—	—
—	2,5—5,0	—	2,5—5,0	—	—	—	—

Таблица 80

Классификация и характеристика однократных машин

Тип машины		Положение осей тяговых устройств	Положительные стороны в работе машины	Отрицательные стороны в работе машины	Рекомендуемые области применения
по способу приема	по другим признакам				
Прием на барабан	Горизонтальноосные	Горизонтальное	Удобный съем	Возможность намотки только в один ряд	Для тяжелых размеров; 16,00—10,00 *мм*
	Вертикальноосные	Вертикальное	Возможность намотки во много рядов	Неудобный съем	Для тяжелых размеров: 9,99—4,50 *мм* Для толстых размеров 4,49—4,00 *мм*
	Перевернутые	Вертикальное	Наиболее удобный съем	Сложность конструкции	Для тяжелых размеров: 9,99—4.50 *мм* Для толстых размеров: 4,49—4,00 *мм*
Прием на катушку	Прием непосредственно	Горизонтальное	Исключение перемотки на последующих операциях, простота конструкции	Осуществление намотки под большим натяжением	Для тончайших размеров 0,05 *мм* и тоньше
	Прием через тяговую шайбу	Горизонтальное	Исключение перемотки на последующих операциях	Сложность конструкции; увеличенные габариты	Для тяжелых размеров: 9,99—4,50 *мм* Для толстых размеров: 4,49—4,00 *мм*

Таблица 81

Рекомендуемые параметры нормального ряда однократных машин

Наименование параметров	Горизонтальноосные			Вертикальноосные					
Диаметр приемного барабана, *мм*	1000	750	650	550	450	350	300	250	200
Диаметр готовой проволоки, *мм*	16—10	12—8	10—6	6—3	4—2	2—1	1,5—0,8	1,0—0,6	0,6—0,4
Сечение готового металла, *мм*^{2}	200—80	120—50	80—25	25—10	12—3	3—1	2,0—0,5	0,8—0,5	0,3—0,2
Диаметр заготовки, *мм*	25—12	20—10	16—8	8—5	6—3	3—2	2,5—1,6	2,0—1,2	1,6—1,0
Усилие волочения, *кг*	8000	4000	2000	1000	500	250	120	60	30
Потребная мощность на 1 барабан, *квт*	40	25	16	12	6	3	1,5	0,8	0,4
Число барабанов на 1 столе, шт.	1	1	1	1—4	1—4	2—4	4—8	6—10	8—12
Число барабанов, обслуживаемых одним рабочим, шт.	1/2	1	1	1	2	4	8	10	12
Скорость волочения, *м/сек*	0,3—1,0	0,6—1,8	0,6—1,8	0,7—2,0	0,6—2,4	0,6—2,4	0,7—2,8	0,8—3,2	0,8—3,2
Емкость барабана, *кг*	200	200	120	80	80	60	60	40	25

Таблица 82

Параметры отечественных машин однократного волочения

Наименование параметров	Тип машины				
	ВС-1/750	ВС-1/650М	ВСМ-1/550	ВС-1/550	ВМА-1/550 для алюминиевых сплавов
Количество волок шт.	1	1	1	1	1
Количество барабанов, шт.	1	1	1	1	1
Диаметр барабана, *мм*	750	650	550	550	550
Диаметр исходной заготовки, *мм*	20—12	12—7,2	8—3	8—3	12
Диаметр готовой круглой проволоки, *мм*	17,0—10,0	10,0—6,0	7,0—2,0	7,0—2,0	4,5—3,8
Максимальный предел прочности исходной заготовки, *кг/мм²*	110	110	80	60	60
Максимальное усилие волочения, *кг*	7500	5000	2000	1800	—
Скорости волочения, *м/сек*:					
I	1,0	0,9	1,2—1,4	1,3	0,7
II	2,0	1,7	1,8—2,2	1,7	0,9
III	—	2,4	2,7—3,2	2,6	1,4
IV	—	—	4,1—4,9	—	—
Вес бухты проволоки *кг*	250	250	150	80	80
Грузоподъемность поворотного крана, *кг*	250	250	—	—	250
Электродвигатель машины:					
мощность, *квт*	100	55	40	40	10
число оборотов, об/мин	975	720	1400/1730	1430	1410
Габаритные размеры машины со вспомогательным оборудованием:					
длина, *м*	9,4	6,2	6,8	4,1	5,0
ширина, *м*	4,5	4,4	3,7	3,6	3,2
высота, *м*	3,6	3,3	2,7	2,7	2,7
площадь, *м²*	42,2	27,2	25,2	14,9	15,9
Вес машины с электрооборудованием, *кг*	17120	9565	5624	4230	3287

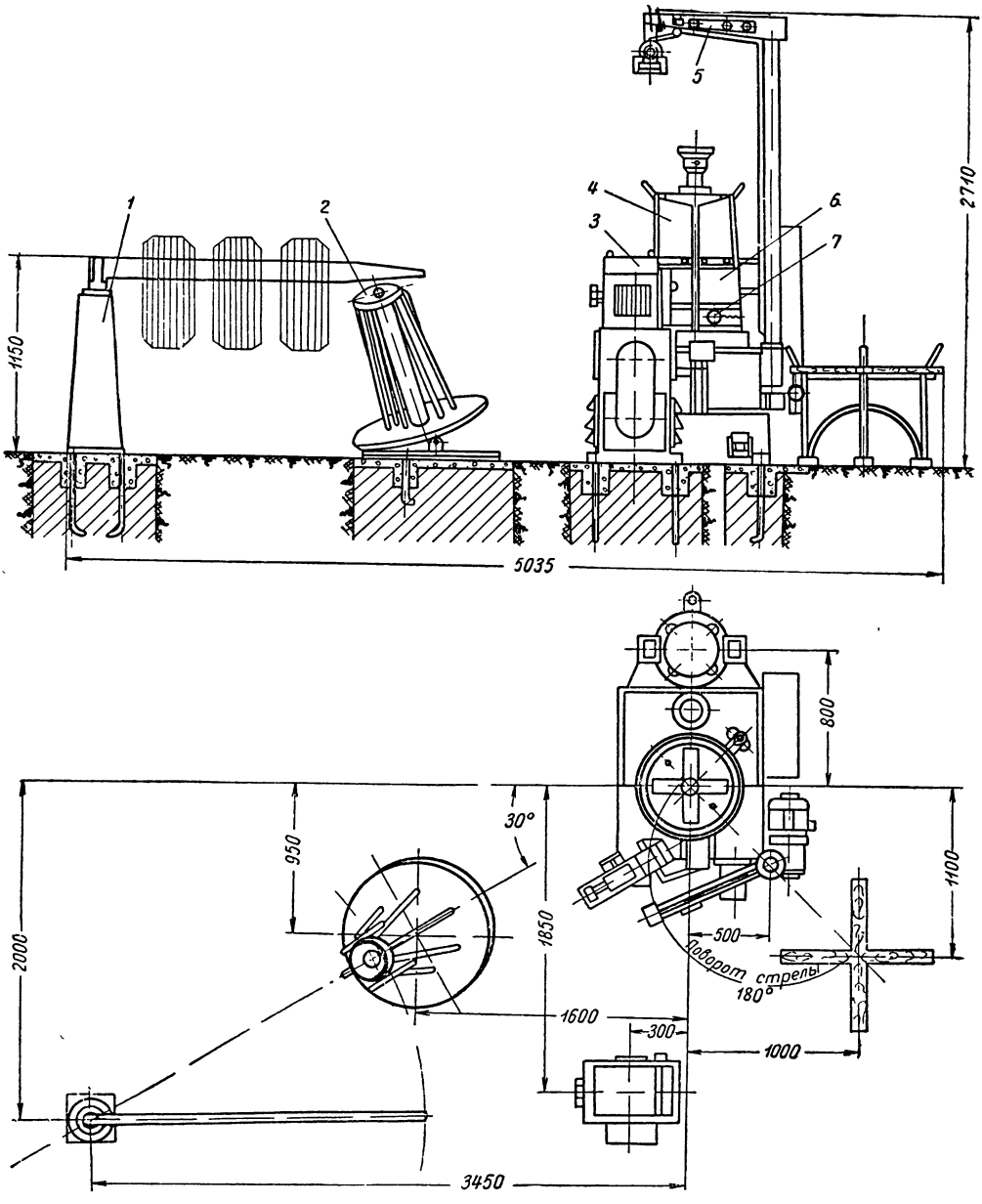


Рис. 112. Общий вид и план однократной машины типа ВМА 1/550:
1 — держатель бухт; *2* — фигурка; *3* — установка острилки; *4* — грейфер; *5* — подъемник 250 *кг*; *6* — волочильная машина; *7* — заправочные клещи

2. Многократные волочильные машины со скольжением

Многократные волочильные машины со скольжением находят широкое применение для волочения проволоки из меди и других цветных металлов.

Классификация и характеристика многократных волочильных машин со скольжением приведены в табл. 83.

Параметры многократных волочильных машин со скольжением I и II классов, выпускаемых отечественной промышленностью, приведены в табл. 84. В табл. 85 приведены рекомендуемые параметры волочильных машин со скольжением.

Общие виды и планы машин I класса СМВ1-5 и СМВ1-9 показаны на рис. 113 и 114. Общий вид и план машины II класса типа ВМ13 показан на рис. 115.

Таблица 83

Классификация и характеристика многократных волочильных машин непрерывного типа со скольжением

Форма тяговых шайб	Цилиндрическая	Цилиндрическая	Ступенчатая	Ступенчатая	Ступенчатая	Ступенчатая
Положение осей тяговых шайб	Горизонтальное	Вертикальное	Горизонтальное	Горизонтальное	Вертикальное	Поворотное
Другие особенности	—	—	—	Устройство для быстрого спуска эмульсии	—	—
Положительные стороны в работе машин	Удобная заправка Удобный замер на ходу	Простая система подачи смазки к волокам и шайбам	Удобная заправка Удобный замер на ходу	Удобная заправка Удобный замер на ходу	—	Удобная заправка Возможность осуществить замеры на ходу
Отрицательные стороны в работе машин	Большая длина при числе волок более 9	Трудная заправка Трудность замера на ходу	—	—	Неудобная заправка Невозможность замера на ходу	Повышенная вибрация из-за поворачивающегося привода
Рекомендуемый класс машин	I и II	II—при условии оснащения машин устройством для быстрого спуска эмульсии	II—VIII	III—V	Машины для применения не рекомендуются	III—V
Рекомендуемое число волок	5 и 9	—	13 и 19	13 и 19	—	13 и 19
Рекомендуемый диапазон диаметров готовой проволоки, *мм*	10,0—4,50	—	4,49—0,01	0,99—0,10	—	0,99—0,10

Таблица 84

Параметры отечественных многократных волочильных машин со скольжением I и II классов

Наименование параметра	Класс и тип машины			
	I		II	
	СМВ1-5	СМВ1-9	СМВ-II-9	ВМ-13
Количество волок, шт.	5	9	9	13
Количество тяговых роликов, шт.	5	8	4	4
Количество ступеней на роликах, шт.	1	1	2	3
Количество приемных конических барабанов, шт.	Нет	1	1	1
Диаметры, *мм*:				
ступеней тяговых роликов	700	350	211—380	158—244—380
приемного конического барабана	Нет	450	450	450
исходной круглой катанки	17—10	10—7,2	8—7,2	8—7,2
Сечение, *мм*^{2}:				
исходной фасонной заготовки	260—80	80—40	50—40	50—40
готовой проволоки	120—25	25—5	13—2	4—1,5
Диаметр готовой круглой проволоки, *мм*	12—5,5	5,5—4,0	4,0—1,6	2,3—1,0
Выходные скорости волочения, *м/сек*:				
I	1,0	3,0	8,0	8,0
II	1,6	4,4	10,0	10,0
III	2,9	7,3	15,0	15,0
Вес бухты на коническом барабане, *кг*	—	80	80	80
Грузоподъемность поворотного крана, *кг*	Нет	250	250	250
Максимальный диаметр щеки приемной катушки, *мм*	1700	560	560	560
Максимальная длина намотки, *мм*	750	310	310	310
Вес проволоки на приемной катушке, *кг*	$\leqslant$3000	$\leqslant$400	$\leqslant$400	$\leqslant$400
Производительность эмульсионного насоса, *л/мин*	330—85	19,8—5,1	—	—
Электродвигатель машины:				
мощность, *квт*	100	100	100	100
число оборотов, об/мин.	1460	1460	1460	1460
Электродвигатель приемного устройства:				
мощность, *квт*	—	4,5	14	14
число оборотов, об/мин.	—	735	1420	1420
Габаритные размеры машины со вспомогательным оборудованием:				
длина, *м*	17,8	14,2	6,9	6,9
ширина, *м*	5,2	3,4	4,0	4,0
высота *м*	2,3	3,2	3,4	3,4
площадь, *м*^{2}	92,5	48,4	27,6	27,6
Вес машины с электрооборудованием, *кг*	29 550	18 200	13 630	13 340

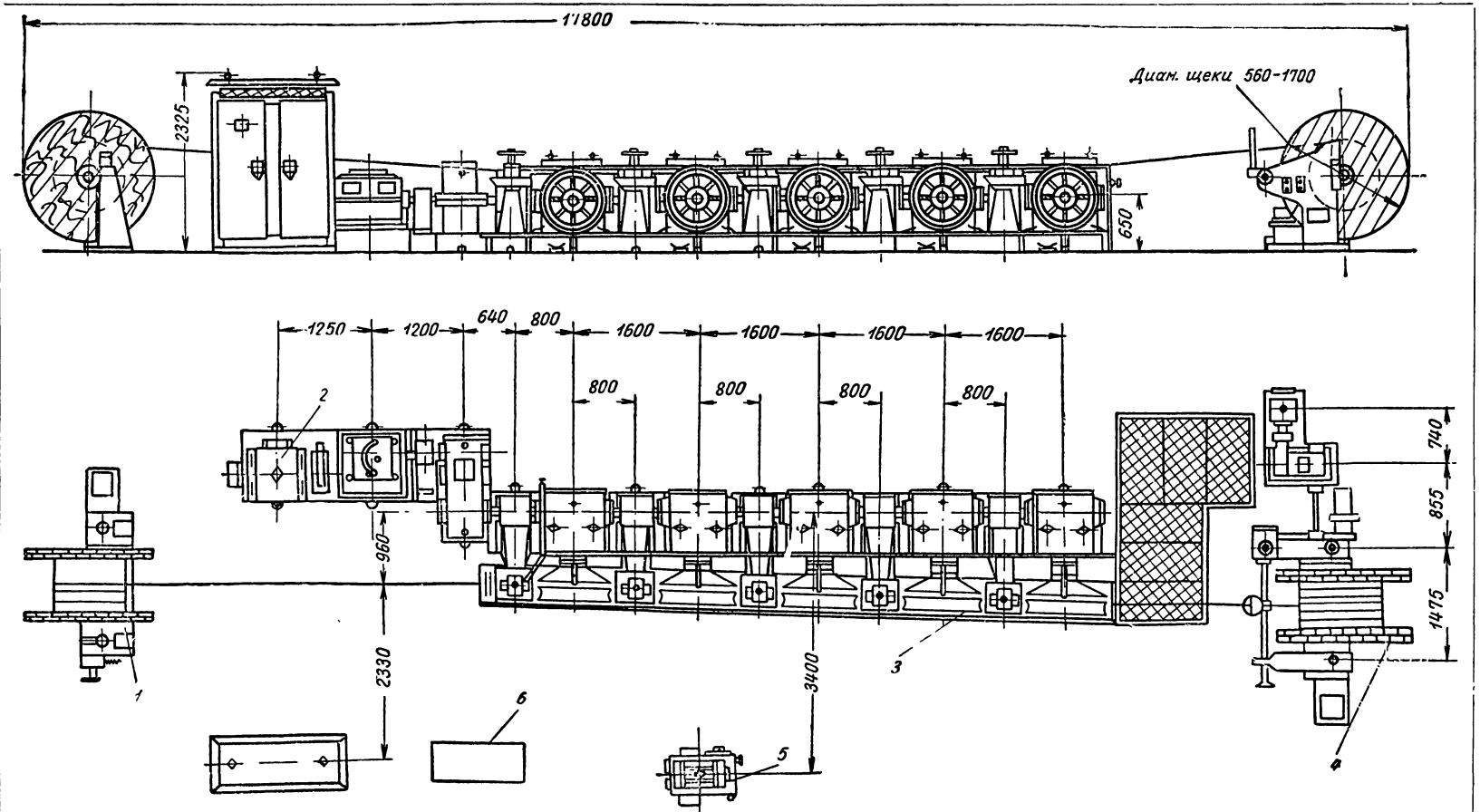


Рис. 113 Общий вид и план многократной машины I класса типа СМВ 1-5
1 — размоточные козлы, *2* — электропривод; *3* — машина, *4* — намоточный аппарат, *5* — острильный станок; *6* — стыкосварной аппарат

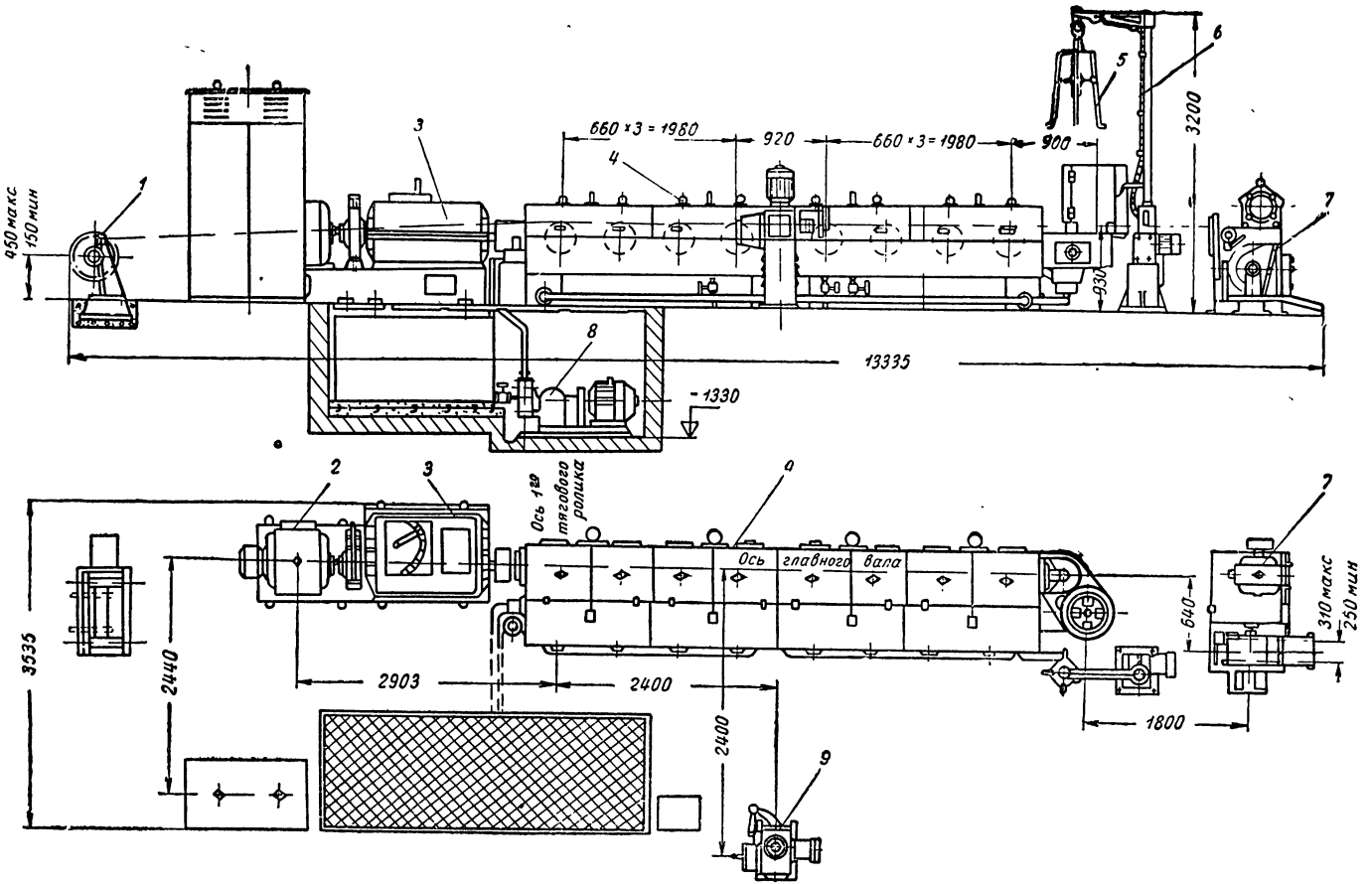


Рис. 114. Общий вид и план многократной машины I класса типа СМВ1-9:
1 — размоточные козлы; *2* — электропривод; *3* — редуктор; *4* — волочильная машина; *5* — грейфер; *6* — подъемник 250 *кг*; *7* — намоточный аппарат; *8* — эмульсионный насос; *9* — затяжной станок

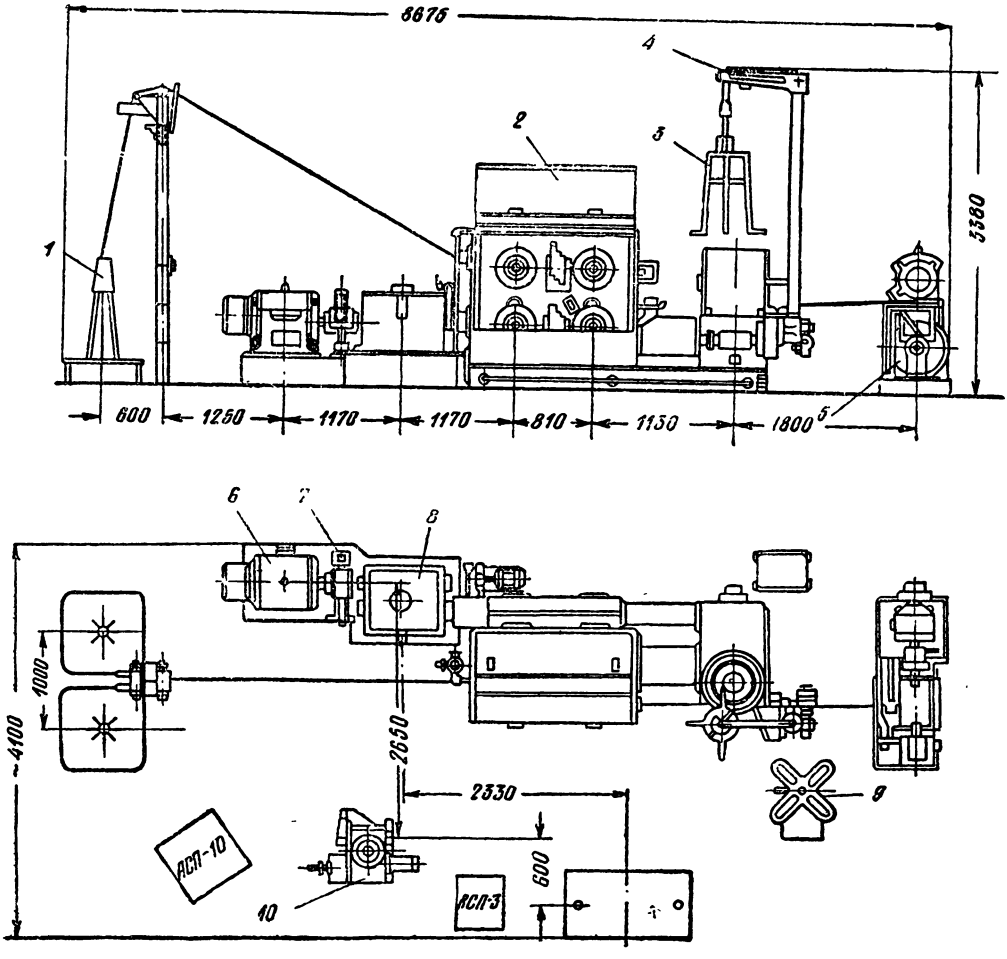


Рис. 115. Общий вид и план многократной машины II класса типа ВМ-13-М:
1 — фигурка; *2* — машина; *3* — грейфер; *4* — кран; *5* — намоточный аппарат; *6* — электропривод; *7* — тормоз; *8* — редуктор; *9* — стол для увязки бунтов; *10* — затяжной станок

Таблица 85

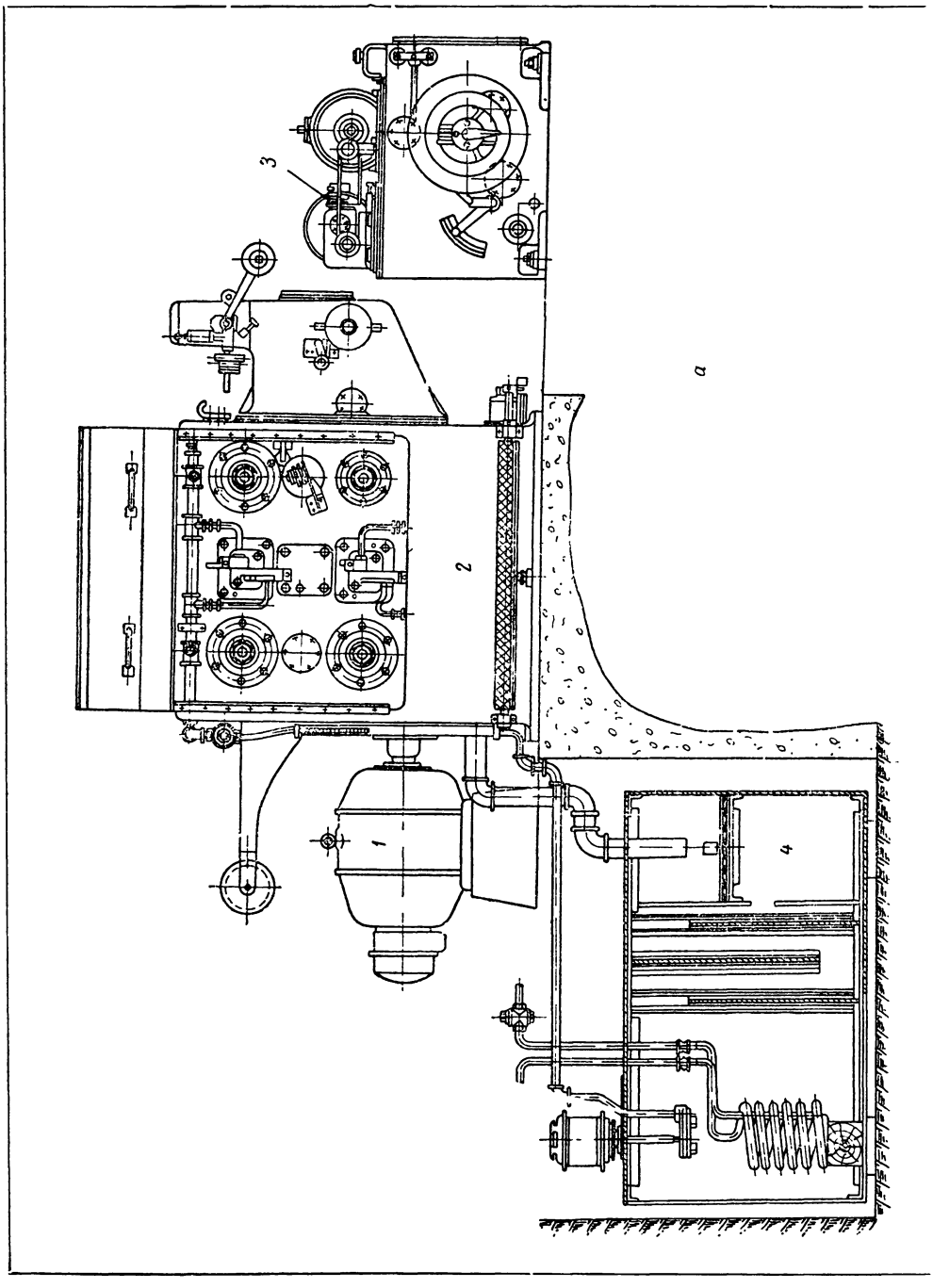
Рекомендуемые параметры многократных волочильных машин со скольжением

Характер волочения	Класс машин	Число волок к шт.	Диапазон диаметров протягиваемой проволоки $d_к$, *мм*	Рекомендуемая суммарная вытяжка $\frac{S_0}{S_к}$	Отношение диаметра заготовки к диаметру готовой проволоки $\sqrt{\frac{S_0}{S_к}}$	Диаметр заготовки d_0 *мм*
Тяжелое	I	5	16,00—10,00	3	1,7	25,00—18,00
	I	9	9,99—4,50	6	2,5	16,00—8,00
Толстое	II	9	4,49—1,60	20	4,5	8,00—7,20
	II	13	1,59—1,00	50	7,2	8,00—7,20
Среднее	III	12	0,99—0,40	16	4,0	3,95—1,60
Тонкое	IV	19	0,39—0,20	25	5,0	1,95—1,00
	V	19	0,19—0,10	20	4,5	0,95—0,45
Тончайшее	VI	19	0,09—0,05	16	4,0	0,36—0,20
	VII	19	0,04—0,03	12	3,5	0,14—0,10
	VIII	19	0,02—0,01	9	3,0	0,06—0,03

Машина СМВ—II-9 практически по габаритам и общему виду не отличается от машины ВМ13.

Параметры многократных волочильных машин со скольжением III и IV классов типов МР9 и С212, выпускаемых отечественной промышленностью, а также параметры машин V класса, выпускаемых фирмой «Робертсон» в Англии, и машин VI—VIII классов, выпускаемых фирмой «Дратцимашинен фабрик» в ГДР, приведены в табл. 86.

Общий вид и план машины IV класса типа С212 показан на рис. 116.



3. Многократные волочильные машины без скольжения магазинного типа

Многократные волочильные машины без скольжения магазинного типа в течение многих лет применялись только для волочения проволоки из черных металлов. За последние годы они нашли применение и для волочения проволоки из цветных металлов, в первую очередь алюминиевой. Параметры таких машин, выпускаемых отечественной промышленностью для волочения алюминиевой проволоки, приведены в табл. 87.

Общие виды и планы машин ВМА6/450, ВМА8/450 и ВМА10/450 представлены на рис. 117—119.

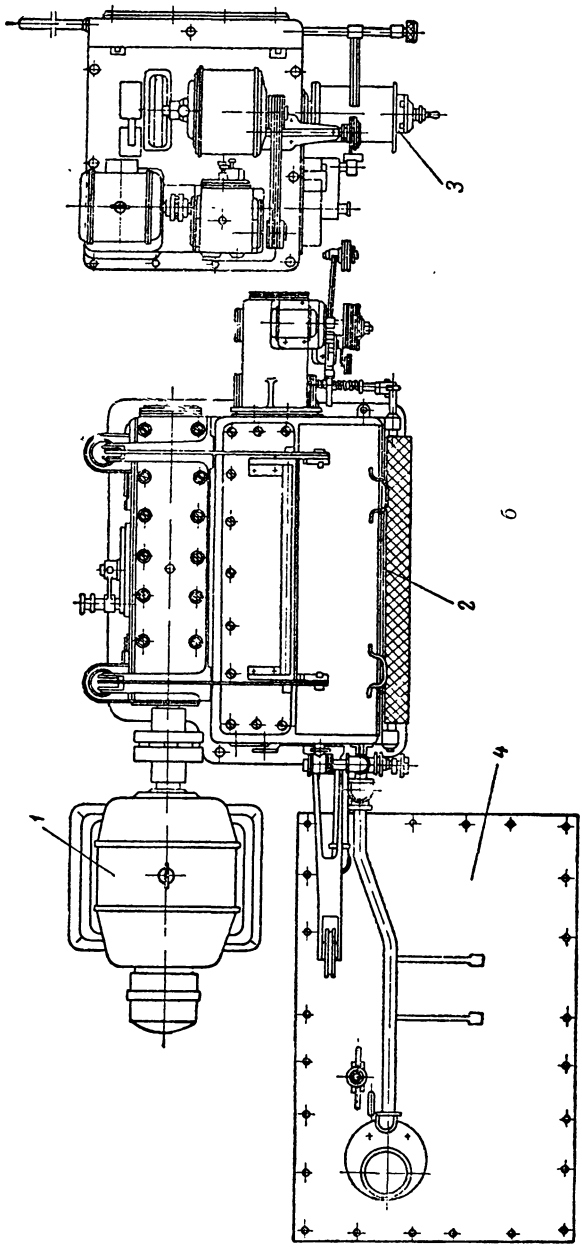


Рис. 116. Общий вид и план многократной машины IV класса типа С-212; *а* — общий вид; *б* — план; *1* — электропривод; *2* — волочильная машина, *3* — намоточный аппарат; *4* — эмульсионный бак

Таблица 86

Параметры многократных машин со скольжением III—VIII классов

Наименование параметров	Класс и тип машин				
	III МР-9 (СССР)	IV С-212 (СССР)	V «Робертсон» *FW* 21/2 (Англия)	VI *KDZW*G-VIII-18 (ГДР)	VII—VIII *L*VI (ГДР)
Количество волок, шт.	12	19	21	18	18
Количество тяговых ступенчатых роликов, шт.	4	4	6	2	2
Количество ступеней на каждом ролике, шт.	3	2×4+2×5	4×3+2×4	2×9	2×9
Количество направляющих ступенчатых роликов, шт.	Нет	Нет	Нет	2	2
Количество ступеней на каждом направляющем ролике, шт.	»	»	»	2×9	2×9
Диаметр, *мм*;					
ступеней тяговых роликов	100—144—207	60—294	—	40—141	45—99
тяговой шайбы	180	180	—	141	71
исходной заготовки	3,20—1,80	2,50—1,80	1,8—0,4	0,4—0,2	0,15—0,03
готовой круглой проволоки	0,99—0,40	0,39—0,20	0,30—0,10	0,09—0,05	0,04—0,01
Выходные скорости волочения, *м/сек*:					
I	12	13	—	9,5	3,5
II	15,5	18	—	18,3	10,0
III	20	25	40	30	17,6
Диаметр, *мм*:					
щеки приемной катушки	310	310—238	235—155	110	110—25
животика приемной катушки	220	220—194	152—106	90	90—18
Длина намотки на приемной катушке, *мм*	260	260—118	180—150	80	51—28
Вес проволоки на приемной катушке, *кг*	40	40—10	30—10	1,2	0,8—0,04
Электродвигатель машины:					
мощность, *квт*	36	29	18,5	3,2	1,8
число оборотов, об/мин.	1440	1435	1450	980	960
Электродвигатель приемного устройства:					
мощность, *квт*	2,8	2,8	—	—	—
число оборотов, об/мин.	1420	1450	—	—	—
Габаритные размеры машины со вспомогательным оборудованием:					
длина, *м*	4,2	5,2	2,0	1,3	1,7
ширина, *м*	1,8	2,3	1,5	1,0	1,0
высота, *м*	1,7	1,7	—	1,4	1,4
площадь, $м^2$	7,6	12,0	3,0	1,3	1,7
Вес машины с электрооборудованием, *кг*	4000	5000	2000	—	—

Таблица 87

Параметры отечественных многократных машин без скольжения магазинного типа для волочения алюминия

Наименование параметра	Тип машины				
	ВМА6/450	ВМА8/450	ВМА10/450	ВМА8/350	ВМА8/250 (проект)
Количество волок, шт. .	6	8	10	8	8
Количество тяговых барабанов, шт.	5	7	9	7	8
Количество приемных барабанов, шт.	1	1	1	1	Нет
Диаметр, *мм*:					
тяговых барабанов .	450	450	450	350	250
приемного барабана .	450	450	450	350	Нет
исходной заготовки	9	9	9	7—3,5	3,5—1,0
готовой круглой проволоки	4,0—2,8	3,0—2,3	2,3—1,7	1,75—1,0	1,0—0,45
Выходные скорости волочения, *м/сек*:					
I	4,9	5,9	5,9	4,5	3,7
II	6,6	8,0	8,0	6,1	5,0
III	9,9	11,8	11,8	9,1	7,4
Вес бухты на приемном барабане, *кг*	45	45	45	20	Нет
Грузоподъемность поворотного крана, *кг* . . .	250	250	250	150	»
Диаметр жимка катушки, *мм*	—	—	—	160	160
Максимальный диаметр щеки приемной катушки, *мм*	500	500	500	400	300
Максимальная длина намотки, *мм* . . .	310	310	250	250	250
Вес проволоки на приемной катушке, *кг* . . .	80	80	80	50	25
Электродвигатели машины:					
число двигателей, шт.	6	8	10	8	8
мощность каждого, *квт*	7—9—10	5—6,5—7	5—6,5—7	2,5—3,0—3,5	2,5—3,0—3,5
число оборотов, об/мин	700—950—1410	700—950—1410	700—950—1410	695—940—1400	695—940—1400
Электродвигатель приемного устройства:					
мощность, *квт* . . .	10	10	10	4,2	4,2
число оборотов, об/мин	1420	1420	1420	2200	2200
Габаритные размеры машины с вспомогательным оборудованием:					
длина, *м*	8,4	10,0	11,6	10,1	8,5
ширина, *м*	3,8	3,8	3,8	3,7	3,7
высота, *м*	2,7	2,7	2,7	2,4	1,5
площадь, $м^2$	32,0	38,0	44,0	37,4	31,4
Вес машины с электрооборудованием, *кг* . .	12 540	15 130	18 105	13 000	11 000

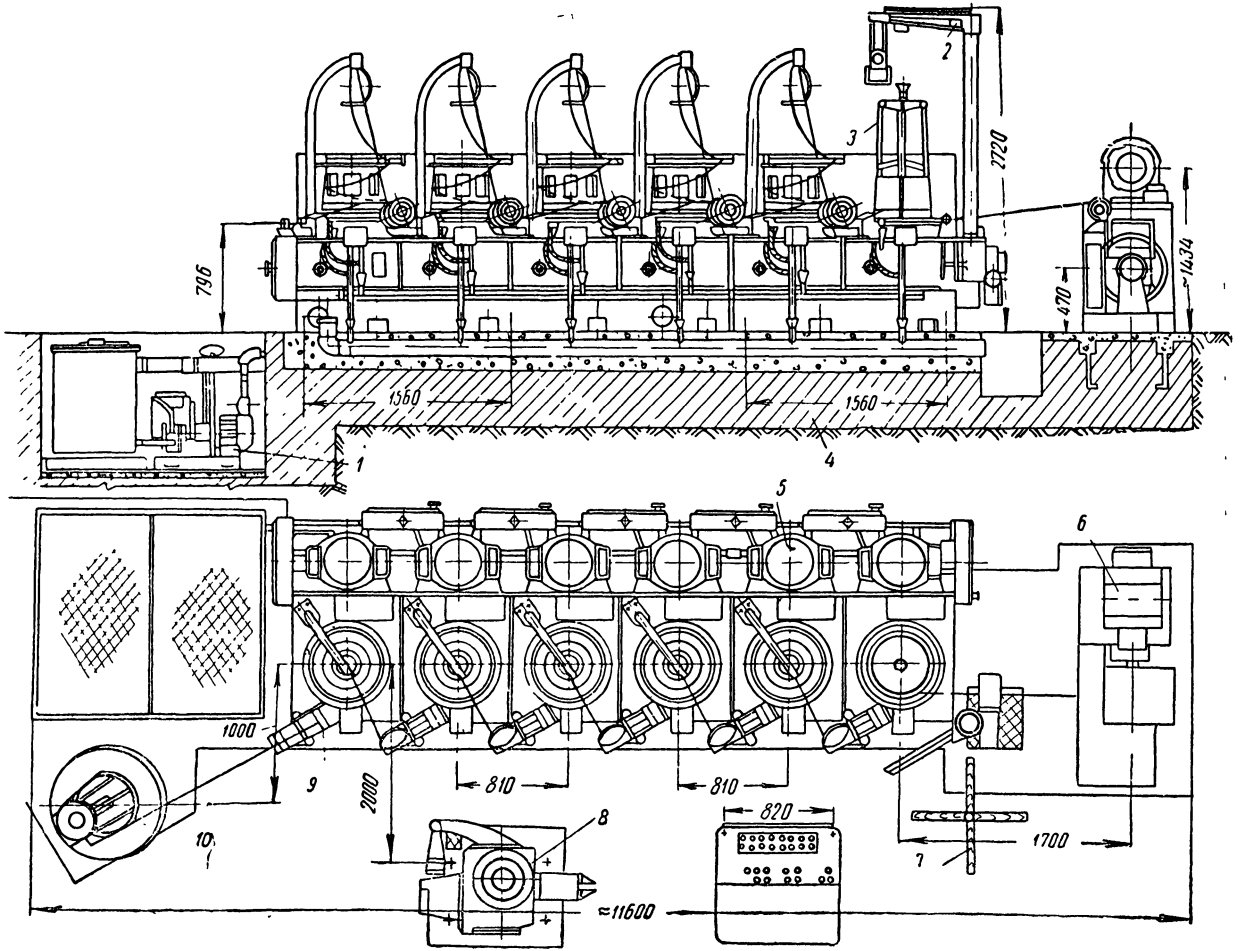


Рис. 117. Общий вид и план многократной машины без скольжения типа ВМА6/450: *1* — система смазки; *2*—поворотный кран; *3* — грейфер; *4* — фундамент; *5*—электрооборудование; *6*—намоточный аппарат; *7* — стеллаж; *8* — затяжной станок; *9* — вылочная машина; *10*—фигурка

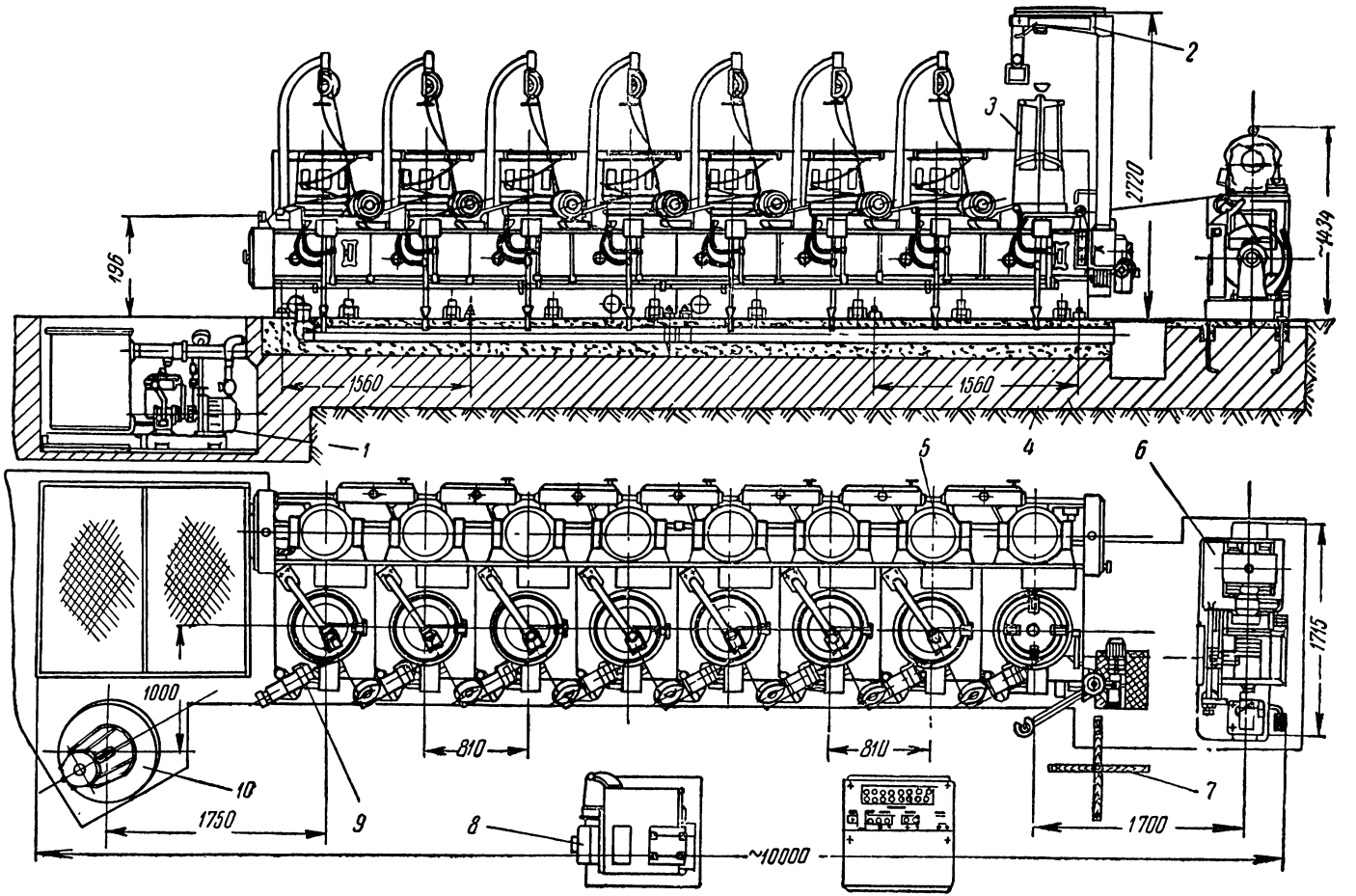


Рис. 118. Общий вид и план многократной машины без скольжения типа ВМА8/450:
1 — система смазки; *2* — кран; *3*—грейфер; *4*—фундамент; *5* — электрооборудование; *6*— намоточный аппарат; *7* — стеллаж; *8* — затяжной станок; *9* — волочильная машина; *10*—фигурка

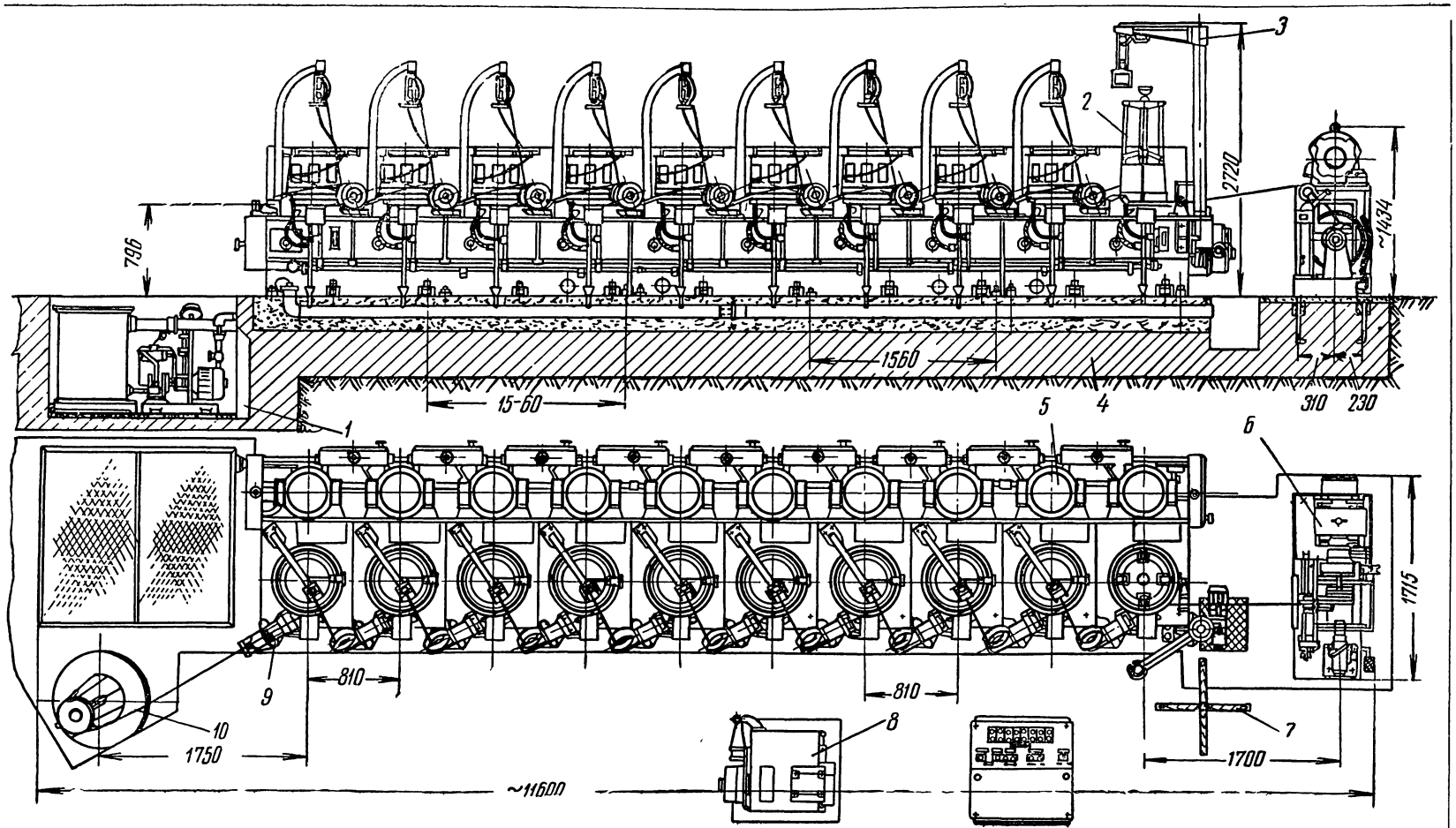


Рис 119. Общий вид и план многократной машины без скольжения типа ВМА10/450:

1 — система смазки; *2* — грейфер; *3* — кран; *4* — **фундамент**; *5* — электрооборудование; *6*—намоточный аппарат; *7*—стеллаж; *8*—затяжной станок, *9*—волочильная машина, *10* — фигурка

§ 5. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ФАСОННОЙ ПРОВОЛОКИ

Однократное волочение осуществляется на горизонтально- или вертикальноосных однократных машинах через волоки из твердых сплавов, а также составные или роликовые.

Двукратное волочение осуществляется на двух рядом установленных вертикальных однократных машинах, причем первая машина используется как тяговая шайба.

Многократное волочение осуществляется на горизонтальноосных машинах I класса на 5 волок типа СМВ1-5 (см. рис. 113) и 9 волок типа СМВ1-9 (рис. 114).

Холодное плющение на одноклетевых станах производится из круглой заготовки на станках с двумя гладкими валками; готовая проволока имеет в разрезе несколько закругленные боковые грани.

Холодное плющение на двуклетевых станах с двумя парами горизонтальных и одной парой вертикальных валков применяется для прямоугольной проволоки сечением не более 50 *мм*^{2} и шириной не более 15 *мм*. Стан состоит из аппарата, выпрямляющего круглую заготовку, первой пары горизонтальных валков, сплющивающих заготовку по толщине, пары вертикальных валков, калибрующих ее по ширине, и второй пары горизонтальных валков, доводящих толщину полосы до заданной.

Число проходов k проволоки через двуклетевой стан в зависимости от отношения толщины готовой проволоки к ее ширине:

$\frac{b}{h}$	До 2,5	2,5—3,5	3,6—5,0	5,1—7,0	7,1—10,0
k	1	2	3	4	5

Приводим формулы для определения диаметра требующейся круглой заготовки:
при одном проходе

$$d = \frac{b+h}{2}\left(A_1 + \frac{h}{75} - 0{,}04\,\frac{b}{h}\right);$$

при двух и более проходах

$$d = \frac{b+h}{2}\left[1{,}00 + 0{,}01\left(2h + \frac{k}{2} + \frac{k_0}{4} + A_2\right)\right],$$

где d — искомый диаметр круглой заготовки, *мм*;

h — толщина заданного прямоугольного профиля, *мм*;

b — ширина заданного прямоугольного профиля, *мм*;

k — число проходов через станок;

k_0 — число промежуточных отжигов;

A_1 и A_2 — коэффициенты; $A_1 = 1{,}18$; $A_2 = 6$ — при подаче в станок твердотянутой заготовки диаметром менее 8 *мм*; $A_1 = 1{,}15$; $A_2 = 8$ — при подаче в станок мягкой заготовки диаметром более 8 *мм*

При первом проходе через станок рекомендуется уменьшать толщину заготовки примерно на 40%, в каждом последующем — примерно на 30%, а в последнем — на 20%.

Холодное плющение на пятиклетевых непрерывных станах конструкции ЦКБММ

Стан (рис. 120) состоит из разматывателя *1*, правильного устройства *2*, пяти рабочих клетей с горизонтальными валками *3*, четырех регуляторов скорости и натяжения *4*, четырех эджеров с вертикальными валками *5*, пяти комбинированных редукторов *6*, одного направляющего ролика *7* и одного намоточного устройства *8*. Все пять электродвигателей клетей имеют одинаковую мощность по 20,5 *квт* при 750—1300 об/мин. Двигатель намоточного устройства имеет мощность 8,5 *квт* при 780—1500 об/мин. Каждая клеть снабжена тахогенератором *9*, соединенным через муфту с нижним шестеренным валком каждого редуктора и показывающим на специально градуированном вольтметре скорость валков каждой клети. При помощи тахогенераторов настраивают скорость каждой клети в соответствии с разработанной для каждого профиля технологией плющения. Для регулировки скорости и натяжения полосы между клетями, а также между последней клетью и намоточным устройством предусмотрены специальные регуляторы. Для точной калибровки исходной заготовки на некоторых непрерывных станах между разматывателем и первой клетью устанавливают волокодержатель с волокой или даже волочильный барабан, скорость которого синхронизируют со скоростью первой клети плющильного стана.

Холодная прокатка на станах с универсальной головкой производится с помощью четырех валков, приводимых во вращение коническими шестернями.

Холодная прокатка на лентопрокатных станах с последующей продольной разрезкой на ленточных ножницах применяется для изготовления прямоугольных профилей при отношении $\frac{b}{h} > 10$ и при толщине менее 3 *мм*.

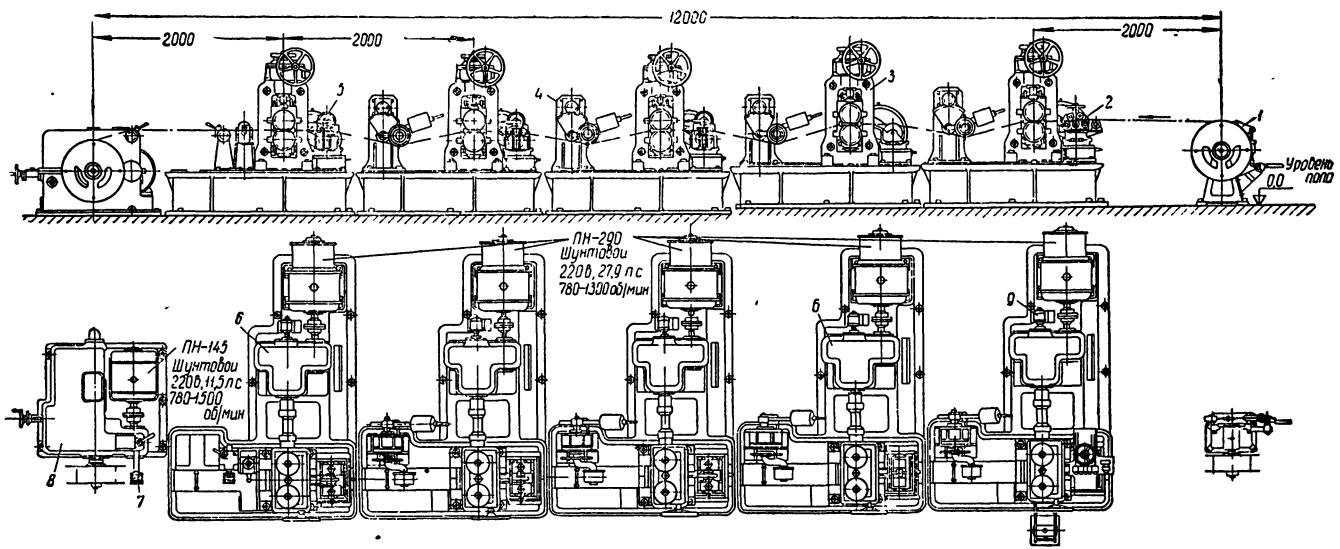


Рис. 120 Общий вид и план пятиклетевого непрерывного плющильного стана

6. ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ ВОЛОЧИЛЬНЫХ МАШИН

Устройства для подачи заготовки в машины

Таблица 88

Заготовка	Длинные отрезки, намотанные на барабаны	Бухты	Бухты	Бухты	Длинные отрезки, намотанные на катушки	Длинные отрезки, намотанные на катушки
Способ подачи	С вращающегося барабана; сваренные 10—12 бухт	С высокого конуса	С вращающейся фигурки	С неподвижной фигурки	С неподвижной катушки при помощи водилки	С вращающейся катушки
Положительные стороны	Возможность получения готовых изделий большой строительной длины	Сварка производится специальными сварщиками, а не волочильщиками. Возможность приема на катушки большого веса	Простота подачи заготовки	Возможность сварки двух бухт на ходу машины	Заготовка при подаче не испытывает натяжения. Мгновенная остановка при обрыве без запутывания заготовки	Простота, отсутствие скруток
Отрицательные стороны	—	Одно скручивание заготовки на каждый виток. Непригодность для фасонной заготовки	Необходимость остановки машины для сварки	Одно скручивание проволоки на каждый виток катанки. Непригодность для фасонной проволоки	Одно скручивание проволоки на каждый виток катанки. Непригодность для фасонной заготовки	Необходимость остановки машины для сварки
Области применения	Машины I класса, машины для контактных проводов	Машины II класса	Машины III—IV классов. Твердая подтяжка	Машины III—IV классов. Мягкая подтяжка	Машины IV—VIII классов	Машины V—VIII классов.

1. Волокодержатели

Волокодержатели для однократных машин и машин без скольжения магазинного типа позволяют правильно установить волоку по направлению волочения. Волокодержатель закрепляется с помощью вертикального и горизонтальных маховичков. Волокодержатели нескольких машин соединены последовательно резиновыми шлангами, по которым поступает вода для охлаждения волок.

Волокодержатели для многократных машин без скольжения непрерывно-прямоточного типа устроены так, что позволяют замерять давление волоки на опору при помощи специального устройства.

Волокодержатели для многократных машин со скольжением снабжаются устройствами, при помощи которых эмульсия нагнетается насосом к волокам и стекает через слив в соответствующие отстойные баки, из которых она забирается насосом и опять подается к волокам.

Приспособления с гидравлическим приводом для непосредственной заправки в волоки протягиваемой проволоки применяются на однократных машинах и снабжаются специальными зажимами, захватывающими передний конец бухтовой заготовки и проталкивающими его с силой через волочильный канал на длину, достаточную для захвата его клещами волочильного барабана.

2. Тяговые шайбы

Тяговые шайбы волочильных машин со скольжением изготовляются цельными и составными. Общий вид и разрез блока цельной цилиндрической тяговой шайбы диаметром 700 *мм* от машины СМВ1-5 представлен на рис. 121.

Для уменьшения прорезания из-за скольжения проволоки рабочие поверхности шайб покрывают хромом или надевают на шайбы закаленные бандажи из хромистой стали.

Поперечный разрез волочильной машины ВМ13М по двум ступенчатым тяговым шайбам, а также механизм привода их во вращение от коренного ведущего вала машины представлен на рис. 122. На каждую ступень тяговой шайбы надеты бандажи из специальной стали.

Разрез волочильной машины СМВ1-9М вместе с составной цилиндрической тяговой шайбой диаметром 350 *мм* показан на рис. 123. На разрезе видно, что на корпус тяговой шайбы надет бандаж из специальной стали.

На машинах III—V классов применяют обкладку рабочей поверхности тяговых шайб специальной стальной лентой (рис. 124). Для бандажной ленты рекомендуется применять сталь ЭИ142, предварительно подвергая ее закалке и отпуску, а затем хромированию.

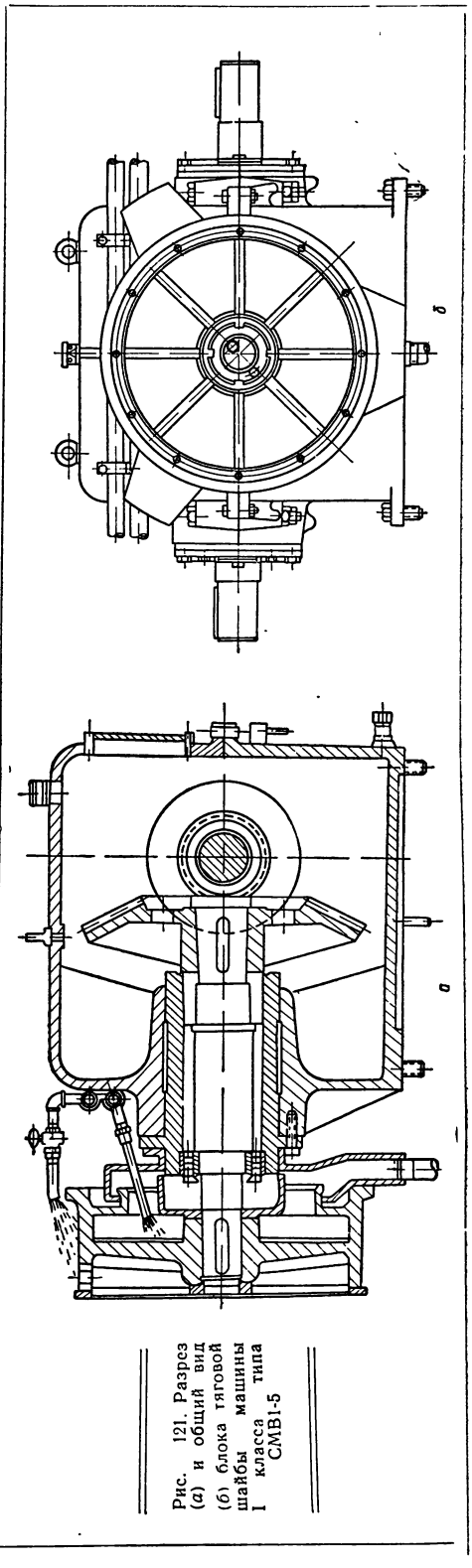


Рис. 121. Разрез (*а*) и общий вид (*б*) блока тяговой шайбы машины I класса типа СМВ1-5

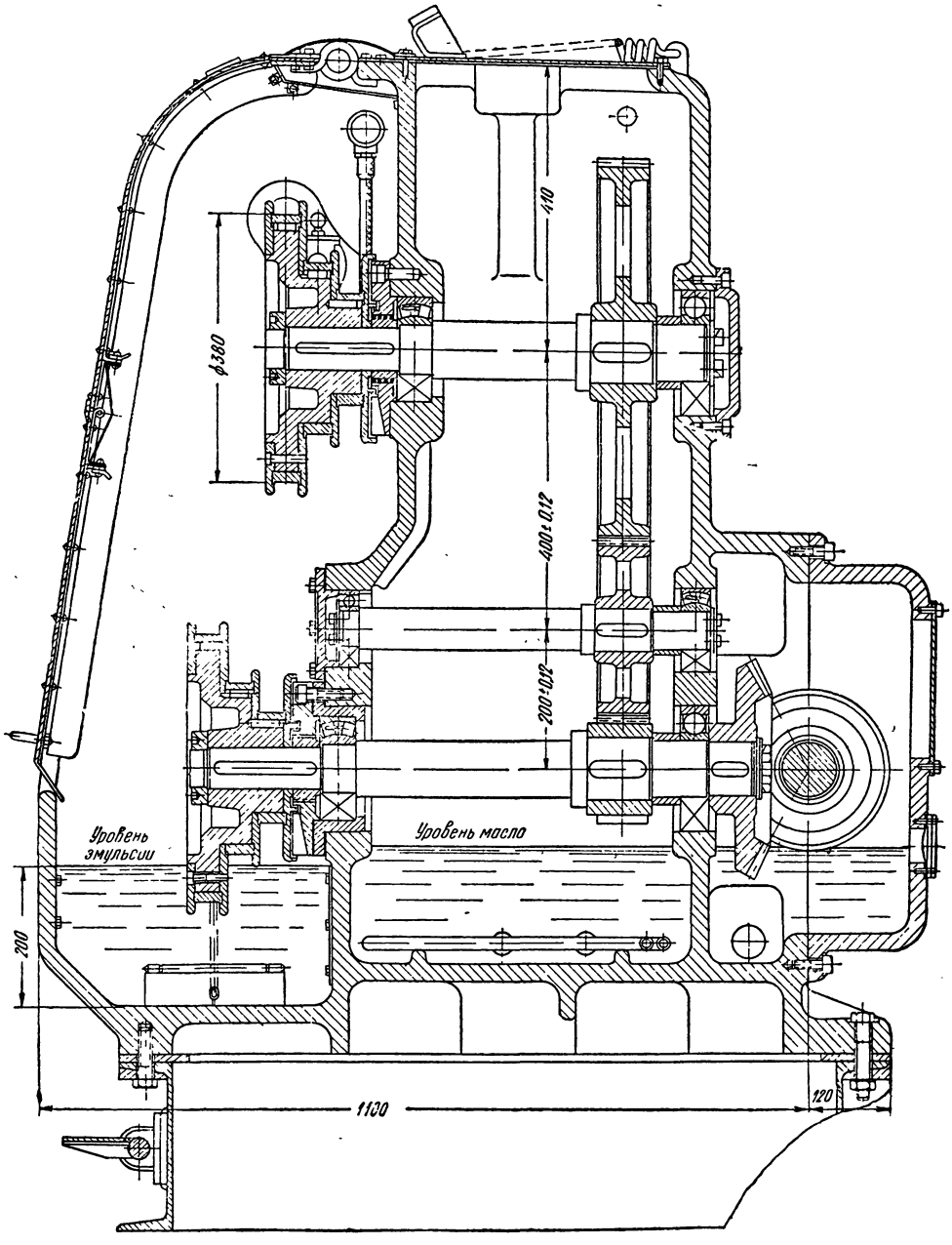


Рис 122. Поперечный разрез многократной машины II класса типа ВМ13М

Тяговые шайбы машин тончайшего волочения VI—VIII классов должны иметь отполированную до зеркального блеска рабочую поверхность; поэтому их рекомендуется изготовлять из твердых сплавов или минерало-керамических материалов, срок службы которых без ремонта доходит до одного года.

Для уменьшения прорезания рекомендуется, чтобы проволока перемещалась в обе стороны по поверхности тяговых шайб; с этой целью оси шайб располагают наклонно к направлению движения проволоки или придают волокодержателям возвратно-поступательное движение параллельно осям тяговых шайб.

Специальные уплотнения осей тяговых шайб должны устранять проникновение

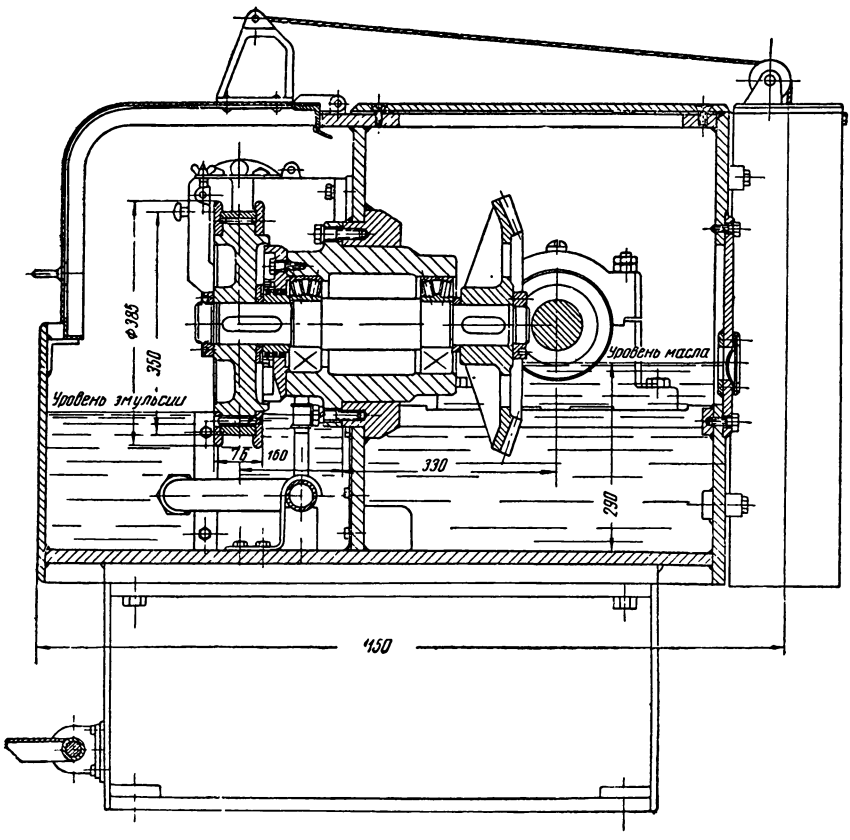


Рис. 123. Поперечный разрез многократной машины I класса типа СМВ1-9М

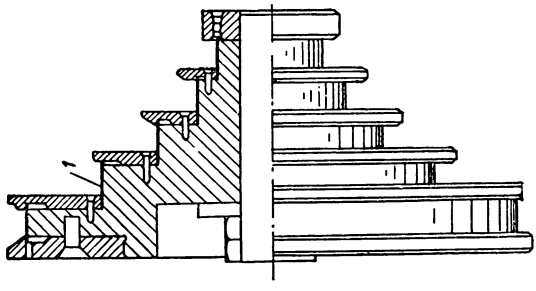


Рис. 124. Поперечный разрез тяговой шайбы с обкладкой рабочей поверхности стальной лентой *1*

волочильной эмульсии в другие части машины и препятствовать проникновению в эмульсию смазочных машинных масел, быстро разрушающих ее.

3. Тяговые барабаны

На машинах без скольжения магазинного типа вместо промежуточных тяговых шайб устанавливают промежуточные тяговые барабаны. Проволока по этим барабанам при волочении не скользит, поэтому они изнашиваются значительно медленнее, чем тяговые шайбы машин со скольжением. По этой причине насадку каких-либо бандажей из специальных сталей не применяют. Поперечный разрез и план блока тягового барабана машины ВМА6/450 вместе с электродвигателем показан на рис. 125.

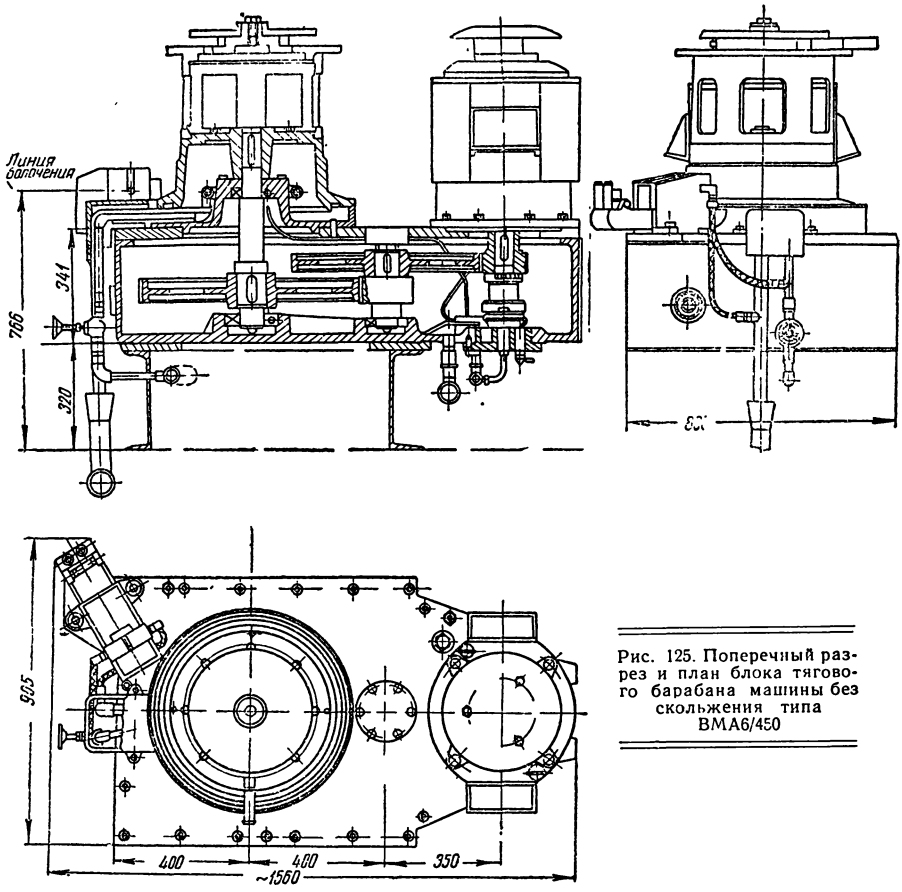


Рис. 125. Поперечный разрез и план блока тягового барабана машины без скольжения типа ВМА6/450

4. Приемные конические барабаны

Приемные конические барабаны предназначены для приема проволоки в бухты, имеющие форму круглого кольца.

Для облегчения съема проволоки приемные барабаны вертикальных однократных машин и многократных машин II и III классов снабжаются специальными прорезями, в которые входят стержни съемного грейфера. Разработаны также конструкции съемных приспособлений, при которых бухты захватываются снаружи.

Поперечный разрез и общий вид приемного барабана машины ВМА6/450 вместе с прорезями для грейфера и специальным электродвигателем показан на рис. 126.

Диаметры приемных конических барабанов определяются размерами наматываемой на них проволоки (табл. 89).

Вес бухты проволоки, принимаемой на конический барабан

$$Q_б = 0{,}15 D_б^3 \gamma \ кг,$$

где $D_б$ — диаметр барабана, *дм*;

γ — удельный вес

Устройства для непрерывного приема проволоки при волочении в бухтах (рис. 127) являются усовершенствованными вариантами конструкции, предложенной проф. И. Л Перлиным еще в 1935 г.

Таблица 89

Рекомендуемые диаметры приемных конических барабанов

Диаметр наматываемой проволоки d_k *мм*	Диаметр приемного барабана $D_б$ *мм*	$\frac{D_б}{d_k}$
16,0—8,0	1000	60—125
12,0—6,0	750	60—125
10,0—5,0	650	65—130
6,0—3,0	550	92—183
4,0—2,0	450	113—225
2,0—1,0	350	175—350
1,6—0,8	300	188—375
1,0—0,5	250	250—500
0,8—0,4	200	250—500
0,4—0,2	150	375—750

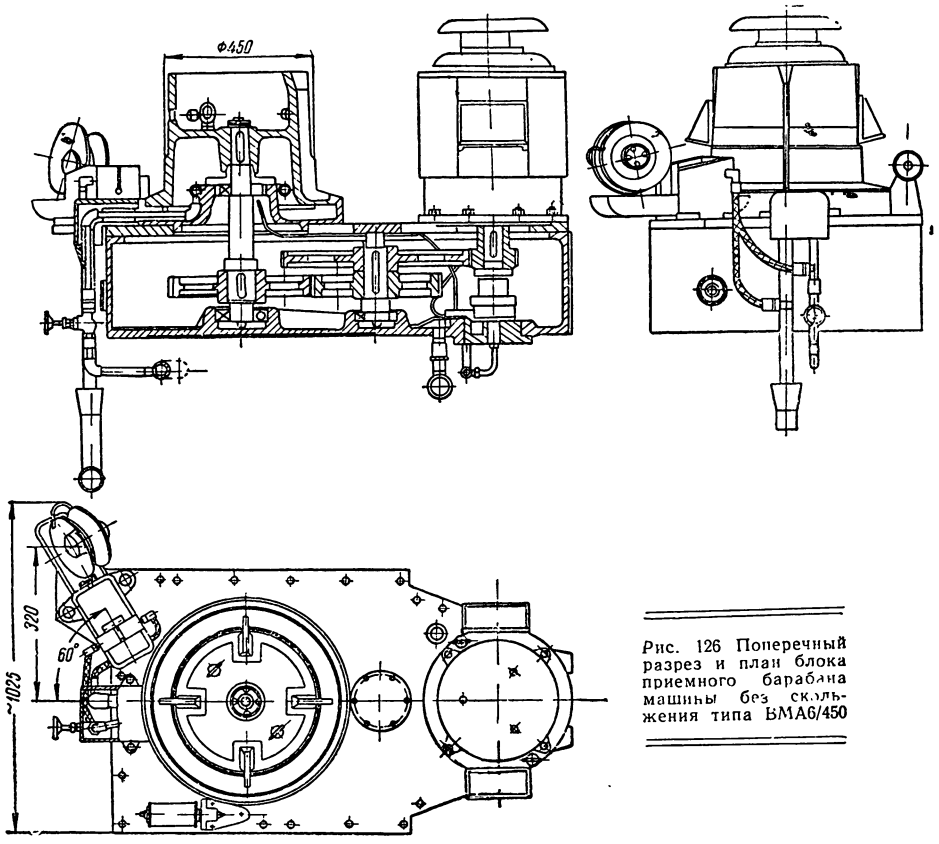


Рис. 126 Поперечный разрез и план блока приемного барабана машины без скольжения типа БМА6/450

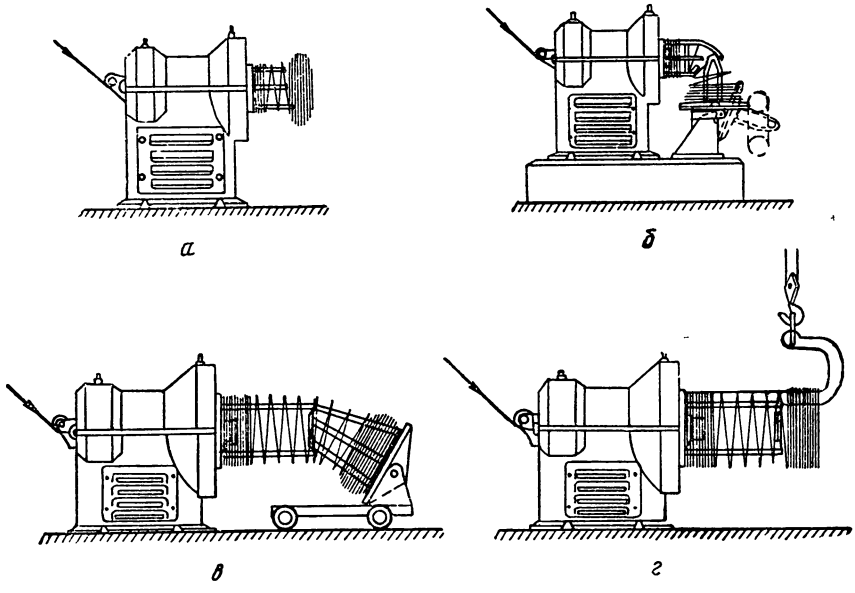


Рис. 127. Устройство для непрерывного приема проволоки в бухтах:
а — съем бухт вручную, *б* — прием бухты на поворотный стол; *в* — прием бухты на тележку с конусом; *г* — прием бухты на специальный крюк мостового крана

5. Катушечные устройства

Катушечные устройства предназначены для приема проволоки на катушки, позволяющие использовать проволоку без перемотки на последующих стадиях обработки (например, на крутильных машинах). Прием на катушки обязателен при тонкой проволоке, так как размотка с бухт с большими скоростями вызывает большие потери.

Катушки заданных размеров могут принять проволоки

$$Q_к = \eta\, 0{,}8(0{,}81 D_ф^2 - D_ш^2) L\gamma \cong$$

$$\cong 0{,}55(0{,}81\, D_ф^2 - D_ш^2) L\gamma,$$

где Q_k — вес проволоки на катушке, *кг;*
η — коэффициент заполнения активного объема катушки $\simeq 0{,}7$;
$D_ф$ — диаметр щеки катушки, *дм*;
$D_ш$ — диаметр шейки катушки, *дм*;
L — длина намотки (расстояние между щеками), *дм;*
γ — удельный вес протягиваемого металла, *г/см*^{3}.

Рекомендуемые соотношения размеров катушек:

$$D_ш \geqslant 50\, d_k;$$

$$D_ф = (1{,}5 \div 2{,}0)\, D_ш;$$

$$L \leqslant 1{,}5 D_ш.$$

Регулировка скорости намотки на катушки

Скорость намотки на катушки регулируют с целью уменьшить число оборотов катушки по мере увеличения диаметра намотки для сохранения постоянной скорости волочения.

Механический способ. Катушку приводят во вращение от шкива при помощи бесконечного или текстропного ремня, движущегося с постоянной скоростью непосредственно по самой проволоке.

Электрический способ с помощью электромагнитной муфты. Устройство состоит из регулятора напряжения, селенового выпрямителя и электромагнитной муфты. Проволоку пропускают через ролик, сидящий на рычаге регулятора напряжения; при увеличении диаметра намотки увеличивается натяжение проволоки, вследствие чего рычаг вместе с роликом отклоняется вниз. В результате ротор регулятора напряжения отклоняется в сторону, что вызывает уменьшение вторичного напряжения, питающего катушку асинхронной муфты. С уменьшением напряжения на катушке уменьшается сила тока и магнитный поток, это влечет за собой уменьшение момента муфты. В результате ротор муфты и приемная катушка снизят число оборотов, натяжение проволоки уменьшится и регулятор напряжения вернется в исходное положение.

Недостатки действующих устройств. Практика показывает, что действующие устройства для автоматического снижения числа оборотов приемной катушки, базирующиеся на увеличении усилия натяжения проволоки между тяговой шайбой и катушкой, себя не оправдывают; увеличение натяжения сопровождается более плотным обхватом тяговой шайбы проволокой, уменьшением скольжения проволоки по шайбе, увеличением скорости движения проволоки и соответствующим снижением усилия натяжения. Этот процесс, протекающий независимо от работы автоматических устройств для снижения числа оборотов катушки, искажает их работу. Кроме того, при тонком и тончайшем волочении намотка проволоки под большим натяжением приводит к обрывам, а также к затруднениям при отжиге.

Рекомендуется уменьшение числа оборотов приемной катушки осуществлять автоматически по наперед заданной независимой жесткой кривой; при этом должно быть учтено, что продолжительность намотки тонкой проволоки относительно велика, а увеличение диаметра намотки и соответствующее возрастание скорости протекают очень медленно.

Устройства для непрерывного приема проволоки при волочении на катушки сконструированы в виде сдвоенных приемников, позволяющих перебросить проволоку с заполненной катушки на пустую без остановки машины.

Таблица 90

Рекомендуемый вес проволоки из тяжелых цветных металлов, наматываемой на одну катушку

Диаметр проволоки, *мм*	Более 1,60	1,59—1,00	0,99—0,40	0,39—0,20	0,19—0,10	0,09—0,05	0,04—0,03	0,02—0,01
Вес, *кг*	400	250	40	25	5	1,0	0,2	0,05
Длина, *км*	До 22	14—36	6—36	23—90	18—31	14—57	14—32	18—71

6. Устройства для приема проволоки в контейнеры

За последние годы начинают широко применяться устройства для приема проволоки не на катушки, а в контейнеры. Схема устройства представлена на рис. 128. Про-

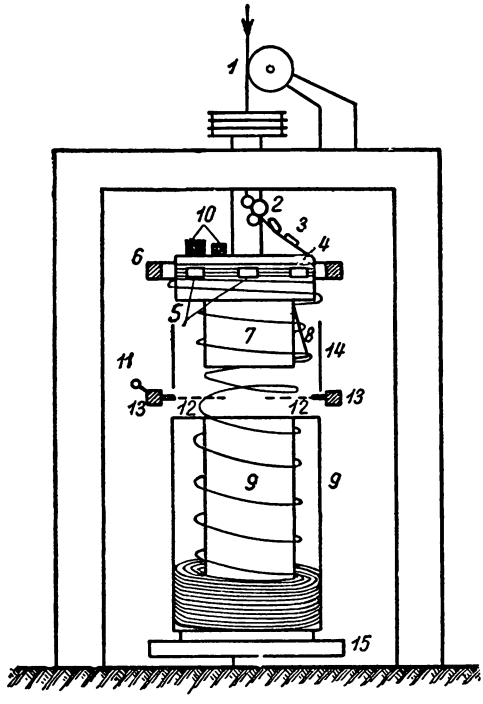


Рис. 128. Устройство для непрерывного приема проволоки в контейнеры

волока с волочильной машины пропускается через ролик *1*, приводные ролики *2*, направляющие ролики *3* и наматывается на поверхность вращающегося барабана *4*. При быстром вращении барабана *4* проволока заходит под пластинчатые пружины *5*, закрепленные на кольце *6*. Под пружинами, удерживающими проволоку на поверхности барабана, находятся одновременно 6—7 витков проволоки. При выходе из-под нижней кромки этих пружин виток проволоки от быстрого вращения разлетается в стороны и соскакивает с быстровращающегося барабана *4* на медленно вращающийся барабан *7*, скорость которого в 30 раз медленнее скорости барабана *4*. На барабане *7* укреплен уголок из проволоки *8*, вызывающий смещение витка проволоки в сторону от оси приемного контейнера *9* и обеспечивающий равномерное заполнение контейнера витками проволоки. Для работы с большой скоростью (до 30 *м/сек*) все вращающиеся детали уравновешены противовесами *10*. После заполнения контейнера проволокой рабочий поворотом рукоятки *11* выдвигает под барабан *7* диафрагму *12*, аналогичную по конструкции фотодиафрагме и состоящую из отдельных серповидных пластинок, закрепленных в кольце *13*. Витки проволоки после выдвижения диафрагмы падают уже не в контейнер, а на диафрагму *12*, и накапливаются в кожухе *14*. Заполненный проволокой контейнер с помощью поворотного стола убирают из приемника и заменяют пустым контейнером. Затем той же рукояткой *11* диафрагма *12* убирается, а накопившиеся в кожухе *14* витки проволоки падают в пустой контейнер. Дальнейшее заполнение проволокой происходит аналогично описанному выше. Такие устройства позволяют осуществлять большие скорости приема и, что особенно важно, большие скорости отдачи проволоки на последующих стадиях ее переработки. При отправке иногородним заказчикам можно применять контейнеры из картона, удешевляющие стоимость тары и не требующие расходов на ее обратную транспортировку.

§ 7. ПРИВОДЫ

Для привода волочильных машин используются электродвигатели переменного или постоянного тока.

Мощность двигателя однократной машины

$$N = \frac{P_z v_k}{102\eta}.$$

Мощность двигателя многократной машины

$$N = \frac{\Sigma P_n v_n}{102\eta},$$

где N — потребная мощность, *квт*,
P_z — усилие волочения, *кг*;
v_k — скорость волочения, *м/сек*;
$\Sigma P_n v_k$ — сумма произведений усилия волочения в каждой волоке на соответствующую скорость тяговой шайбы;
η — общий коэффициент полезного действия всех деталей передаточных механизмов машины — шестеренных передач, подшипников и т. д.;
$102 = 75 \cdot 1{,}36$ — количество *кгм*, соответствующее 1 *квт*.

Классификация приводов однократных и многократных волочильных машин дана в табл. 91.

Мощность двигателя волочильных машин приближенно можно определить при помощи номограммы (рис. 129) по формуле

$$N = (W_k - W_0)\, 25\, v_k\, d_k^2 \cdot 0{,}001,$$

Таблица 91

Классификация приводов однократных и многократных волочильных машин

Тип волочильных машин	Однократные						Многократные				
Количество электродвигателей	Одномоторный			Многомоторный			Одномоторный		Многомоторный		
Характеристика привода	Индивидуальный к каждому барабану			Групповой			Общий для всех тяговых шайб или тяговых барабанов		Индивидуальный для каждой тяговой шайбы или тягового барабана		
Род тока, питающего электродвигатель машины	Переменный	Переменный	Постоянный	Переменный	Переменный	Постоянный	Переменный	Переменный	Переменный	Постоянный	Постоянный
Число возможных выходных скоростей	1	2—3	Любое	1	2—3	Любое	1	2—3	1	Любое	Любое
Способ регулировки скоростей	Без регулировки	Двух-трехскоростной электродвигатель	С плавной регулировкой	Без регулировки	Двух-трехскоростной электродвигатель	С плавной регулировкой	Без регулировки	Двух-трехскоростной электродвигатель	Без регулировки	С плавной регулировкой	С плавной регулировкой
Источник тока	Заводская сеть	Заводская сеть	Индивидуальная установка	Заводская сеть	Заводская сеть	Индивидуальная установка	Заводская сеть	Заводская сеть	Заводская сеть	Индивидуальная установка	Индивидуальная установка
Краткая характеристика индивидуальной установки	—	—	Постоянного тока с постоянным напряжением	—	—	Постоянного тока с постоянным напряжением	—	—	—	Постоянного тока с постоянным напряжением	Постоянного тока с регулируемым напряжением

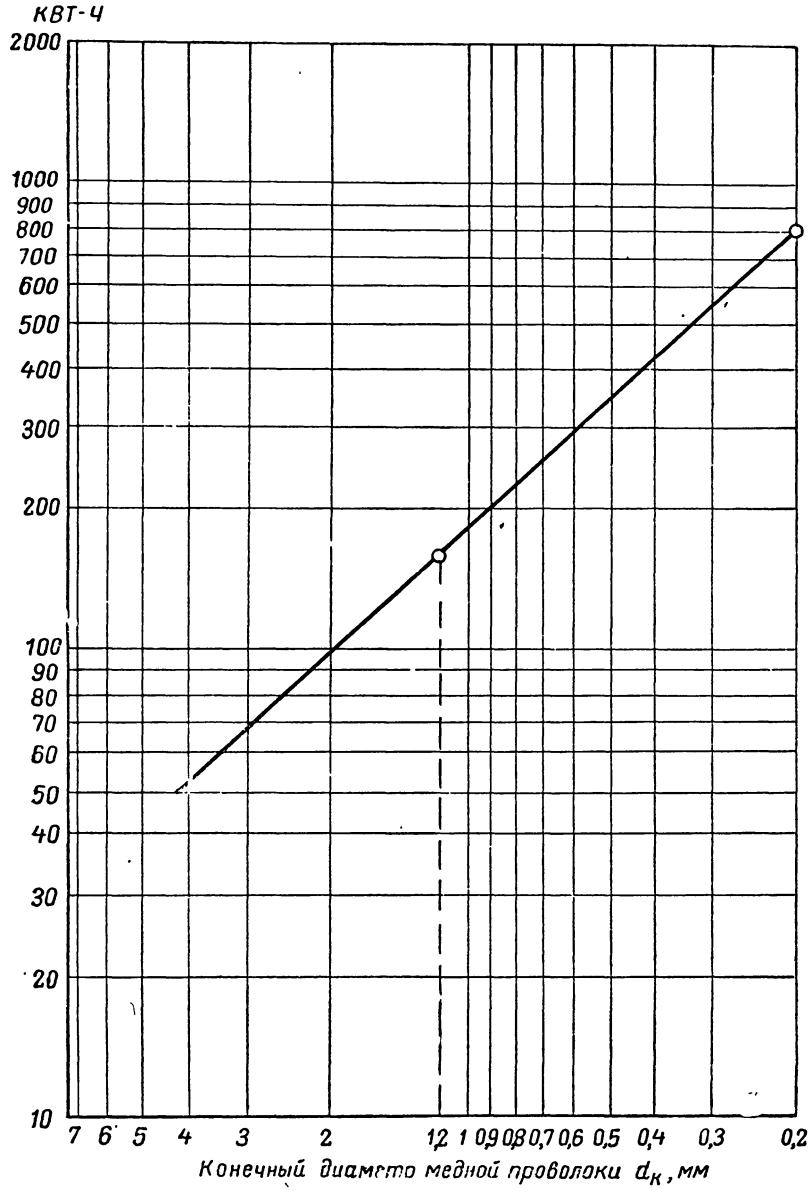


Рис. 129. Номограмма для определения суммарного расхода электроэнергии на волочение 1 *т* медной проволоки диаметром $d_к$ с катанки диаметром 7,2 *мм* без промежуточных отжигов

где N — потребная мощность для волочения медной проволоки диаметром d_k из заготовки диаметром d_0, *квт*;

W_k — расход энергии на волочение 1 *т* проволоки диаметром d_k с катанки диаметром 7,2 *мм*, *квт-ч*;

W_0 — расход энергии на волочение 1 *т* заготовки диаметром d_0 с катанки диаметром 7,2 *мм*, *квт-ч*;

$W_k - W_0$ — расход энергии на волочение 1 *т* проволоки диаметром d из заготовки диаметром d_0, *квт-ч*;

v_k — выходная скорость волочения, *м/сек*;

$25\,v_k\,d_k^2$ — теоретический выпуск проволоки, *кг/час;*

0,001 — множитель для перевода выпуска в *кг/час* на выпуск в *т/час.*

Пример. Дано $d_0=1{,}2$ *мм;* $d^{\text{я}}=0{,}2$ *мм;* $v_k=30$ *м/сек.;* находим по номограмме $W_k=800$ *квт-ч;* $W_0=165$ *квт-ч;* $W_k-W_0=800-165=635$ *квт-ч;* часовой выпуск составит $25\,v_k d_k^2=25\cdot 30\cdot 0{,}04=30$ *кг/час.*

Получаем $N=635\cdot 30\cdot 0{,}001=19{,}1\simeq 19$ *квт.*

В табл. 92 и 93 приведены мощности, необходимые для волочения медной проволоки диаметром d_k *мм* на машинах II и III классов.

Таблица 92

Мощности, необходимые для волочения медной проволоки диаметром d_k на машинах II класса

Диаметр катанки, *мм*	Скорость волочения, *м/сек*	Мощность, *квт*, при диаметре проволоки d_k, *мм*										
		5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,8	2,5	2,2	2,0	1,8	1,6
10,0	6	130	124	115	105	—	—	—	—	—	—	—
10,0	10	200	191	180	165	150	138	118	105	95	—	—
10,0	15	300	287	269	244	221	204	173	158	146	—	—
8,0	6	85	86	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8,0	10	155	154	149	137	127	118	103	94	85	75	65
8,0	15	233	232	226	212	192	179	149	136	125	111	96
7,2	10	—	—	122	120	111	104	91	85	78	68	60
7,2	15	—	—	191	185	171	159	138	124	115	102	88
6,5	10	—	—	97	99	97	91	81	76	71	63	54
6,5	15	—	—	158	158	151	141	122	113	103	94	81

Таблица 93

Мощности, необходимые для волочения медной проволоки диаметром d_k на машинах III класса

Диаметр заготовки, *мм*	Скорость волочения, *м/сек*	Мощность, *квт*, при диаметре проволоки d_k, *мм*							
		1,00	0,90	0,80	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
4,0	20	46	—	—	—	—	—	—	—	—
3,5	20	42	39	—	—	—	—	—	—	—
3,0	20	37	34	30	—	—	—	—	—	—
2,8	20	34	32	28	25	—	—	—	—	—
2,5	20	30	29	26	23	20	—	—	—	—
2,2	20	—	25	23	21	18	16	—	—	—
2,0	20	—	—	21	19	16	15	14	—	—
1,8	20	—	—	19	17	15	14	13	12	—
1,6	20	—	—	—	15	13	12	11	10	9

Таблица 94

§ 8 ВОЛОЧИЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

Виды материала для изготовления волок

Группа материалов	Марка	Состояние рабочей поверхности		Назначение
Стали	У8-У10	Наклепана	Не хромирована	Для протяжки круглых фасонных профилей
	У8-У10	Закалена	» »	Не рекомендуется
	У8-У10	Закалена	Хромирована	Для протяжки фасонных профилей
	Х-12	Наклепана	Не хромирована	То же
Твердые сплавы	ВК3-ВК6	Полирована	» »	Для волочения проволоки диам. более 1,00 *мм*
Алмазы	—	Полирована	» »	Для волочения проволоки диаметром 0,99—0,01 *мм*

Таблица 95

Зоны волочильного канала

Полное наименование зоны	Сокращенное наименование зоны	Назначение зоны
Смазочная воронка	Воронка	Обеспечение поступления смазки в канал. Предохранение протягиваемого изделия от задирания о края канала
Рабочий очаг	Очаг[1]	Осуществление процесса деформации протягиваемого изделия
Калибрующий поясок	Поясок	Обеспечение точных размеров протянутого изделия
Выходная распушка	Распушка	Обеспечение плавного без задирания выхода протянутого изделия из канала. Предохранение протянутого изделия от задирания о края канала при «отдаче» в момент остановки машины

[1] При конической форме рабочего очага применяется полное наименование зоны «рабочий конус» и сокращенное «конус».

Таблица 96

Размеры заготовок волок из твердых сплавов для волочения проволоки

Показатели	Условное обозначение и группы заготовок										
	по ГОСТ 3919—60								по ГОСТ 2330—49		
	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	Т16	Т20	Т30
Рекомендуемая форма заготовки	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	Т16	Т20	Т30
Ориентировочный вес заготовки, *г*	1,5	3	5	15	30	75	190	270	22	50	160
Диаметр заготовки, *мм*	6	8	8,5	11	16	22	30	34	16	20	30
Высота заготовки, *мм*	4	5	7	10	14	18	20	24	8	13	18
Черновой диаметр калибрующего пояска, *мм*:											
минимальный	0,0	0,1	0,6	0,5	0,8	1,5	4,7	9,6	0,8	2,8	5,7
максимальный	0,4	1,3	1,3	2,3	3,8	5,7	12,5	16,5	2,8	5,7	13,5
Рекомендуемый начальный размер чистового калибрующего пояска, *мм*	0,3	0,4	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	10,0	1,1	3,1	6,0
Ориентировочные границы перешлифовки при волочении цветных металлов, *мм*	0,59	0,99	2,99	4,99	6,99	9,99	15,99	17,99	7,99	9,99	16,99
Черновой угол конуса рабочего очага 2α:											
для меди	—	16	16	16	16	16	14	14	—	—	—
для латуней, никеля, бронз, мельхиоровых и никелевых сплавов	—	10	10	10	10	10	12	14	—	—	—
для алюминия и алюминиевых сплавов	—	—	—	—	—	—	—	—	24	24	24
Угол конуса смазочной воронки, град—											
для меди	70	60	60	60	60	60	50	50	—	—	—
для сплавов меди и никеля	70	60	50	50	50	50	50	50	—	—	—
Длина чернового калибрующего пояска, *мм*	0,0—0,8	0,2—0,4	0,2—0,4	0,3—0,8	0,3—0,7	1,0—1,2	1,0—3,0	3,0—3,5	1,0—1,0	1,5—1,5	2,0—2,0

Таблица 97

Рекомендуемые размеры оправ для закрепления твердосплавных заготовок и алмазных камней

Способ крепления заготовки	Назначение	Условное обозначение заготовки	Вес заготовки, *г*	Диаметр заготовки, *мм*	Наружный диаметр оправки или кольца, *мм*	Внутренний диаметр гнезда оправки или кольца, *мм*	Высота заготовки, *мм*	Высота оправки или кольца, *мм*	Диаметр отверстия, *мм*	Толщина опорного слоя, *мм*	Припуск на обточку, *мм*
Запайка	Оправы для закрепления твердосплавных заготовок запайкой	А	1,5	6	25	6,5	4	8	—	2	—
		Б	3	8	25	8,5	5	10	—	3	—
		В	5	8,5	25	9,0	7,5	21,5	—	11	3
		Г	15	13	30	13,6	10	24	—	11	3
		Д	30	16	36	16,6	14	28	—	11	3
		Е	75	22	45	22,8	18	32	—	11	3
		Ж	165	30	55	30,8	21	35	—	11	3

Продолжение табл. 97

Способ крепления заготовки	Назначение	Условное обозначение заготовки	Вес заготовки, *г*	Диаметр заготовки, *мм*	Наружный диаметр оправки или кольца, *мм*	Внутренний диаметр гнезда оправки или кольца, *мм*	Высота заготовки, *мм*	Высота оправки или кольца, *мм*	Диаметр отверстия, *мм*	Толщина опорного слоя, *мм*	Припуск на обточку, *мм*
Запайка	Оправы для закрепления твердосплавных заготовок запайкой	Т16	22	16	36	16,6	8	22	—	11	
		Т20	50	20	40	20,8	13	27	—	11	
		Т30	160	30	55	30,8	18	32	—	11	
Запрессовка	Оправы для закрепления твердосплавных заготовок запрессовкой	Г	15	13	35	13,8	10	20	5	4	
		Д	30	16	42	16,8	14	30	8	5	3
		Е	75	22	45	22,9	18	38	10	5	3
		Ж	165	30	50	30,9	21	50	17	10	
		З	270	35	65	36,2	25	58	22	10	3
		Т16	22	16	42	16,8	8	18	8	4	—
		Т20	50	20	45	20,9	13	26	10	5	—
		Т30	160	30	60	30,9	18	38	17	10	—
Предварительная запайка кольца с последующей запрессовкой в оправы	Кольца для предварительной запайки твердосплавных заготовок	Ж	165	30	38	30,6	21	24	—	—	—
		З	270	35	43	35,7	25	28	—	—	—
		Т30	160	30	38	30,6	18	21	—	—	—
	Оправы для запрессовки запаянных в кольца твердосплавных заготовок	Ж	165	30	65	38,0	21	38	—	11	3
		З	270	35	75	43,0	25	42	—	11	3
		Т30	160	30	65	38,0	18	35	—	11	3
Запайка	Оправы для алмазных камней	Диаметр волоки, *мм*:									
		0,3 и менее	—	—	16—20	—	—	5—7	—	1,5	—
		0,3—0,6	—	—	20—25	—	—	7—8	—	2,0	—
		0,6—1,2	—	—	20—25	—	—	8—10	—	2,5	—

Таблица 98

Рекомендуемый технологический процесс изготовления твердосплавных волок с $d_к = 10{,}00 \div 2{,}00$ *мм*

Наименование операции	Рекомендуемое оборудование	Рекомендуемый абразивный материал	
		наименование	зернистость
Контроль заготовки	Лупа	—	—
Закрепление в оправу	Пресс	—	—
Шлифовка рабочего очага	Вертикальный шлифовальный станок	Карбид бора	120—150
Шлифовка выходной распушки	То же	То же	120—150
Шлифовка калибрующего пояска . . .	» »	» »	120—150
Шлифовка смазочной воронки	» »	» »	120—150
Шлифовка переходных зон	» »	» »	120—150
Полировка рабочего очага	Горизонтальный автоматический станок	» »	220—240
Полировка калибрующего пояска . . .	То же	» »	320—М28
Приемка и маркировка	Лупа	» »	—

Таблица 99

Рекомендуемые упрощенные технологические процессы изготовления твердосплавных волок с $d_к$ менее 2,00 *мм*

Наименование операции	Оборудование или прибор	Рекомендуемые абразивные материалы		Номинальный диаметр волоки $d_к$, *мм*					
				1,99—1,00		0,999—0,700		0,699—0,400	
		наименование	зернистость	промежуточная	отделочная	промежуточная	отделочная	промежуточная	отделочная
Контроль размеров заготовки	Микрометр	—	—	Г—0,6	Г—0,6	Б—0,4	Б—0,4	Б—0,1	Б—0,1
Контроль поверхности канала заготовки	Лупа	—	—	+	+	+	+	+	+
Сверление заготовки	Горизонтальный сверлильный станок	Карбид бора	220	—	—	—	—	+	+
Закрепление в оправу	Подставка и молоток	—	—	+	+	+	+	+	+
Шлифовка	Станок с нитью типа «Укркабель»	Карбид бора	220	+	+	+	+	+	+
Полировка	Станок с нитью типа «Укркабель»	» »	320	+	—	+	—	+	—
Зеркальная полировка	Ручные станки	Алмазный микропорошок	М28	—	+	—	+	—	+

Примечания: 1. Для обеспечения чистой без раковин и пор поверхности волочильного канала съем при шлифовке новой заготовки должен быть не менее 0,15 *мм* на сторону или 0,30 *мм* по диаметру.

2. Знак минус показывает, что для данного диапазона волок операция не применяется.

1. Рекомендуемые способы изготовления волок из алмазов

Первый способ — разделка канала в камне, незакрепленном в оправу (рис. 130), состоит из следующих операций: приемка алмазов *1*, огранка опорных плоскостей *2*, огранка смотрового окошка *3*, центровка на высокочастотной установке *4*, окончательная центровка алмазным бортом на центровочном станке *5*, сверление воронки на высокочастотной установке *6*, сверление очага на ультразвуковой установке *7*, подрезка алмазным бортом на центровочном станке *8*, сверление пояска на ультразвуковой установке *9*, шлифовка иглой на горизонтальном механическом станке *10*, закрепление в оправу *11*, полировка прядью на вертикальном механическом станке *12*, приемка и маркировка *13*.

Второй способ — разделка канала в камне, закрепленном в оправу. При этом способе камень закрепляют в оправу, не подвергая его огранке. Разделку камня производят аналогично разделке по первому способу.

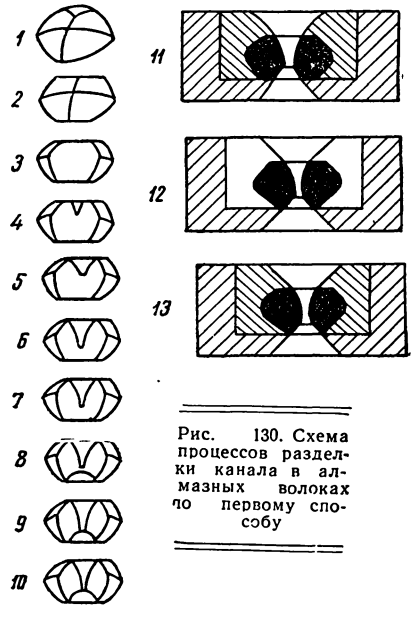


Рис. 130. Схема процессов разделки канала в алмазных волоках по первому способу

Таблица 100

Рекомендуемые размеры зон волочильного канала в алмазных волоках

Наименование зоны	Сектор	Форма сектора или зоны[1]	Наименование размера	Назначение			
				алюминий	медь	латуни и бронзы	медноникелевые и никелевые сплавы
Смазочная воронка	I сектор	I усеченный конус	Угол I конуса β_1, град.	90	90	90	90
	II сектор	II усеченный конус	Угол II конуса β_2, град.	60	60	60	60
	III сектор	III усеченный конус	Угол III конуса β_3, град.	35	35	35	35
	Суммарно	—	Длина воронки h_b, *мм*	$\frac{2}{3} H - h_o$	$\frac{2}{3} H - h_o$	$\frac{2}{3} H - h_o$	$\frac{2}{3} H - h_o$
Рабочий очаг	—	Усеченный конус	Угол очага 2α, град.	24	16	12	10
			Длина очага h_o, *мм*	$1{,}0\, d_k$	$1{,}0\, d_k$	$1{,}5\, d_k$	$1{,}5\, d_k$
Калибрующий поясок	—	Цилиндр или усеченный конус	Диаметр пояска d_k, *мм*	d_k	d_k	d_k	d_k
			Длина пояска h_k, *мм*	$0{,}3\, d_k$	$0{,}4\, d_k$	$0{,}5\, d_k$	$0{,}8\, d_k$
Выходная распушка	I сектор	Усеченный конус	Угол обратного конуса γ_1, град.	45	45	45	45
			Длина обратного конуса $h_{o.k}$, *мм*	$0{,}1\, d_k$	$0{,}1\, d_k$	$0{,}1\, d_k$	$0{,}1\, d_k$
	II сектор	Усеченная сфера	Радиус закругления r, *мм*	0,2	0,2	0,2	0,2
	III сектор	Усеченный конус	Угол выходного конуса γ_2, град.	70	70	70	70
	Суммарно	—	Длина распушки h_p, *мм*	$\frac{H}{3} - h_к$	$\frac{H}{3} - h_к$	$\frac{H}{3} - h_к$	$\frac{H}{3} - h_к$
Камень	—	—	Толщина камня, *мм*	H	H	H	H

[1] См. схему на рис. 131.

Таблица 101

Абразивные материалы для разделки волок

Номер зерна	Размер зерна *мк*	Метод установления размерной характеристики	Наименование абразивного материала			Назначение
			карбид кремния зеленый	карбид бора	алмазный микропорошок	
80	210—180	Стандартные сита	+	+	—	Начальная стадия шлифовки
90	180—150		+	+	—	
100	150—125		+	+	—	
120	125—105	Стандартные сита	+	+	—	Последняя стадия шлифовки
150	105—85		+	+	+	
180	85—75		+	+	+	
220	75—63	Стандартные сита	+	+	+	Начальная стадия полировки
240	63—53		+	+	+	
280	53—42		+	+	+	
320	42—28		+	+	+	
М28	28—20	Микроскоп	—	—	+	Отделочная стадия полировки
М20	20—14		—	—	+	
М14	14—10		—	—	+	
М10	10—7		—	—	+	
М7	7—5		—	—	+	
М5	5—3,5		—	—	+	

Примечание. Знаком «+» обозначены те сорта абразивных материалов, которые поставляются нашей промышленностью, знаком «—» сорта, производство которых находится в стадии освоения.

Таблица 102

Относительная шлифующая способность абразивных материалов

Абразивный материал	Размер зерна *мк*	Шлифующая способность при разделке волочильного канала, %	
		в твердосплавных волоках	в алмазных камнях
Алмазный микропорошок	5—10	100,00	100,00
Порошок карбида бора	10—20	60,00	0,57
Порошок карбида кремния	5—20	21,50	0,28

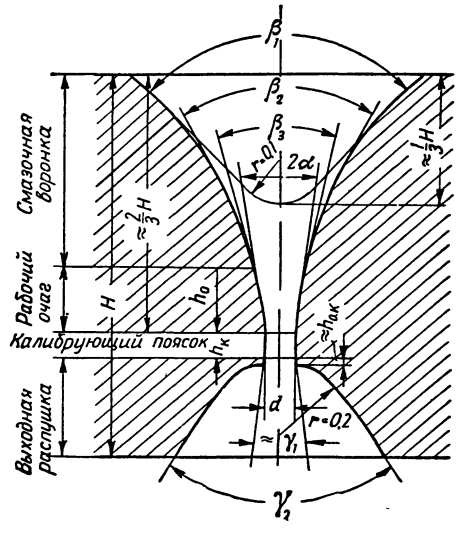


Рис. 131. Рекомендуемая форма волочильного канала в алмазных волоках

К положительным сторонам второго способа следует отнести возможность значительного уменьшения начального веса алмазного камня и большую точность центрирования волоки на всех операциях. К недостаткам — сложность технологии закрепления алмаза в оправу и невозможность контроля через смотровое окошко за формой канала в процессе разделки.

Рекомендуемая форма готового волочильного канала в алмазных волоках приведена на рис. 131..

2. Рекомендуемый технологический процесс изготовления алмазного микропорошка

Алмазный микропорошок поставляется обычно заводами — изготовителями в рассортированном состоянии. На заводах — потребителях процесс изготовления алмазного микропорошка состоит из следующих операций:

1) укладка 25—200 каратов алмазных осколков в фарфоровый сосуд;
2) очистка осколков крепкой азотной кислотой путем непрерывного перемешивания;
3) промывка осколков бензином;
4) протирка осколков;
5) взвешивание осколков;
6) укладка 5—7 каратов осколков в ступку из закаленной стали;
7) дробление осколков шлифовальным пестиком из закаленной стали;
8) просеивание раздробленных осколков через металлическое сито с 320 отверстиями на 1 $см^2$;
9) отстаивание микропорошка в оливковом масле.

Для более эффективного разделения алмазного микропорошка рекомендуется применять вместо отстаивания метод центрифугирования.

Для легкого различия номеров алмазного микропорошка рекомендуется добавлять к нему небольшое количество какого-либо яркого красителя с цветом, соответствующим определенному номеру.

Режим отстаивания алмазного порошка приведен в табл. 103.

Нулевой номер возвращают обратно для повторного дробления. Восьмой номер представляет собой остаток, взвешенный в масле после отделения седьмого номера. При установлении времени отстаивания предусмотрена возможность осуществления операции разделения в одну первую смену: в 1-й день в 1-й смене утром размешивают алмазный порошок в оливковом масле; далее в той же смене производят отбор микропорошков с нулевого по пятый номер; на 2-й день в 1-й смене утром производят отбор микропорошка № 6; на 4-й день в 1-й смене утром производят отбор микропорошков № 7 и 8.

Таблица 103

Рекомендуемый режим отстаивания алмазного микропорошка

Номер микропорошка	Номер зернистости	Время отстаивания алмазного микропорошка в оливковом масле час. — мин.	Средний размер зерна *мк*
Нулевой	100	0—3	>125
Первый	150	0—10	95
Второй	220	0—30	69
Третий	280	1—30	48
Четвертый	320	4—00	35
Пятый	М20	8—00	20
Шестой	М10	24—00	10
Седьмой	М5	72—00	5
Восьмой	М2,5	>72—00	2,5

Таблица 104

Ориентировочный расход алмазных осколков и алмазного микропорошка на изготовление и ремонт волок

Наименование операции	Расход, караты		
	осколков	микропорошка	суммарный осколков и микропорошка на единицу изделия
А. Изготовление новых алмазных волок			
Огранка	—	0,035	0,035
Центровка	0,100	—	0,100
Сверление	—	0,240	0,240
Подрезка	0,100	—	0,100
Шлифовка	—	0,060	0,060
Полировка	—	0,045	0,045
Суммарный расход на каждое новое волокоотверстие	0,200	0,380	0,580

Продолжение табл. 104

Наименование операции	Расход, караты		
	осколков	микропорошка	суммарный осколков и микропорошка на единицу изделия
Б. Ремонт разработанных алмазных волок			
Расход на 4 переполированные волокоотверстия: 4×0,045	—	0,180	0,180
Расход на 1 рассверленное волокоотверстие: 1×0,045	0,045	—	0,045
А + Б. Изготовление и ремонт алмазных волок			
Суммарный расход на каждый камень	0,245	0,560	0 805
В. Полировка рабочего очага и калибрующего пояска в выходных твердосплавных волоках			
Расход на каждое волокоотверстие	—	0,007	0,007

Таблица 105

Рекомендуемые размеры алмазных камней для волок в зависимости от диаметра канала

Номинальный диаметр волочильного канала *мм*	Разделка по I способу				Разделка по II способу	
	размеры неограненного алмаза			размеры после огранки	размеры неограненного алмаза	
	номинальный вес караты	фактический вес караты	минимальная толщина *мм*	минимальная толщина *мм*	номинальный вес караты	фактический вес караты
0,010—0,029	0,10	0,08—0,11	1,4	1,0	0,06	0,06—0,07
0,030—0,099	0,16	0,12—0,20	1,6	1,2	0,10	0,08—0,11
0,100—0,199	0,25	0,21—0,30	1,8	1,4	0,16	0,12—0,20
0,200—0,399	0,50	0,31—0,60	2,0	1,6	0,25	0,21—0,30
0,400—0 999	1,00	0,61—1,40	2,2	1,8	0,50	0,31—0,60
1,000—1,599	2,00	1,41—2,60	2,4	2,0	1,00	0,61—1,40

Эксплуатационная стойкость волок при волочении медной проволоки Таблица 106

Материал волок	Диаметр протягиваемой проволоки *мм*	Эксплуатационная стойкость	
		км	*кг*
Сталь:			
нехромированная	15,000—10,000	1	7 d^2
хромированная	15,000—10,000	4	28 d^2
Твердый сплав	16,000—10,000	50	350 d^2
	9,999— 1,000	143	1 000 d^2
	0,999— 0,700	100	700 d^2
	0,699— 0,400	71	500 d^2

Продолжение табл. 106

Материал волок	Диаметр протягиваемой проволоки *мм*	Эксплуатационная стойкость	
		км	*кг*
Алмаз весом, караты:			
2,00	1,599— 1,000	5 100	40 000 d^2
1,00	0,999— 0,400	7 200	50 000 d^2
0,50	0,399— 0,200	8 000	60 000 d^2
0,25	0,199— 0,100	10 000	70 000 d^2
0,16	0,099— 0,030	11 400	80 000 d^2

Таблица 107

Коэффициенты для определения эксплуатационной стойкости волок при волочении цветных металлов

Наименование металла или группы сплавов	Коэффициенты для перевода эксплуатационной стойкости при волочении меди на эксплуатационную стойкость при волочении других цветных металлов и сплавов		Коэффициенты для приведения программы в килограммах по другим металлам и сплавам к программе по меди *кг*
	км	*кг*	
Медь	1,00	1,00	1,00
Латуни	0,33	0,33	3,00
Бронзы	0,20	0,20	5,00
Медноникелевые сплавы	0,20	0,20	5,00
Никель	0,10	0,10	10,00
Никелевые сплавы	0,10	0,10	10,00
Алюминий	1,50	0,45	2,22
Алюминиевые сплавы	1,00	0,30	3,33
Титан	—	—	—
Цинк	1,00	0,80	1,25

3. Метод определения расхода волок

Для всех изготовляемых размеров проволоки подбирают соответствующие размеры твердосплавных заготовок или алмазов и принимают условный основной маршрут волочения.

Для каждого диаметра основного маршрута определяют по нормам эксплуатационной стойкости удельный расход волокоотверстий в волоках из твердых сплавов и алмазов.

По программе выпуска проволоки и удельному расходу определяют абсолютный расход волокоотверстий.

По количеству волокоотверстий на 1 заготовку или алмаз определяют количество заготовок или алмазов.

В табл. 108, 109 и 110 в качестве примера приведен соответствующий расчет. При расчете принято:

Диаметр проволоки *мм*	Твердосплавная заготовка	Алмазная заготовка караты
5,600—2,000	Группа Д весом 30 *г*	—
1,999—1,000	Группа В весом 5 *г*	—
0,999—0,400	—	1,00
0,399—0,200	—	0,50
0,199—0,100	—	0,25
0,099—0,050	—	0,16

Таблица 108

Примерный удельный расход волокоотверстий в волоках из твердых сплавов

Диаметр основного маршрута d *мм*	Заготовка		Средняя эксплуатационная стойкость волокоотверстия *кг*		Частный расход волокоотверстий *шт/т* проволоки	Суммарный расход волокоотверстий, *шт/т* проволоки в заготовках	
	группа	вес *г*				группы Д	группы В
5,80	Д	30	1 000 d^2	33 640	0,030	0,030	—
4,80	Д	30	1 000 d^2	23 040	0,043	0,073	—
4,00	Д	30	1 000 d^2	16 000	0,063	0,136	—
3,35	Д	30	1 000 d^2	11 223	0,089	0,225	—
2,85	Д	30	1 000 d^2	8 123	0,123	0,348	—
2,44	Д	30	1 000 d^2	5 954	0,168	0,516	—
2,10	Д	30	1 000 d^2	4 410	0,227	0,743	—
1,82	В	5	1 000 d^2	3 312	0,302	0,743	0.302
1,60	В	5	1 000 d^2	2 560	0,391	0,743	0,693
1,41	В	5	1 000 d^2	1 988	0,503	0,743	1,196
1,25	В	5	1 000 d^2	1 563	0,640	0,743	1,836
1,11	В	5	1 000 d^2	1 232	0,812	0,743	2,648
1,00	В	5	1 000 d^2	1 000	1,000	0,743	3,648

Таблица 109

Примерный удельный расход волокоотверстий в волоках из алмазов

Диаметр основного маршрута d *мм*	Вес алмаза каратs	Средняя эксплуатационная стойкость волокоотверстия *кг*		Частный расход волокоотверстий *шт/т*	Суммарный удельный расход волокоотверстий, *шт/т* проволоки, в алмазных волоках весом, каратs			
					1,00	0,50	0,25	0,16
0,900	1,00	50 000 d^2	40 500	0,025	0,025	—	—	—
0,810	1,00	50 000 d^2	32 805	0,030	0,055	—	—	—
0,720	1,00	50 000 d^2	25 920	0,039	0,094	—	—	—
0,640	1,00	50 000 d^2	20 480	0,049	0,143	—	—	—
0,560	1,00	50 000 d^2	15 680	0,064	0,207	—	—	—
0,500	1,00	50 000 d^2	12 500	0,080	0,289	—	—	—
0,450	1,00	50 000 d^2	10 125	0,099	0,388	—	—	—
0,400	1,00	50 000 d^2	8 000	0,125	0,515	—	—	—
0,360	0,50	60 000 d^2	7 776	0,129	0,513	0,129	—	—
0,320	0,50	60 000 d^2	6 144	0,163	0,513	0,292	—	—
0,280	0,50	60 000 d^2	4 704	0,213	0,513	0,505	—	—

Продолжение табл. 109

Диаметр основного маршрута d *мм*	Вес алмаза караты	Средняя эксплуатационная стойкость волокоотверстия *кг*		Частный расход волокоотверстий *шт/т*	Суммарный удельный расход волокоотверстий, *шт/т* проволоки, в алмазных волоках весом, караты			
					1,00	0,50	0,25	0,16
0,250	0,50	60 000 d^2	3 750	0,267	0,513	0,772	—	—
0,220	0,50	60 000 d^2	2 904	0,344	0,513	1,116	—	—
0,200	0,50	60 000 d^2	2 400	0,417	0,513	1,533	—	—
0,180	0,25	70 000 d^2	2 268	0,441	0,513	1,533	0,441	—
0,160	0,25	70 000 d^2	1 792	0,558	0,513	1,533	0,999	—
0,142	0,25	70 000 d^2	1 411	0,708	0,513	1,533	1,707	—
0,132	0,25	70 000 d^2	1 220	0,820	0,513	1,533	2,527	—
0,123	0,25	70 000 d^2	1 059	0,945	0,513	1,533	3,472	—
0,115	0,25	70 000 d^2	926	1,081	0,513	1,533	4,553	—
0,108	0,25	70 000 d^2	816	1,225	0,513	1,533	5,778	—
0,100	0,25	70 000 d^2	700	1,429	0,513	1,533	7,207	—
0,092	0,16	80 000 d^2	677	1,477	0,513	1,533	7,207	1,477
0,085	0,16	80 000 d^2	578	1,730	0,513	1,533	7,207	3,207
0,078	0,16	80 000 d^2	487	2,053	0,513	1,533	7,207	5,260
0,072	0,16	80 000 d^2	415	2,410	0,513	1,533	7,207	7,670
0,067	0,16	80 000 d^2	359	2,786	0,513	1,533	7,207	10,456
0,062	0,16	80 000 d^2	308	3,247	0,513	1,533	7,207	13,703
0,058	0,16	80 000 d^2	269	3,717	0,513	1,533	7,207	17,420
0,054	0,16	80 000 d^2	233	4,292	0,513	1,533	7,207	21,712
0,050	0,16	80 000 d^2	200	5,000	0,513	1,533	7,207	26,712

Таблица 110

Примерный расчет потребности в волокоотверстиях, новых твердосплавных заготовках и новых алмазах

Расчетный диаметр *мм*	Примерная программа выпуска, приведенная к медной проволоке, *т*	Потребность в волокоотверстиях в твердосплавных заготовках				Потребность в волокоотверстиях в алмазах весом, караты							
		группы Д		группы В		1,00		0,50		0,25		0,16	
		удельная *шт/т*	абсолютная, шт.	удельная *шт/т*	абсолютная, шт.	удельная *шт/т*	абсолютная, шт.	удельная *шт/т*	абсолютная, шт.	удельная *шт/т*	абсолютная, шт.	удельная *шт/т*	абсолютная, шт.
4,00	6648	0,136	904	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,10	8369	0,743	6218	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,25	1487	0,743	1107	1,836	2730	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 110

Расчетный диаметр *мм*	Примерная программа выпуска, приведенная к медной проволоке, *т*	Потребность в волокоотверстиях в твердосплавных заготовках				Потребность в волокоотверстиях в алмазах весом, караты							
		группы Д		группы В		1,00		0,50		0,25		0,16	
		удельная *шт/т*	абсолютная, шт.	удельная *шт/т*	абсолютная, шт.	удельная *шт/т*	абсолютная, шт.	удельная *шт/т*	абсолютная, шт.	удельная *шт/т*	абсолютная, шт.	удельная *шт/т*	абсолютная, шт.
0,81	575	0,743	427	3,648	2098	0,055	32	—	—	—	—	—	—
0,50	2524	0,743	1873	3,648	9208	0,289	730	—	—	—	—	—	—
0,25	647	0,743	481	3,648	2360	0,513	332	0,772	500	—	—	—	—
0,18	220	0,713	163	3,648	803	0,513	113	1,533	338	0,441	97	—	—
0,12	67	0,743	50	3,648	244	0,513	34	1,533	103	4,553	306	—	—
0 08	21	0,743	16	3,648	77	0,513	11	1,533	32	7,207	151	5,260	111
0,05	6	0,743	4	3,648	22	0,513	3	1,533	9	7,207	43	26,712	160
Итого волокоотверстий	—	—	11243	—	17542	—	1255	—	982	—	597	—	271
Количество волокоотверстий на 1 заготовку или алмаз	—	—	6	—	6	—	6	—	6	—	6	—	6
Всего новых заготовок	—	—	1871	—	2924	—	—	—	—	—	—	—	—
Всего новых алмазов	—	—	—		—	—	210	—	163	—	100	—	45

§ 9. УДАЛЕНИЕ ОКАЛИНЫ С ПОВЕРХНОСТИ ПРОВОЛОКИ

Окалину с поверхности проволоки можно удалять механическими и химическими способами.

Механические способы удаления окалины:

1) пропусканием через волоку;

2) на станке с периодическими перегибами заготовки между роликами;

3) на станке с обтирами из наждачной бумаги;

4) на станке с обтирами из абразивных паст;

5) на установке для очистки струей стальной дроби;

6) на установке для очистки струей песка;

7) на станке с быстро вращающимися проволочными щетками.

8) на шлифовальном станке.

Химические способы удаления окалины (травление), приведенные в табл. 111, осуществляются в установках для периодического травления (рис. 132) или в установках непрерывного действия (рис. 133).

Реакции, протекающие при этой операции, приведены в табл. 112, а удельный вес и концентрация водных растворов серной кислоты — в табл. 113.

Использование отработанных травильных растворов

Восстановление растворов добавками кислоты не может быть рекомендовано, так как большое содержание сернокислых солей в травильном растворе сильно замедляет реакции растворения окислов даже при повышенной концентрации кислоты.

Извлечение меди и кислоты из медьсодержащих растворов в виде медного купороса выпариванием основано на понижении растворимости медного купороса в воде с 66,2% при температуре кипения до 25,3% при 15°. Отработанный травильный раствор перегоняют насосом в баки для выпаривания, в которых вода из раствора испаряется до насыщения его медным купоросом. Затем раствор перегоняют в баки-кристаллизаторы, где при охлаждении выделяется медный купорос, оседающий на узких свинцовых пластинках; через 3—4 дня кристаллизация заканчивается. Расход пара на 1 *л* насыщенного раствора составляет около 1 *кг*, а на 1 *т* протравленной катанки — около 60 *кг*.

Извлечение металла и кислоты в виде сернокислых солей центрифугированием основано на глубоком переохлаждении и осаждении сернокислых солей в центрифугах. Способ позволяет полностью механизировать весь процесс и обеспечивать быстрое получение сернокислых солей металлов высокого качества.

Извлечение меди из медьсодержащих растворов при помощи цинка основано на том, что из растворов после травления латуней можно выделить медь в виде цементной меди добавлением цинковой жести по реакции

$$CuSO_4 + Zn \rightarrow ZnSO_4 + Cu.$$

Извлечение меди из медьсодержащих растворов при помощи железа в виде стального лома происходит по реакции

$$CuSO_4 + Fe \rightarrow FeSO_4 + Cu.$$

Таблица 111

Химические методы удаления окалины травлением

Составы растворов		Положительные стороны	Отрицательные стороны	Рекомендуемые области применения
травления	осветления			
8—12% H_2SO_4, 92—88% H_2O	Без осветления	Простота оборудования	Неестественный цвет меди и медных сплавов после травления	Для алюминиевой катанки
8—12% H_2SO_4, 3—6% $K_2Cr_2O_7$, 89—82% H_2O	Без осветления	Простота оборудования	Эффективность раствора обеспечена только в свежем состоянии	Не рекомендуется
50% H_2SO_4, 25—50% HNO_3, 25—0% H_2O	Без осветления	Простота оборудования	Легкость получения перетравленного металла, необходимость в изолированном помещении	Не рекомендуется
8—12% H_2SO_4, 92—88% H_2O	8—12% H_2SO_4, 92—88% H_2O	Лучшее качество травления в две стадии по сравнению с одной стадией	Неестественный цвет металла после осветления	Для изделий из меди
8—12% H_2SO_4, 92—88% H_2O	8—12% H_2SO_4, 3—16% $K_2Cr_2O_7$, 89—82% H_2O	Обеспечение естественного цвета металла	—	Для изделий из бронз, медноникелевых сплавов, никеля и никелевых сплавов
8—12% H_2SO_4, 92—88% H_2O	50% H_2SO_4, 25—50% HNO_3, 50—0% H_2O	Обеспечение естественного цвета металла	Необходимость в изолированном помещении	Для изделий из бронз, медноникелевых сплавов, никеля и никелевых сплавов при неэффективности осветления в хромпике
5—10% NaOH, 95—90% H_2O	10—15% HNO_3	Обеспечение естественного цвета металла	—	Для изделий из алюминия и алюминиевых сплавов
Расплавленные соли при 500°: 80% NaOH, 20% Na_2CO_3	8—12% H_2SO_4, 92—88% H_2O	Обеспечение лучшего качества травления	—	Для изделий из медноникелевых и никелевых сплавов при неэффективности других растворов

Установки для регенерации медьсодержащих растворов электролизом предназначены для регенерации меди и серной кислоты; на медных катодах выделяется электролитная медь, на нерастворимых свинцовых анодах — кислород, а в электролите освобождается связанная с медью серная кислота.

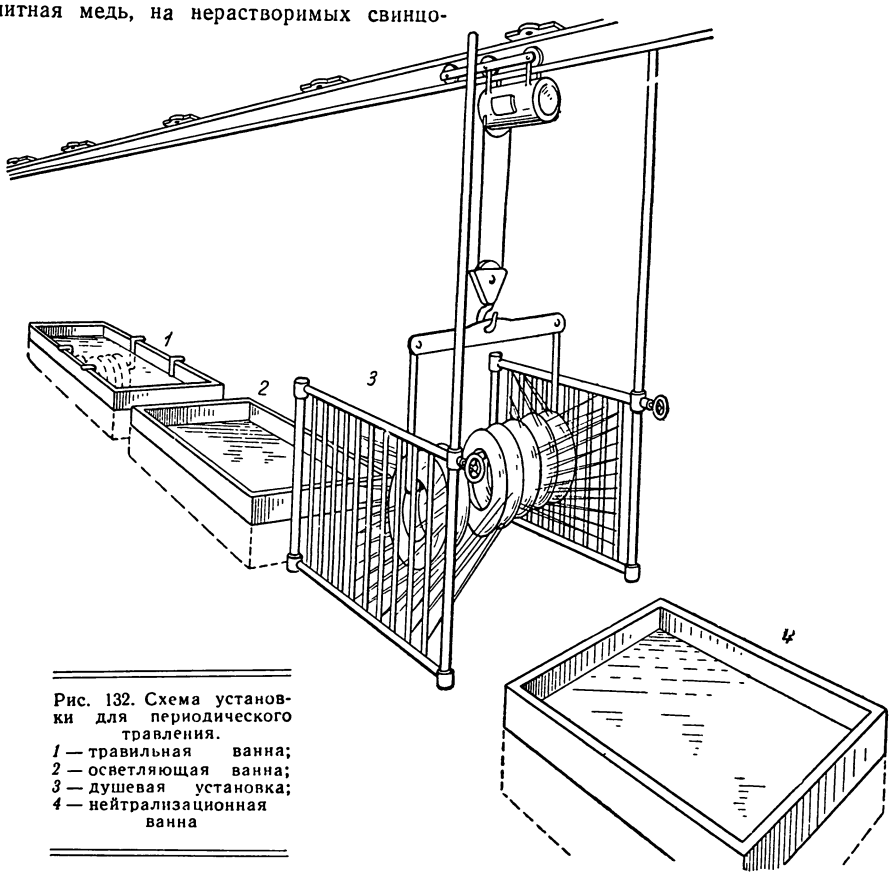


Рис. 132. Схема установки для периодического травления.
1 — травильная ванна;
2 — осветляющая ванна;
3 — душевая установка;
4 — нейтрализационная ванна

В установках для периодической регенерации предусматривают перегонку отработанного раствора в специальные ванны, где его регенерируют электролизом, а затем переливают обратно в травильные ванны. Плотность тока при электролизе 0,5—1,0 *а/дм²*; исходная концентрация меди 50—60 *г/л*, конечная 10—15 *г/л*; температура раствора 50—60°.

В установках для непрерывной регенерации предусматривают непрерывную перегонку травильного раствора специальными насосами в электролизные ванны, где он регенерируется и самотеком возвращается в травильные ванны.

В установках для непрерывной регенерации комплексно с конвейерным травлением

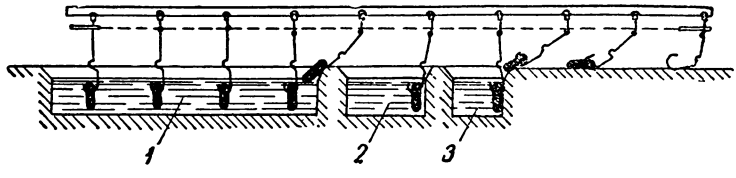


Рис 133 Схема установки для непрерывного травления:
1 — травильная ванна; *2* — промывное устройство; *3* — нейтрализационная ванна

предусматривают проведение операции при температуре ванн 25—30° и продолжительности около 30 мин. Химический состав растворов: у входа в регенеративные установки меди 2,0—4,0%, свободной кислоты 12,5—13,0%, всей кислоты 18,2—18,6%; у входа в травильные ванны меди 1,5—

Реакции при травлении цветных металлов и сплавов Таблица 112

Состав растворов	Реакции при травлении	Особые замечания
8—12% H_2SO_4, 92—88% H_2O	$Me\ O + H_2SO_4 \rightarrow Me\ SO_4 + H_2O$ $Me_2O + H_2SO_4 \rightarrow Me\ SO_4 + H_2O + Me$	$Me\ SO_4$ переходит в раствор Me высаживается в виде порошка на поверхности изделия
8—12% H_2SO_4, 3—4% $K_2Cr_2O_7$, 89—84% H_2O	$Me\ O + H_2SO_4 \rightarrow Me\ SO_4 + H_2O$ $Me_2O + H_2SO_4 \rightarrow Me\ SO_4 + H_2O + Me$ $3\,Me + 7H_2SO_4 + K_2Cr_2O_7 \rightarrow 3\,Me\ SO_4 + 7H_2O + Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4$	Ускорение операции из-за растворения основного металла помимо его окислов
50—50% H_2SO_4, 25—50% HNO_3, 25—0% H_2O	$Me\ O + H_2SO_4 \rightarrow Me\ SO_4 + H_2O$ $Me_2O + H_2SO_4 \rightarrow Me\ SO_4 + H_2O + Me$ $Me + 2HNO_3 \rightarrow Me\ (NO_3)_2 + H_2$	Ускорение операции из-за: а) растворения основного металла помимо окислов, б) перемешивания раствора выделяющимся водородом
5—10% NaOH, 95—90% H_2O	$Al_2O_3 + 2NaOH \rightarrow 2NaAlO_2 + H_2O$ $Al_2O_3 + 6NaOH \rightarrow 2Na_3AlO_3 + 3H_2O$ $2Al + 2NaOH + 2H_2O \rightarrow 2NaAlO_2 + 3H_2$ $2Al + 6NaOH \rightarrow 2Na_3AlO_3 + 3H_2$	Ускорение операции из-за: а) растворения основного металла помимо его окислов; б) перемешивания раствора выделяющимся водородом

Таблица 113

Удельный вес и концентрация водных растворов серной кислоты

Удельный вес при 15°	Плотность градусы Боме	Нормальность раствора	Содержание H_2SO_4, г/100 г (% вес.)	Содержание H_2SO_4, г/л	Удельный вес при 15°	Плотность градусы Боме	Нормальность раствора	Содержание H_2SO_4, г/100 г (% вес.)	Содержание H_2SO_4, г/л
1,000	0,0	0,018	0,09	0,9	1,220	26,0	7,424	29,84	364,1
1,010	1,4	0,324	1,57	15,9	1,240	27,9	8,162	32,28	400,3
1,020	2,8	0,634	3,03	30,9	1,260	29,8	8,882	34,57	435,6
1,030	4,2	0,951	4,49	46,2	1,280	31,6	9,623	36,87	471,9
1,040	5,5	1,264	5,96	62,0	1,300	33,3	10,390	39,19	509,5
1,050	6,9	1,578	7,37	77,4	1,320	35,0	11,170	41,50	547,8
1,060	8,2	1,896	8,77	93,0	1,340	36,6	11,950	43,74	586,2
1,070	9,4	2,223	10,19	109,0	1,360	38,2	12,720	45,88	624,0
1,080	10,7	2,555	11,60	124,8	1,380	39,7	13,510	48,00	662,4
1,090	11,9	2,897	12,99	141,6	1,400	41,2	14,310	50,11	701,6
1,100	13,1	3,219	14,35	157,9	1,420	42,7	15,100	52,15	740,5
1,110	14,3	3,556	15,71	174,4	1,440	44,1	15,880	54,07	778,6
1,120	15,5	3,885	17,01	190,6	1,460	45,5	16,660	55,97	817,2
1,130	16,6	4,219	18,31	206,9	1,480	46,8	17,450	57,83	855,9
1,140	17,7	4,559	19,61	223,6	1,500	48,1	18,260	59,70	895,5
1,150	18,8	4,903	20,91	240,4	1,550	51,2	20,320	64,26	996,0
1,160	19,9	5,249	22,19	257,4	1,600	54,1	22,410	68,70	1099,0
1,170	21,0	5,600	23,47	274,6	1,650	56,8	24,550	72,96	1204,0
1,180	22,0	5,958	24,76	292,2	1,700	59,4	26,750	77,17	1312,0
1,190	23,0	6,319	26,04	309,9	1,750	61,8	29,100	81,56	1427,0
1,200	24,0	6,685	27,32	327,8	1,800	64,1	31,890	86,92	1564,0
					1,842	66,0	37,660	100,00	1847,0

2,5%, свободной кислоты 14,5—16,0%, всей кислоты 18,6—19,1%.

Продукцией регенеративных установок являются медные катоды в количестве ~ 0,1% от количества протравленной проволоки. Скорость течения электролита 10 *дм³/мин* Плотность тока 2 *а/дм²*. Источник постоянного тока — умформер на два агрегата; мощность 12—15 *квт;* выходное напряжение около 20 *в;* сила тока 400 *а* Расход электроэнергии на 1000 *кг* катодов ~ 3000 *квт-ч.*

Обезвреживание отработанных травильных растворов и промывных вод производят путем пропускания их через слой извести, причем образуются нерастворимые соли кальция и вода или гидраты металлов:

$$H_2SO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaSO_4 + 2H_2O;$$
$$2HNO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + 2H_2O;$$
$$MeSO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaSO_4 + Me(OH)_2;$$
$$Me(NO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + Me(OH)_2.$$

§ 10. СМАЗОЧНЫЕ СОСТАВЫ

1. Смазочные составы для однократных машин и машин без скольжения

Смазочные составы должны:

1) смачивать быстро и полно поверхности протягиваемого металла и волочильного канала;

Таблица 114

Классификация смазочных составов по их агрегатному состоянию

Агрегатное состояние	Наиболее распространенные ходовые виды смазок	Положительные стороны	Отрицательные стороны	Области применения
Твердые				
Пленкообразные	Покрытие медью	Плотное прилипание смазки к протягиваемому изделию	Дороговизна	Волочение никелевых сплавов
Воскообразные	Воск	Минимальный коэффициент трения в волочильном канале	Дефицитность	Волочение драгоценных металлов и биметаллов
Порошкообразные	Мыла	Доступность	Низкие охлаждающие свойства	Однократное волочение
Полужидкие				
Пастообразные	Консистентные смазки с добавкой поверхностно активных веществ	Высокие смазочные свойства	Низкие охлаждающие свойства; загрязнения поверхности проволоки	Волочение алюминия и других цветных металлов на машинах без скольжения
Жидкие				
Маслообразные	Растительные и минеральные масла	Средние смазочные свойства; средние охлаждающие свойства	—	Волочение оловянно-фосфористых бронз на машинах со скольжением
Эмульсообразные	Эмульсии мыл и растительных масел	Высокие охлаждающие свойства; относительная дешевизна	Невысокие смазывающие свойства	Волочение меди и других цветных металлов и сплавов на машинах со скольжением
	Эмульсии сала и мыла	Высокие охлаждающие свойства, относительная дешевизна	Недопустимость перегрева выше 70°	Волочение алюминия и его сплавов на машинах со скольжением
Растворообразные	Растворы кислот	Дешевизна; простота изготовления	Коррозионное воздействие на оборудование	В цветной обрабатывающей промышленности не применяются

2) выдерживать, не разрываясь, высокие давления в волочильном канале;

3) устранять прилипание протягиваемого металла к поверхности канала;

4) обеспечивать заданный вид поверхности проволоки — особо глянцевый или, наоборот, матовый;

5) сохраняться (удерживаться) на поверхности металла в течение ряда последовательных проходов;

6) не расслаиваться при длительном хранении или в процессе волочения;

7) не давать после отжига трудноудаляемого осадка;

8) не действовать вредно на руки и одежду волочильщика;

9) не содержать опасных (ядовитых) веществ;

10) не содержать дорогих или дефицитных материалов.

Смазочные составы для однократных машин предназначены для облегчения деформации в волочильном канале и в большинстве случаев представляют собой жидкие маслообразные смазки (табл. 115).

Жидкие смазки заливают в специальные ванночки у волокодержателей, в которые при помощи откидных роликов опускается проволока перед входом в волоку; при воскообразных смазках ванночка снабжается специальным устройством для постоянного подогрева смазки и поддержания ее в жидком состоянии.

Смазочные составы для машин без скольжения предназначены для облегчения деформации в волочильном канале, так как проволока на этих машинах не скользит по тяговым шайбам и смазывание последних излишне; из указанных в табл. 115 составов следует отбирать лучшие.

2. Смазочные составы для машин со скольжением

Смазочные составы должны обеспечивать:

1) минимальное трение между протягиваемой проволокой и поверхностью волочильного канала;

2) необходимое оптимальное трение между витками проволоки и поверхностью проворачивающихся внутри этих витков тяговых шайб; это трение не должно быть чрезмерно малым, иначе потребуется значительное увеличение числа витков, наматываемых вокруг тяговых шайб;

3) охлаждение волок и проволоки, нагревающихся за счет трения в волочильном канале;

4) охлаждение тяговых шайб, нагревающихся вследствие трения об их поверхность витков проволоки.

В качестве смазочных составов на машинах со скольжением применяют обычно водные эмульсии, хотя смазочные свойства их, с точки зрения обеспечения минимального трения в волочильном канале, очень низки.

При волочении медной проволоки рекомендуют:

а) для толстого волочения: 1,5% 60%-ного мыла, 4,5% растительного масла, 94% воды;

Таблица 115

Рекомендуемые смазочные составы для волочения проволоки на однократных машинах и машинах без скольжения, %

Компоненты смазочных составов	Медь, латуни, бронзы, цинк		Медноникелевые сплавы, никель, никелевые сплавы			Алюминий, алюминиевые сплавы		
	№ 1	№ 2	№ 11	№ 12	№ 13	№ 21	смазка СВА5	Компаунд СМ
Машинное масло	90	100	—	80	62	—	—	—
Веретенное масло	—	—	—	—	—	95	—	—
Масло велосит	—	—	—	—	—	—	10,0—15,0	—
Консистентная смазка 1-13 по ГОСТ 1631—52	—	—	—	—	—	—	86,8—80,8	—
Растительное масло	10	—	90	10	—	5	—	
Хлорпарафин	—	—	—	—	—	—	3,0—4,0	—
Триэтаноламин	—	—	—	—	—	—	0,2—0,20	—
Сера	—	—	10	10	—	—	—	—
Сульфидный клей	—	—	—	—	11	—	—	—
Техническое сало	—	—	—	—	—	—	—	52
Мыло 60%-ное	—	—	—	—	—	—	—	16
Вода	—	—	—	—	27	—	—	32

б) для среднего и тонкого волочения: 1,5% 60%-ного мыла, 2,5% растительного масла, 96% воды;

в) для тончайшего волочения: 2,0% мыла, 98% воды.

Изготовление эмульсии предпочтительнее производить с помощью ультразвука.

При волочении алюминиевой проволоки рекомендуют:

а) для среднего волочения: 3% 60%-ного мыла, 10,0% технического сала, 87% воды;

б) для тонкого волочения: 3,0% 60%-ного мыла, 12,0% керосина, 85% воды;

в) для тонкого волочения: 1,5% олеиновой кислоты, 9,0% веретенного масла; 0,5% триэтаноламина, 89% воды.

Способы подачи смазочных составов на машинах со скольжением

В течение ряда лет считали наиболее целесообразным на машинах со скольжением заливать смазочный состав в специальную ванну, вмонтированную в корпус машины, в которую во время работы были погружены волоки и тяговые шайбы. Этим обеспечивалось непрерывное смазывание и охлаждение волок, проволоки и тяговых шайб без устройства сложной системы подачи эмульсии. Однако практика показала, что в таких ваннах эмульсия находится в непрерывном движении и не имеет возможности отстаиваться и медная пыль и грязь, попадающие в эмульсию с проволоки, остаются в ней во взвешенном состоянии и подаются непрерывно к волокам и на поверхность тяговых шайб. Машины рекомендуется снабжать индивидуальными отдельно расположенными отстойными баками, в которых эмульсия непрерывно отстаивается; в машину она поступает значительно более чистой. Подача эмульсии к волокам и тяговым шайбам осуществляется обычно специальным насосом при помощи трубочек с отверстиями.

Рекомендуется устраивать две отдельные системы: подачу эмульсии к смазочным воронкам волок производить под большим давлением через специальные инжекторы; подачу эмульсии к тяговым шайбам через трубочки с отверстиями, осуществляющие спокойное обливание шайб эмульсией.

3. Восстановление смазочных составов

Отработка эмульсии сопровождается постепенным обеднением их жирами, обогащением свободной щелочью и загрязнением взвешенными частичками металла.

На поверхность эмульсии в отстойном баке или в ванне машины всплывает темная пена, состоящая из отслоений жиров, содержащих металлические соли. На дно бака или ванны выпадает шлам, состоящий из металлических мыл, окислов и солей. Неизбежны также потери эмульсии из-за испарения воды, уноса с протягиваемым металлом, разбрызгивания при заправке и т. п.

Для восстановления эмульсии рекомендуется предусматривать:

1) удобную периодическую очистку поверхности эмульсии от пены;

2) периодическую очистку дна бака от шлама;

3) фильтрование эмульсии после очистки от пены и шлама.

4) независимый источник снабжения баков слабой эмульсией с 0,5—0,8% общей жирности для добавок.

Отработка маслообразных смазок сопровождается загрязнением их взвешенными частичками грязи и солей металла и уменьшением количества из-за неизбежных потерь. Для восстановления смазок рекомендуется фильтровать их и добавлять свежие.

§ 11. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Сращивание заготовки перед волочением

Для пайки концов заготовки с целью сращивания в качестве припоя употребляют чистое серебро или сплав с 70% серебра, 28% меди и 2% марганца, флюсом служит бура. В ряде случаев сплавы серебра могут быть заменены меднофосфористыми сплавами. Круглая катанка заготовка диаметром более 11 *мм* для контактных проводов и полого кабеля спаивается на стыковых аппаратах и наматывается на большие деревянные барабаны. Тянутая заготовка в бухтах для тонкой проволоки спаивается на специальных электрических сварочных аппаратах.

Сварка концов катанки для сращивания требует:

1) проведения процесса размягчения металла до начала стадии плавления в возможно короткое время;

2) обеспечения идентичности переходного электрического сопротивления в месте стыка двух одинаковых по форме и размерам концов заготовки;

3) выделения наибольшего количества тепла в той части металла, которая необходима для заполнения шва в стыке.

Для обеспечения первого условия рекомендуется применять для сварки катанки диаметром 7—8 *мм* сварочные аппараты большой мощности (до 100 *ква*), снабженные сжимающим устройством.

Для обеспечения последних двух условий рекомендуется надрубить концы катанки ножницами не до конца, после чего обломать отделяемый конец, что создает всегда идеально чистую поверхность стыка; концы двух бухт катанки, напоминающие по форме заостренные зубила, зажимают губками сварочного аппарата, стыкуя прямоугольные площадки мест излома под прямым углом (рис 134).

Таблица 116

Способы изготовления захваток

Способ изготовления и оборудование	Положительные стороны	Отрицательные стороны	Рекомендуемые области применения
Изготовление захваток на ручных вальцах	Простота	Требует затраты физического труда	Для проволоки диам. 7,2—2,0 *мм*
Изготовление захваток на механизированных вальцах	Облегчение труда	—	Для проволоки диам. 20,0—2,0 *мм*
Изготовление захваток на ротационноковочных машинах	То же	Шум в помещении цеха	Для проволоки диам. 20,0—4,5 *мм*
Изготовление захваток обточкой	Не требует специализированного оборудования	Низкая производительность, отход стружки	Для мелкого производства проволоки диам 20,0—6,0 *мм*
Изготовление захваток фрезерованием	То же	Дороговизна	Для мелкого производства
Изготовление захваток травлением	Дает лучшую захватку по сравнению с другими способами	Дороговизна, трудоемкость	Для сложных фасонных сечений
Изготовление захваток непосредственно на волочильных машинах (точнее, заправка в волоки без изготовления захваток)	Лучший способ, не требующий отдельной операции	Требуется переделка всех однократных машин	На однократных машинах для проволоки диам. 20,0—4,5 *мм*

Таблица 117

Технические параметры механизированных вальцов для изготовления захваток у проволоки

Диаметр круга, вписанного в профиль, *мм*	Диаметр валка, *мм*	Длина валка, *мм*	Потребная мощность, *квт*
2—8	80	140	1,5
5—15	100	170	2
8—25	120	220	4
10—30	150	300	6
12—40	200	400	12

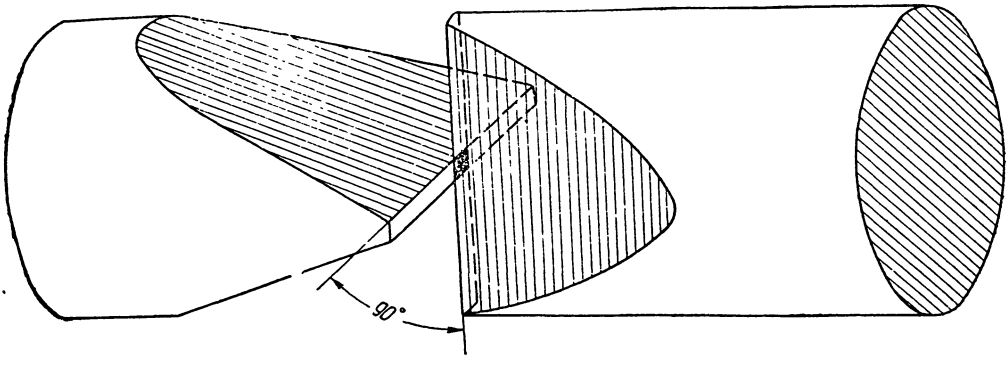


Рис 134. Рекомендуемое положение торцов катанки при сварке встык

Таблица 118

Технические параметры сварочных аппаратов

Наименование параметра	Тип аппарата				
	АСИФ-25-у	АСП-10	АСИФ-5	МС-3	МС-0,75-2
Номинальная мощность, *ква*	25	10	5	3	0,75
Первичное напряжение, *в*	220/380	380	220/380	380	220
Диаметр свариваемой медной проволоки, *мм*	14—7	6—4	5,0—3	2,0—0,8	0,8—0,4
Число ступеней регулирования вторичного напряжения, шт.	6	7	4	7	7
Наибольшее расстояние между зажимами для сварки, *мм*	—	10	14	10	7
Продолжительность включения, сек.	—	5	25	5	15
Число сварок в час	—	180	100	400	250
Усилие зажатия свариваемых проволок, *кг*	—	—	—	20—75	До 8
Усилие при осадке, *кг*	—	—	—	0,6—18	0,1—3,2
Габаритные размеры аппаратов, *мм*:					
длина	820	715	650	650	430
ширина	500	710	310	400	230
высота	1075	1125	700	1250	1120
Вес, *кг*	—	250	107	60	16

§ 12. ВИДЫ БРАКА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОВОЛОКИ

В табл. 119 приведены виды брака при производстве проволоки, его причины и мероприятия по борьбе с ним.

Таблица 119

Виды брака при волочении проволоки, причины его возникновения и рекомендуемые мероприятия по борьбе с ним

Краткое наименование брака	Причины брака	Рекомендуемые мероприятия по борьбе с браком
Неправильные размеры проволоки	Разработка волоки	Сменить разработанную волоку на новую
	Ошибочно установленная волока	Сменить ошибочно установленную волоку на новую
Овальность	Разработка волоки	Сменить волоку на новую
	Косое положение волоки	Правильно установить волоку в волокодержателе
Затяжка	Налипание грязи на канал волоки	Прочистить волоку
	Плохая полировка волоки	Отполировать волоку
	Неправильная форма канала	Сменить волоку на новую с правильной формой канала
	Неправильный маршрут	Пересчитать и изменить маршрут
	Повышенная скорость приемной катушки по отношению к скорости тяговой шайбы	Устранить несоответствие скоростей катушки и тяговой шайбы
	Удары в работе машины	Выяснить и устранить причины ударов в работе машины
	Плохое качество смазки	Улучшить качество смазки; улучшить подачу смазки

Продолжение табл. 119

Краткое наименование брака	Причины брака	Рекомендуемые мероприятия по борьбе с браком
Заниженный вес проволоки в бухте или на катушке	Заниженный исходный вес заготовки	Увеличить исходный вес заготовки; устранить обрывы при изготовлении заготовки
	Обрывы при волочении	Устранить обрывы при волочении проволоки; проинструктировать волочильщика
Закаты	Закаты на исходной горячекатаной заготовке	Ужесточить приемку горячекатаной заготовки путем проверки на скручивание с раскручиванием
Плены	Малая длина очага деформации волочильного канала	Заменить волоку новой с большей длиной очага деформации
	Повышенное трение проволоки на шайбах	Сменить прорезанные бандажи тяговых шайб; проверить и скорректировать состав эмульсии
	Плохое травление	Проверить и скорректировать режим травления
	Плохая промывка	Проверить и скорректировать режимы работы промывочного устройства и нейтрализационного бака
	Дефекты заготовки	Ужесточить приемку заготовки; ввести операцию скальпирования заготовки
Раковины	Малая суммарная вытяжка	Увеличить размеры исходной заготовки
	Плохое травление	Проверить и скорректировать режим травления
	Дефекты заготовки	Ужесточить приемку заготовки; ввести операцию скальпирования заготовки
Риски	Налипание металла на волочильный канал	Очистить волоку
	Задиры на поверхности волочильного канала	Переполировать волоку
	Растрескивание волоки	Заменить лопнувшую волоку новой
	Задиры об острые грани волоки	Отшлифовать острые грани волоки
	Задиры о выступающие детали машины	Отшлифовать выступающие детали машины
	Прорезание тяговых шайб	Заменить прорезанные тяговые шайбы новыми

Продолжение табл. 119

Краткое наименование брака	Причины брака	Рекомендуемые мероприятия по борьбе с браком
Местные повреждения	Дефекты при небрежной транспортировке	Проинструктировать транспортных рабочих
	Задиры о выступающие части на цепях печей	Отшлифовать выступающие части цепей печей
	Разбрасывание бухты на приемном барабане	Проверить и устранить причины разбрасывания бухты на приемном барабане
Пониженный предел прочности у нагартованной проволоки	Малая степень нагартовки	Увеличить суммарную вытяжку за счет увеличения размеров исходной заготовки
	Повышенный разогрев проволоки в волочильном канале	Проверить и скорректировать форму волочильного канала волоки; проверить и скорректировать состав эмульсии; усилить охлаждение волок
	Повышенный разогрев проволоки на тяговых шайбах	Проверить и скорректировать маршрут волочения; скорректировать состав эмульсии; усилить охлаждение тяговых шайб; проверить и отшлифовать тяговые шайбы
	Низкий предел прочности исходной заготовки	Ужесточить приемку заготовки по пределу прочности
	Дефекты заготовки	Ужесточить разбраковку исходной заготовки по дефектам
Пониженное число перегибов или скручиваний у нагартованной проволоки	Повышенная нагартовка металла между отжигами	Уменьшить суммарную вытяжку металла после последнего отжига
	Неправильная форма волочильного канала	Заменить волоку новой с правильной формой канала
	Плохая полировка поверхности волочильного канала	Отполировать волоку
	Низкое качество смазки	Улучшить состав смазки; улучшить режим подачи смазки
	Низкое качество исходной заготовки	Ужесточить приемку исходной заготовки

§ 13. ПЕЧИ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Характеристика печей для термической обработки проволоки приведены в табл. 120, 121 и 124. Рекомендуемые защитные атмосферы в табл. 122. Теплосодержание цветных металлов при различных температурах указано в табл. 123.

Таблица 120

Источники тепла у печей для термической обработки

Источник тепла	Способ нагрева садки	Положительные стороны	Отрицательные стороны
Электрическая энергия	Лучеиспусканием	Простота конструкции и эксплуатации	Медленный нагрев
	Непосредственным пропусканием электрического тока	Быстрый нагрев	Необходимость обеспечить надежный контакт
	Индуктивный	То же	Необходимость затраты больших начальных капиталовложений
Газ	Газом, сжигаемым в рабочем пространстве печи	Простота конструкции	Необходимость изолировать садку от действия печных газов
	Газом, сжигаемым в радиационных трубах	Устранение действия печных газов	Сложность конструкции
Мазут	Сжиганием в форсунках	Простота конструкции	Необходимость изолировать садку от действия печных газов
Твердое топливо	Сжиганием в топке	Простота конструкции; дешевизна топлива	Необходимость изолировать садку от действия печных газов

Таблица 121

Классификация печей для отжига

Печи периодического действия окислительного отжига	Камерные с неподвижным полом Камерные с выдвижным подом Шахтные
Печи периодического действия светлого отжига	Камерные с выдвижным подом и отжигом в муфелях Шахтные с толстостенными котлами Шахтные с подвешиваемой садкой Колокольные с водяным затвором Колокольные без водяного затвора Контактного нагрева
Печи непрерывного действия светлого отжига	Конвейерные ретортные с водяным затвором Конвейерные безретортные с водяным затвором С роликовым подом и газовым затвором Протяжные Контактного нагрева

Защитные атмосферы

Таблица 122

Вид защитной атмосферы		Источники получения защитной атмосферы	Положительные стороны	Отрицательные стороны	Рекомендуемые области применения
Водяной пар		Центральная заводская котельная	Простота и доступность в любых заводских условиях	Конденсация пара при подъеме температуры и охлаждении	Для отжига толстой медной проволоки в бухтах
Углекислый газ		Доставка в жидком виде в баллонах с завода-поставщика	Обеспечение сухого светлого отжига	Трудная доступность газа, особенно в небольших городах	Для отжига тонкой медной проволоки на катушках
Восстановительные защитные атмосферы[1]:	продукты сухой перегонки аммиака	Специальная установка для крекингования аммиака	—	Малая пригодность для меди в связи с водородной болезнью	—
	древесноугольный генераторный газ	Древесноугольный генератор	Доступность исходного материала	Те же	Для отжига проволоки из бронз и медноникелевых сплавов
	керосиновый газ	Специальная установка для сухой перегонки и сжигания	Те же	» »	Те же
	продукты горения светильного газа	Установка для сжигания светильного газа	Доступность исходного материала в больших городах	» »	» »
Последовательная смена водяного пара и восстановительных защитных атмосфер		Пар от центральной котельной; восстановительный газ с одной из указанных установок	Качественный сухой светлый отжиг	Сложность установки	Для отжига медной проволоки
Нейтральные защитные атмосферы		Установка для получения и сжигания восстановительного газа	Те же	Относительная сложность установки, особенно при необходимости автоматического регулирования содержания горючих газов	Для отжига медной проволоки в бухтах и на катушках
Азот		Установка для получения азота	Те же	Сложность установки	Для отжига проволоки из никеля и никелевых сплавов
Вакуум		Индивидуальная установка у каждый печи	Качественный сухой светлый отжиг; отсутствие затрат на какие-либо материалы	Сложность из-за необходимости обеспечить глубокий вакуум, низкая производительность из-за замедленного нагрева и охлаждения	Для отжига тонкой медной проволоки на катушках

[1] Восстановительные защитные атмосферы, применяемые для отжига медных полуфабрикатов, не должны содержать H_2 более 3%.

Таблица 123

Теплосодержание цветных металлов при разных температурах, *кал/г*

Название металла	100°	200°	300°	400°	600°	800°	1000°	1200°	1500°
Медь	9,3	18,8	28,7	38,6	59,3	81,0	103,0	175,5 ж	—
Никель	10,9	22,7	35,7 α	50,7 β	77,0	103,8	131,0	159,0 β	274,0 ж
Алюминий . .	21,2	43,8	67,9	93,8	148,0	296,0 ж	—	—	—
Титан	11,3	25,3	44,5	63,7	—	—	—	—	—
Цинк	9,4	19,1	29,4	40,0	88,5 ж	—	—	—	—

Примечание. ж — жидкий; α и β — аллотропические модификации.

Таблица 124

Герметизирующие запорные устройства печей для отжига проволоки из цветных металлов и сплавов

Характеристика запорных устройств	Положительные стороны	Отрицательные стороны	Области применения
С прохождением проволоки через запорные устройства			
Водяные ванны с входной и выходной стороны	Простота, быстрое охлаждение садки после нагрева	Мокрый отжиг	Конвейерные ретортные печи
Сухие входные и выходные камеры, заполненные защитным газом	Сухой светлый отжиг	Медленное охлаждение садки со стороны выхода	Роликовые печи; конвейерные печи
Без прохождения проволоки через запорные устройства			
Вынесенные в сторону водяные и песочные затворы	Сухой светлый отжиг	Пригодность только для печей периодического действия	Шахтные печи; колокольные печи

Таблица 125

Способы отделки поверхности заготовки и готовой проволоки из цветных металлов

Способ отделки поверхности	Положительные стороны	Отрицательные стороны
Отделка поверхности заготовки		
Местная шабровка заготовки (ручная)	Простота операции	Малая производительность
Местная шабровка заготовки (механизированная)	Те же	Те же
Сплошная чистка заготовки на дисковых металлических щетках	Удовлетворительная производительность	Недостаточная глубина очистки
Сплошная обточка заготовки на токарных станках	Глубокая очистка	Дороговизна операции
Сплошное скальпирование заготовки на однократных барабанах при помощи обратных волок	Простота операции	Недостаточная эффективность
Сплошное скальпирование заготовки на специальных аппаратах	Высокая производительность	Сложность установки
Отделка поверхности готовой проволоки		
Сплошная чистка готовой проволоки на дисковых металлических щетках	Удовлетворительная поверхность; удовлетворительная производительность	Трудность удаления глубоких дефектов
Сплошная шлифовка готовой проволоки на бесцентровых шлифовальных станках	Высокое качество отделки	Малая производительность; дороговизна
Сплошная полировка готовой проволоки на бесцентровых полировальных станках	Высокое качество отделки	Те же

Таблица 126

Технические параметры прессов для пакетировки отходов проволоки

Наименование параметра	Тип ПП-30	Тип ПП-70
Длина цилиндрического пакета, *мм*	300	700
Диаметр пакета, *мм*	150—300	150—300
Вес пакета, *кг*	до 30	до 70
Производительность, *кг/час*	200	300
Число рабочих, чел.	1	1
Мощность электродвигателя, *квт*	0,6	0,8
Габаритные размеры, *м*:		
длина	1,8	3,6
ширина	0,6	0,9
высота	1,5	1,5
Вес нетто, *кг*	350	1100

§ 14. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ТАБЛИЦЫ ДЛЯ РАСЧЕТА

Сечение и вес проволоки из цветных металлов

Диаметр *мм*	Сечение *мк²*	Вес 1 *км* проволоки, *кг*, 8,89: медь, бронза Х0, 5, сплавы ТП и ТБ, ельхиор, константан, копель, никель НМц2,5	8,80: бронзы Т, Кд1; ОФ6,5-0,4; никель НК0,2; монель-металл ОЦ4-3	8,70: нейзильбер, хромель НХ9,5	8,60: латунь Л68
0,001	0,78540	0,00698	0,00691	0,00683	0,00675
0,002	3,14159	0,02793	0,02764	0,02733	0,02702
0,003	7,06858	0,06284	0,06220	0,06150	0,06079
0,004	12,56637	0,11172	0,11058	0,10933	0,10807
0,005	19,63495	0,17455	0,17279	0,17082	0,16886
0,0056	24,63009	0,21896	0,21674	0,21428	0,21182
0,006	28,27433	0,25136	0,24881	0,24599	0,24316
0,007	30,48451	0,34212	0,33866	0,33482	0,33097
0 008	50,26548	0,44686	0,44234	0,43731	0,43228
0,009	63,61725	0,56556	0,55983	0,55347	0,54711
0,010	78,53982	0,69822	0,69115	0,68330	0,67544
0,011	95,03318	0,84484	0,83629	0,82679	0,81729
0,012	113,09734	1,00544	0,99526	0,98395	0,97264
0,014	153,93804	1,36851	1,35465	1,33926	1,32387
0,016	201,06193	1,78744	1,76934	1,74924	1,72913
0,018	254,46900	2,26223	2,23933	2,21388	2,18843
0,020	314,15927	2,79288	2,76460	2,73319	2,70177
0,022	380,13271	3,37938	3,34517	3,30716	3,26914
0,025	490,87385	4,36387	4,31969	4,27060	4,22152
0,028	615,75216	5,47404	5,41186	5,35704	5,29547
0,030	706,85835	6,28397	6,22035	6,14967	6,07898
0,032	804,24772	7,14976	7,07738	6,99696	6,91653
0,034	907,92028	8,07141	7,98970	7,89891	7,80811
0,036	1017,87602	9,04892	8,95731	8,85552	8,75373
0,038	1134,11495	10,08228	9,98021	9,86680	9,75339
0,040	1256,63706	11,17150	11,05841	10,93274	10,80708
0,042	1385,44236	12,31658	12,19190	12,05335	11,91480
0,045	1590,43128	14,13893	13,99580	13,83675	13,67771
0,050	1963,49541	17,45547	17,27876	17,08241	16,88606
0,053	2206,18344	19,61297	19,41441	19,19380	18,97318
0,056	2463,00864	21,89615	21,67448	21,42818	21,18187
0,060	2827,43385	21,13589	24,88142	24,59867	24,31593
0,063	3117,24531	27,71231	27,43176	27,12003	26,80831
0,067	3525,65236	31,34301	31,02574	30,67318	30,32061
0,070	3848,45100	34,21272	33,86637	33,48152	33,09668
0,075	4417,86467	39,27481	38,87721	38,43542	37,99364
0,080	5026,54825	44,68601	44,23363	43,73097	43,22832
0,085	5674,50123	50,44632	49,93562	49,36817	48,80072
0,090	6361,72512	56,55573	55,98318	55,34701	54,71084
0,095	7088,21842	63,01426	62,37632	61,67750	60,95868

СЕЧЕНИЙ И ВЕСА 1 *км* ПРОВОЛОКИ

Таблица 127

и сплавов диаметром 0,001—0,095 *мм*

при удельном весе

8,50	8,40	2,70	2,80	4,54	7,13
латунь ЛС59-1 алюмель	латунь Л162, бронза КМц3-1, манганин, нихром Х20Н80, ферронихром	алюминий, альмаг АМг, АМг5	дуралюмины Д3П, Д1П, Д16П	титан	цинк
0,00668	0,00660	0,00212	0,00220	0,00356	0,00560
0,02670	0,02639	0,00848	0,00880	0,01426	0,02240
0,06008	0,05938	0,01909	0,01979	0,03209	0,05040
0,10681	0,10556	0,03393	0,03519	0,05705	0,08960
0,16690	0,16493	0,05301	0,05498	0,08914	0,14000
0,20936	0,20689	0,06650	0,06896	0,11182	0,17562
0,24033	0,23750	0,07634	0,07617	0,12837	0,20160
0,32712	0,32327	0,10391	0,10776	0,17472	0,27439
0,42726	0,42223	0,13572	0,14074	0,22821	0,35839
0,54078	0,53438	0,17177	0,17813	0,28882	0,45359
0,66759	0,65973	0,21206	0,21991	0,35657	0,55999
0,80778	0,79828	0,25659	0,26609	0,43145	0,67759
0,96133	0,95002	0,30536	0,31667	0,51346	0,80638
1,30847	1,29308	0,41563	0,43103	0,69883	1,09758
1,70903	1,68892	0,54287	0,56297	0,91282	1,43357
2,16299	2,13754	0,68707	0,71251	1,15529	1,81436
2,67035	2,63894	0,84823	0,87965	1,42628	2,23996
3,23113	3,19312	1,02636	1,06437	1,72580	2,71035
4,17243	4,12334	1,32536	1,37445	2,22857	3,49993
5,23389	5,17232	1,66253	1,72411	2,79552	4,39031
6,00830	5,93761	1,90852	1,97920	3,20914	5,03990
6,83611	6,75568	2,17147	2,25189	3,65129	5,73429
7,71732	7,62653	2,45139	2,54218	4,12196	6,47317
8,65195	8,55016	2,74827	2,85006	4,62116	7,25746
9,63998	9,52657	3,06211	3,17552	5,14888	8,08624
10,68142	10,55575	3,39292	3,51858	5,70513	8,95982
11,77626	11,63772	3,74069	3,87924	6,28991	9,87820
13,51867	13,35962	4,29416	4,45321	7,22056	11,33978
16,68971	16,49336	5,30144	5,49779	8,91427	13,99072
18,75256	18,53194	5,95670	6,17731	10,01607	15,73009
20,93557	20,68927	6,65012	6,89642	11,18206	17,56125
24,03313	23,75044	7,63407	7,61682	12,83655	20,15960
26,49659	26,18486	8,41656	8,72829	14,15229	22,22596
29,96805	29,61548	9,51926	9,87183	16,00646	25,13790
32,71183	32,32699	10,39082	10,77566	17,47197	27,43946
37,55185	37,11006	11,92824	12,37002	22,05711	31,49938
42,72566	42,22301	13,57168	14,07434	22,82053	35,83929
48,23327	47,66582	15,32116	15,88861	25,76224	40,45920
54,07766	53,43849	17,17666	17,81283	28,88283	45,35910
60,24986	59,54104	19,13819	19,84701	32,18051	50,53900

Сечение и вес проволоки из цветных металлов

Диаметр *мм*	Сечение *мм²*	Вес 1 *км* проволоки, *кг*, 8,89: медь; Бр. Х0,5; сплавы ТП, ТБ; мельхиор, константан, копель; никель Н1; НМц2,5	8,80: Бр. Т, Бр. Кд1; Бр. ОФ6,5-0,4; Бр. ОЦ4-3; никель НКО,2; монель-металл	8,70: нейзильбер, хромель	8,60: Л68
0,100	0,00785	0,06982	0,06912	0,06833	0,06754
0,105	0,00866	0,07698	0,07620	0,07533	0,07447
0,110	0,00950	0,08448	0,08363	0,08269	0,08177
0,115	0,01039	0,09234	0,09140	0,09037	0,08933
0,120	0,01131	0,10054	0,09953	0,09840	0,09727
0,130	0,01327	0,11800	0,11680	0,11547	0,11415
0,140	0,01539	0,13685	0,13547	0,13393	0,13239
0,150	0,01767	0,15710	0,15551	0,15374	0,15197
0,160	0,02011	0,17874	0,17693	0,17492	0,17291
0,170	0,02270	0,20179	0,19974	0,19747	0,19520
0,180	0,02545	0,22622	0,22393	0,22139	0,21884
0,190	0,02835	0,25206	0,24951	0,24667	0,24383
0,200	0,03142	0,27929	0,27646	0,27332	0,27018
0,210	0,03464	0,30791	0,30480	0,30133	0,29787
0,220	0,03801	0,33794	0,33452	0,33072	0,32691
0,240	0,04524	0,40217	0,39810	0,39358	0,38905
0,250	0,04909	0,43639	0,43197	0,42706	0,42215
0,260	0,05309	0,47200	0,46722	0,46191	0,45660
0,280	0,06158	0,54740	0,54186	0,53370	0,52955
0,300	0,07069	0,62840	0,62204	0,61497	0,60790
0,320	0,08043	0,71498	0,70774	0,69970	0,69165
0,340	0,09079	0,80714	0,79897	0,78989	0,78081
0,360	0,10179	0,90489	0,89573	0,88555	0,87537
0,380	0,11341	1,00823	0,99802	0,98668	0,97534
0,400	0,12566	1,11715	1,10584	1,09327	1,08071
0,420	0,13854	1,23166	1,21919	1,20533	1,19148
0,450	0,15904	1,41389	1,39958	1,38368	1,36777
0,480	0,18096	1,60870	1,59241	1,57431	1,55622
0,500	0,19635	1,74555	1,72788	1,70824	1,68861
0,530	0,22062	1,96150	1,94144	1,91958	1,89732
0,560	0,24630	2,18961	2,16745	2,14282	2,11819
0,600	0,28274	2,51359	2,48814	2,45987	2,43159
0,630	0,31172	2,77123	2,74318	2,71200	2,68083
0,670	0,35257	3,13430	3,10257	3,06732	3,03206
0,700	0,38481	3,42127	3,38664	3,34815	3,30967
0,750	0,44179	3,92748	3,88772	3,84354	3,79936
0,800	0,50265	4,46860	4,42336	4,37310	4,32283
0,850	0,56745	5,04463	4,99356	4,93682	4,88007
0,900	0,63617	5,65557	5,59832	5,53479	5,47108
0,950	0,70882	6,30143	6,23763	6,16675	6,09587

Таблица 128

и сплавов диаметром 0,10—30,00 *мм*

при удельном весе

8,50	8,40	2,70	2,80	4,54	7,13
ЛС59-1, алюмель	Л62 Бр. КМц3-1, манганин, нихром, ферронихром	алюминий альмаг АМг, АМг5	дуралюмины Д3П, Д1П, Д16П	титан	цинк
0,06676	0,06597	0,02121	0,02199	0,03566	0,05600
0,07360	0,07274	0,02338	0,02425	0,03931	0,06174
0,08078	0,07983	0,02566	0,02661	0,04315	0,06776
0,08829	0,08725	0,02804	0,02908	0,04716	0,07406
0,09613	0,09500	0,03054	0,03167	0,05135	0,08064
0,11282	0,11150	0,03584	0,03717	0,06026	0,09464
0,13085	0,12931	0,04156	0,04310	0,06989	0,10976
0,15021	0,14844	0,04771	0,04948	0,08023	0,12600
0,17090	0,16889	0,05429	0,05630	0,09128	0,14336
0,19293	0,19066	0,06128	0,06355	0,10305	0,16184
0,21630	0,21375	0,06871	0,07125	0,11553	0,18144
0,24010	0,23816	0,07655	0,07939	0,12872	0,20216
0,26704	0,26389	0,08482	0,08796	0,14263	0,22400
0,29441	0,29094	0,09352	0,09698	0,15725	0,24696
0,32311	0,31931	0,10264	0,10644	0,17258	0,27103
0,38453	0,38001	0,12215	0,12667	0,20538	0,32255
0,41724	0,41233	0,13254	0,13744	0,22286	0,34999
0,45128	0,44598	0,14335	0,14866	0,24104	0,37855
0,52339	0,51723	0,16625	0,17241	0,27955	0,43903
0,60083	0,59376	0,19085	0,19792	0,32091	0,50399
0,68361	0,67557	0,21715	0,22519	0,36513	0,57343
0,77173	0,76265	0,24514	0,25422	0,41220	0,64735
0,86519	0,85502	0,27483	0,28501	0,46216	0,72575
0,96400	0,95266	0,30621	0,31755	0,51489	0,80862
1,06814	1,05558	0,33929	0,35186	0,57051	0,89598
1,17763	1,16377	0,37407	0,38792	0,62899	0,98782
1,35187	1,33596	0,42942	0,44532	0,72206	1,13398
1,53812	1,55003	0,48858	0,50668	0,82154	1,29021
1,66897	1,64934	0,53014	0,54978	0,89143	1,39997
1,87526	1,85319	0,59567	0,61773	1,00161	1,57301
2,09356	2,06893	0,66501	0,68964	1,11821	1,75613
2,40331	2,37504	0,76341	0,76168	1,28366	2,01596
2,64966	2,61849	0,84166	0,87283	1,41523	2,22260
2,99680	2,96155	0,95193	0,98718	1,60065	2,51379
3,27118	3,23270	1,03908	1,07757	1,74720	2,74395
3,75519	3,71101	1,19282	1,23700	2,00571	3,14994
4,27257	4,22230	1,35717	1,40743	2,28205	3,58393
4,82333	4,76658	1,53212	1,58886	2,57622	4,04592
5,40777	5,34385	1,71767	1,78128	2,88822	4,53591
6,02499	5,95410	1,91382	1,98470	3,21805	5,05390

Диаметр *мм*	Сечение *мм²*	Вес 1 *км* проволоки, *кг*, 8,89: медь; Бр. Х0,5; сплавы ТП, ТБ: мельхиор, константан, копель; никель Н1; НМц2,5	8,80: Бр. Т; Бр. Кд1; Бр. ОФ6,5 0,4; Бр. ОЦ4-3, никель НК0,2; монель-металл	8,70: нейзильбер, хромель	8,60: Л68
1,00	0,78540	6,98219	6,91150	6,83296	6,75442
1,05	0,86590	7,69796	7,61993	7,53334	7,44675
1,10	0,95033	8,44845	8,36292	8,26788	8,17285
1,15	1,03869	9,23395	9,14046	9,03659	8,93273
1,20	1,13097	10,05435	9,95257	9,83947	9,72637
1,30	1,32732	11,79990	11,68044	11,54771	11,41498
1,40	1,53938	13,68509	13,54655	13,39261	13,23867
1,50	1,76715	15,70993	15,55088	15,37417	15,19745
1,60	2,01062	17,87441	17,69345	17,49239	17,29133
1,70	2,26980	20,17853	19,97425	19,74727	19,52029
1,80	2,54469	22,62299	22,39327	22,13880	21,88433
1,90	2,83529	25,20570	24,95053	24,66700	24,38347
2,00	3,14159	27,92876	27,64602	27,33186	27,01770
2,10	3,46361	30,79146	30,47073	30,13337	29,78701
2,20	3,80133	33,79380	33,45168	33,07155	32,69141
2,40	4,52389	40,21741	39,81096	39,35787	38,90548
2,50	4,90874	43,63869	43,19690	42,70602	42,21515
2,60	5,30929	47,19960	46,72177	46,19084	45,65991
2,80	6,15752	54,74037	54,18619	53,57044	52,95469
3,00	7,06858	62,83971	62,20353	61,49668	60,78982
3,20	8,04248	71,49762	70,77380	69,96955	69,16530
3,40	9,07920	80,71411	79,89698	78,98906	78,08114
3,60	10,17876	90,48918	89,57309	88,55521	87,53734
3,80	11,34115	100,82282	99,80812	98,66800	97,53389
4,00	12,56637	111,71503	110,58106	109,32742	108,07079
4,20	13,85412	123,16583	121,91893	120,58349	119,14804
4,50	15,90431	141,38934	139,95795	138,36752	136,77709
4,80	18,09557	160,86965	159,21105	157,43149	155,62193
5,00	19,63495	174,55474	172,78760	170,82410	168,86061
5,30	22,06183	196,12971	194,14414	191,93796	189,73178
5,60	24,63009	218,96147	216,74476	214,28175	211,81874
6,00	28,27434	251,35887	248,81418	245,98674	243,15931
6,30	31,17245	277,12311	274,31759	276,20034	268,08310
6,70	35,25652	313,43049	310,25741	306,73176	303 20610
7,00	38,48451	342,12729	338,66369	334,81524	330,96679
7,50	44,17865	392,74817	388,77209	384,35423	379,93636
8,00	50,26548	446,86014	442,33625	437,30970	432,28315
8,50	56,74502	504,46320	499,35615	493,68165	488,00715
9,00	63,61725	565,55736	559,83181	553,47009	547,10836
9,50	70,88218	613,14261	623,76322	616,67509	609,58678
10,0	78,53982	698,21897	691,15038	683,29640	675,44242
10,5	86,59015	769,78641	761,99330	753,33428	744,67527

Продолжение табл. 128

при удельном весе

8,50	8,40	2,70	2,80	4,54	7,13
ЛС59-1, алюмель	Л62 Бр. КМц3-1, манганин, нихром, ферронихром	алюминий, альмаг, АМг, АМг5	дуралюмины Д3П, Д1П, Д16П	титан	цинк
6,67588	6,59734	2,12058	2,19911	3,56571	5,59989
7,36016	7,27357	2,33793	2,42452	3,93119	6,17588
8,07762	7,98279	2,56590	2,66093	4,31451	6,77587
8,82886	8,72499	2,80446	2,90833	4,71565	7,40585
9,61327	9,50018	3,05363	3,16673	5,13462	8,06384
11,28224	11,14951	3,58377	3,71650	6,02605	9,46381
13,08473	12,93079	4,15633	4,31027	6,98879	10,97578
15,02074	14,84403	4,77129	4,94851	8,02284	12,59975
17,09026	16,88920	5,42867	5,62973	9,12821	14,33572
19,29331	19,06653	6,12846	6,35544	10,30490	16,18368
21,62987	21,37540	6,87066	7,12513	11,55289	18,14364
24,09994	23,81641	7,65528	7,93880	12,87220	20,21560
26,70354	26,38938	8,48230	8,79646	14,26283	22,39956
29,44065	29,09429	9,35174	9,69810	15,72477	24,69551
32,31128	31,93115	10,26358	10,64372	17,25803	27,10346
38,45309	38,00070	12,21451	12,66690	20,53848	32,25536
41,72428	41,23340	13,25359	13,74447	22,28567	34,99931
45,12808	44,59805	14,33509	14,86602	24,10418	37,85525
52,33893	51,72318	16,62531	17,24106	27,95515	43,90313
60,08796	59,37610	19,08518	19,79203	32,09137	50,39900
68,36106	67,55681	21,71469	22,51894	36,51285	57,34286
77,17322	76,26530	24,51385	25,42177	41,21958	64,73472
86,51946	85,50159	27,48265	28,50053	46,21157	72,57456
96,39977	95,23566	30,62110	31,75522	51,48882	80,86240
106,81415	105,55751	33,92920	35,18584	57,05132	89,59822
117,76260	116,37716	37,40694	38,79239	62,89908	98,78204
135,18686	133,59623	42,94164	44,53208	72,20558	113,39775
153,81237	155,00282	48,85805	50,66761	82,15390	129,02144
166,89711	164,93361	53,01438	54,97787	89,14269	139,99722
187,52559	185,31941	59,56595	61,77314	106,16073	157,30088
209,35573	206,89273	66,50123	68,96424	111,82059	175,61252
210,33123	237,50444	76,34071	76,16815	128,36550	201,59603
264,96585	261,84861	84,16562	87,28287	141,52294	222,25959
299,68045	296,15480	95,19261	98,71827	160,06462	251,37901
327,11834	323,26988	103,90818	107,75663	174,71968	274,39456
375,51850	371,10063	119,28235	123,70021	200,57106	314,99375
427,25660	422,23005	135,71680	140,74335	228,20529	358,39289
482,33265	476,65815	153,21155	158,88665	257,62238	404,59197
534,77664	534,38491	171,76658	178,12830	288,82232	543,59100
602,49857	585,41035	191,38190	198,47012	321,80512	505,38997
667,58814	659,73446	212,05750	219,91149	356,57077	559,98889
736,01625	727,35724	233,79340	242,45241	393,11927	617,38775

Диаметр *мм*	Сечение *мм²*	Вес 1 *км* проволоки, *кг*, 8,89: медь; Бр. Х0,5; сплавы ТП, ТБ; мельхиор, константан, копель; никель Н1; НМц2,5	8,80: Бр. Т; Бр. Кд1; Бр. ОФ6,5-0,4; Бр. ОЦ4-3, никель НК0-2; монель-металл	8,70: нейзильбер, хромель	8,60: Л68
11,0	95,03318	844,84495	836,29196	826,78865	817,28533
11,5	103,86891	923,39458	914,04638	903,65949	893,27260
12,0	113,09734	1005,43532	995,25656	983,94682	972,63709
12,5	122,71846	1090,96714	1079,92247	1067,65063	1055,37878
13,0	132,73229	1179,99005	1168,04414	1154,77091	1141,49769
13,5	143,13882	1272,50407	1259,62157	1245,30769	1230,99381
14,0	153,93804	1368,50918	1354,65475	1339,26095	1323,86714
14,5	165,12996	1468,00538	1453,14368	1436,63069	1420,11769
15,0	176,71459	1570,99267	1555,08836	1537,41690	1519,74544
15,5	188,69141	1677,46663	1660,48440	1641,61526	1622,74612
16,0	201,06193	1787,44055	1769,34498	1749,23878	1729,13259
16,5	213,82465	1900,90114	1881,65692	1860,27446	1838,89199
17,0	226,98007	2017,85281	1997,42461	1974,72660	1952,02859
17,5	240,52819	2138,29559	2116,64805	2092,59524	2068,54242
18,0	254,46900	2262,22945	2239,32724	2213,88033	2188,43343
18,5	268,80252	2389,65441	2365,46218	2338,58193	2311,70168
19,0	283,52874	2520,57046	2495,05288	2466,70000	2438,34713
19,5	298,64765	2654,97762	2628,09933	2598,23456	2568,36980
20,0	314,15927	2792,87587	2764,60153	2733,18561	2701,76968
20,5	330,06358	2934,26520	2904,55948	2871,55312	2838,54676
21,0	346,36059	3079,14564	3047,97318	3013,33712	2978,70107
21,5	363,05030	3227,51716	3194,84263	3158,53760	3122,23257
22,0	380,13271	3379,37978	3345,16784	3307,15457	3269,14130
22,5	397,60782	3534,73351	3498,94881	3459,18803	3419,42724
23,0	415,47563	3693,57832	3656,18552	3614,63795	3573,09039
23,5	433,73613	3855,91423	3816,87798	3773,50437	3730,13075
24,0	452,38934	4021,74123	3981,02619	3935,78726	3890,54832
24,5	471,43525	4191,05934	4148,63016	4101,48664	4054,34312
25,0	490,87385	4363,86853	4319,68988	4270,60250	4221,51511
25,5	510,70515	4540,16882	4494,20536	4443,13484	4392,06432
26,0	530,92916	4719,96020	4672,17657	4619,08366	4565,99074
26,5	551,54586	4903,24268	4853,60355	4798,44896	4743,29438
27,0	572,55526	5090,01625	5038,48628	4981,23075	4923,97523
27,5	593,95736	5280,28092	5226,82476	5167,42902	5108,03329
28,0	615,75216	5474,03668	5418,61898	5357,04377	5295,46855
28,5	637,93966	5671,28353	5613,86896	5550,07500	5486,28103
29,0	660,51983	5872,02149	5812,57471	5746,52272	5680,47074
29,5	683,49275	6076,25054	6014,73619	5946,38692	5878,03764
30,0	706,85834	6283,97068	6220,35343	6149,66759	6078,98176

Продолжение табл. 128

при удельном весе

8,50	8,40	2,70	2,80	4,54	7,13
ЛС59-1, алюмель	Л62 Бр. КМц3-1, манганин, нихром, ферронихром	алюминий, альмаг, АМг, АМг5	дуралюмины Д3П, Д1П. Д16П	титан	цинк
807,78201	798,27869	256,58928	266,09290	431,45063	677,58656
882,88571	872,49882	280,44605	290,83294	471,56484	740,58531
961,32736	950,01762	305,36281	316,67254	513,46191	806,38401
1043,10694	1030,83509	331,33985	343,61170	557,14182	874,98264
1128,22446	1114,95123	358,37718	371,65041	602,60459	946,38122
1216,67993	1202,36605	386,47480	400,78868	649,85022	1020,57955
1308,47334	1293,07954	415,63271	431,02651	698,87870	1097,57823
1403,60469	1387,09170	445,85090	462,36389	749,69004	1177,37664
1502,07398	1484,40252	477,12938	494,80084	805,28422	1259,97500
1603,87698	1585,00784	509,46680	528,33595	856,65900	1345,36975
1709,02640	1688,92020	542,86721	562,97340	912,82116	1433,57155
1817,50953	1796,12706	577,32656	598,70902	970,76391	1524,56975
1929,33059	1906,63258	612,84619	635,54419	1030,48951	1618,36789
2044,48960	2020,43678	649,42611	673,47893	1091,99797	1714,96598
2162,98653	2137,53963	687,06631	712,51321	1155,28928	1814,36400
2284,82143	2257,94118	725,76681	752,64706	1220,36345	1916,56197
2409,99426	2381,64138	765,52759	793,88046	1287,22046	2021,55989
2538,50503	2508,64027	806,34866	836,21342	1355,86033	2129,35775
2670,35375	2638,93783	848,23002	879,64594	1426,28306	2239,95556
2805,54040	2772,53405	891,17166	924,17802	1498,48864	2353,35330
2944,06501	2909,42895	935,17359	969,80965	1572,47707	2469,55100
3085,92754	3049,62251	980,23581	1016,54084	1648,24836	2588,54863
3231,12803	3193,11476	1026,35831	1064,37159	1725,80250	2710,34625
3379,66646	3339,90568	1073,54111	1113,30189	1805,13950	2834,94375
3531,54283	3489,99527	1121,78419	1163,33176	1886,25935	2962,34122
3686,75714	3643,38353	1171,08756	1214,46118	1969,16205	3092,53864
3845,30939	3800,07046	1221,45122	1266,69015	2053,84760	3225,53599
4007,19959	3960,05607	1272,87516	1320,01869	2140,31602	3361,33330
4172,42773	4123,34034	1325,35940	1374,44678	2228,56728	3499,93055
4340,99381	4289,92329	1378,90392	1429,97443	2318,60140	3641,32775
4512,89783	4459,80491	1433,50872	1486,60164	2410,41837	3785,52488
4688,13979	4632,98521	1489,17382	1544,32840	2504,01820	3932,52197
4866,71970	4809,46418	1545,89920	1603,15473	2599,40088	4082,31900
5046,63755	4989,24182	1603,68487	1663,08061	2696,56641	4234,91597
5233,89333	5172,31812	1662,53082	1724,10604	2795,51478	4390,31288
5422,48707	5358,69310	1722,43707	1786,23103	2896,24603	4548,50974
5614,41875	5548,36677	1783,40360	1849,45559	2998,76013	4709,50655
5809,68837	5741,33909	1845,43042	1913,77907	3103,06708	4873,30330
6008,29502	5937,61009	1908,51753	1979,20336	3209,13688	5039,89999

Таблица 129

Сечение и вес 1 *км* проволоки из меди и алюминия

Диаметр *мм*	Сечение *мм²*	Вес, *кг/км*	
		меди	алюминия
0,00	0,00000	0,00000	0,00000
0,01	0,00008	0,00070	0,00021
0,02	0,00031	0,00279	0,00084
0,03	0,00071	0,00628	0,00191
0,04	0,00126	0,01117	0,00339
0,05	0,00196	0,01746	0,00530
0,06	0,00283	0,02514	0,00763
0,07	0,00385	0,03421	0,01039
0,08	0,00503	0,04469	0,01357
0,09	0,00636	0,05656	0,01718
0,10	0,00785	0,06982	0,02121
0,11	0,00950	0,08448	0,02566
0,12	0,01131	0,10054	0,03054
0,13	0,01327	0,11800	0,03584
0,14	0,01539	0,13685	0,04156
0,15	0,01767	0,15710	0,04771
0,16	0,02011	0,17874	0,05129
0,17	0,02270	0,20179	0,06128
0,18	0,02545	0,22622	0,06871
0,19	0,02835	0,25206	0,07655
0,20	0,03142	0,27929	0,08482
0,21	0,03464	0,30791	0,09352
0,22	0,03801	0,33794	0,10264
0,23	0,04155	0,36936	0,11218
0,24	0,04524	0,40217	0,12215
0,25	0,04909	0,43639	0,13254
0,26	0,05309	0,47200	0,14335
0,27	0,05726	0,50900	0,15459
0,28	0,06158	0,54740	0,16625
0,29	0,06605	0,58720	0,17834
0,30	0,07069	0,62840	0,19085
0,31	0,07548	0,67099	0,20379
0,32	0,08042	0,71498	0,21715
0,33	0,08553	0,76036	0,23093
0,34	0,09079	0,80714	0,24514
0,35	0,09621	0,85532	0,25977
0,36	0,10179	0,90489	0,27483
0,37	0,10752	0,95586	0,29031
0,38	0,11341	1,00823	0,30621
0,39	0,11946	1,06199	0,32254
0,40	0,12566	1,11715	0,33929
0,41	0,13203	1,17371	0,35647
0,42	0,13854	1,23166	0,37407
0,43	0,14522	1,29101	0,39209
0,44	0,15205	1,35175	0,41054
0,45	0,15904	1,41389	0,42942
0,46	0,16619	1,47743	0,44871
0,47	0,17349	1,54237	0,46844

Продолжение табл. 129

Диаметр *мм*	Сечение *мм²*	Вес *кг/км*	
		меди	алюминия
0,48	0,18096	1,60870	0,48858
0,49	0,18857	1,67642	0,50915
0,50	0,19635	1,74555	0,53014
0,51	0,20428	1,81607	0,55156
0,52	0,21237	1,88798	0,57340
0,53	0,22062	1,96130	0,59567
0,54	0,22902	2,03601	0,61836
0,55	0,23758	2,11211	0,64147
0,56	0,24630	2,18961	0,66501
0,57	0,25518	2,26851	0,68897
0,58	0,26421	2,34881	0,71336
0,59	0,27340	2,43050	0,73817
0,60	0,28274	2,51359	0,76341
0,61	0,29225	2,59807	0,78907
0,62	0,30191	2,68395	0,81515
0,63	0,31172	2,77123	0,84166
0,64	0,32170	2,85990	0,86859
0,65	0,33183	2,94998	0,89594
0,66	0,34212	3,04144	0,92372
0,67	0,35257	3,13430	0,95193
0,68	0,36317	3,22856	0,98055
0,69	0,37393	3,32422	1,00961
0,70	0,38485	3,42127	1,03908
0,71	0,39592	3,51972	1,06898
0,72	0,40715	3,61957	1,09931
0,73	0,41854	3,72081	1,13005
0,74	0,43008	3,82345	1,16123
0,75	0,44179	3,92748	1,19282
0,76	0,45365	4,03291	1,22484
0,77	0,46566	4,13974	1,25729
0,78	0,47784	4,24796	1,29016
0,79	0,49017	4,35758	1,32345
0,80	0,50265	4,46860	1,35717
0,81	0,51530	4,58101	1,39131
0,82	0,52810	4,69482	1,42587
0,83	0,54106	4,81003	1,46086
0,84	0,55418	4,92663	1,49628
0,85	0,56745	5,04463	1,53212
0,86	0,58088	5,16403	1,56838
0,87	0,59447	5,28482	1,60506
0,88	0,60821	5,40701	1,64217
0,89	0,62211	5,53059	1,67971
0,90	0,63617	5,65557	1,71767
0,91	0,65039	5,78195	1,75605
0,92	0,66476	5,90973	1,79485
0,93	0,67929	6,03890	1,83409
0,94	0,69398	6,16946	1,87374
0,95	0,70882	6,30143	1,91382
0,96	0,72382	6,43479	1,95432
0,97	0,73898	6,56951	1,99525
0,98	0,75430	6,70569	2,03660

Продолжение табл. 129

Диаметр *мм*	Сечение *мм²*	Вес *кг/км*	
		меди	алюминия
0,99	0,76977	6,84324	2,07838
1,00	0,78540	6,98219	2,12058
1,01	0,80118	7,12253	2 16320
1,02	0,81713	7,26427	2,20625
1,03	0,83323	7,40741	2.24972
1,04	0,84949	7,55194	2,29361
1,05	0,86590	7,69786	2,33793
1,06	0,88247	7,84519	2,38268
1,07	0,89920	7,99391	2,42785
1,08	0,91609	8,14403	2,47344
1,09	0,93313	8,29554	2,51946
1,10	0,95033	8,44845	2,56590
1,11	0,96769	8,60276	2,61276
1,12	0,98520	8,75846	2,66005
1,13	1,00287	8,91556	2,70776
1,14	1,02070	9,07405	2,75590
1,15	1,03869	9,23395	2,80446
1,16	1,05683	9,39523	2,85345
1,17	1,07513	9,55792	2 90286
1,18	1,09359	9,72200	2,95269
1,19	1,11220	9,88748	3,00295
1,20	1,13097	10,05435	3,05363
1,21	1,14990	10,22262	3,10473
1,22	1,16899	10,39229	3,15626
1,23	1,18823	10,56335	3,20822
1,24	1,20763	10,73581	3,26060
1,25	1,22718	10,90967	3,31340
1,26	1,24690	11,08492	3,36662
1,27	1,26677	11,26157	3,42028
1,28	1,28680	11,43962	3,47435
1,29	1,30698	11,61906	3,52885
1,30	1,32732	11,79990	3,58377
1,31	1,34782	11,98214	3,63912
1,32	1,36848	12,16577	3,69489
1,33	1,38929	12,35080	3,75109
1,34	1,41026	12,53722	3,80770
1,35	1,43139	12,72504	3,86475
1,36	1,45267	12,91424	3,92222
1,37	1,47411	13,10484	3,98011
1,38	1,49571	13,29686	4,03842
1,39	1,51747	13,49029	4,09716
1,40	1,53938	13,68509	4,15633
1,41	1,56145	13,88129	4,21592
1,42	1,58368	14,07889	4,27593
1,43	1,60606	14,27788	4,33636
1,44	1,62860	14,47827	4,39722
1,45	1,65130	14,68005	4,45851
1,46	1,67415	14,88324	4,52022
1,47	1,69717	15,08781	4,58235
1,48	1,72034	15,29379	4,64491
1,49	1,74366	15,50116	4,70789

Продолжение табл. 129

Диаметр *мм*	Сечение *мм²*	Вес *кг/км*	
		меди	алюминия
1,50	1,76715	15,70993	4,77129
1,51	1,79079	15,92009	4,83512
1,52	1,81458	16,13165	4,89938
1,53	1,83854	16,34461	4,96405
1,54	1,86265	16,55896	5,02916
1,55	1,88692	16,77471	5,09468
1,56	1,91134	16,99186	5,16063
1,57	1,93593	17,21040	5,22701
1,58	1,96067	17,43034	5,29380
1,59	1,98557	17,65167	5,36103
1,60	2,01062	17,87441	5,42867
1,61	2,03583	18,09853	5,49674
1,62	2,06120	18,32406	5,56524
1,63	2,08672	18,55098	5,63416
1,64	2,11241	18,77930	5,70350
1,65	2,13825	19,00901	5,77327
1,66	2,16424	19,24012	5,84346
1,67	2,19040	19,47263	5,91407
1,68	2,21671	19,70653	5,98511
1,69	2,24318	19,94183	6,05657
1,70	2,26980	20,17853	6,12846
1,71	2,29658	20,41662	6,20077
1,72	2,32352	20,65611	6,27351
1,73	2,35062	20,89700	6,34667
1,74	2,37787	21,13928	6,42025
1,75	2,40528	21,38296	6,49426
1,76	2,43285	21,62803	6,56869
1,77	2,46057	21,87450	6,64355
1,78	2,48846	22,12237	6,71883
1,79	2,51649	22,37163	6,79453
1,80	2,54469	22,62229	6,87066
1,81	2,57304	22,87435	6,94722
1,82	2,60155	23,12781	7,02419
1,83	2,63022	23,38265	7,10159
1,84	2,65904	23,63890	7,17942
1,85	2,68803	23,89654	7,25767
1,86	2,71716	24,15558	7,33634
1,87	2,74646	24,41602	7,41544
1,88	2,77591	24,67785	7,49496
1,89	2,80552	24,94108	7,57491
1,90	2,83529	25,20570	7,65528
1,91	2,86521	25,47173	7,73607
1,92	2,89529	25,73914	7,81729
1,93	2,92553	26,00796	7,89893
1,94	2,95592	26,27817	7,98100
1,95	2,98648	26,54978	8,06349
1,96	3,01719	26 82278	8,14640
1,97	3,04805	27,09718	8,22974
1,98	3,07907	27 37298	8,31350
1,99	3,11026	27,65017	8,39769
2,00	3,14159	27,92876	8,48230

Продолжение табл. 129

Диаметр *мм*	Сечение *мм²*	Вес, *кг/км*	
		меди	алюминия
2,01	3,17309	28,20874	8,56734
2,02	3,20474	28,49013	8,65279
2,03	3,23655	28,77291	8,73868
2,04	3,26851	29,05708	8,82499
2,05	3,30064	29,34265	8,91172
2,06	3,33292	29,62962	8,99887
2,07	3,36535	29,91798	9,08645
2,08	3,39795	30,20775	9,17446
2,09	3,43070	30,49890	9,26288
2,10	3,46361	30,79146	9,35174
2,11	3,49667	31,08541	9,44101
2,12	3,52989	31,38075	9,53071
2,13	3,56327	31,67750	9,62084
2,14	3,59681	31,97564	9,71139
2,15	3,63050	32,27517	9,80236
2,16	3,66435	32,57610	9,89375
2,17	3,69836	32,87843	9,98558
2,18	3,73253	33,18216	10,07782
2,19	3,76685	33,48728	10,17049
2,20	3,80133	33,79380	10,26358
2,21	3,83596	34,10171	10,35710
2,22	3,87076	34,41102	10,45104
2,23	3,90571	34,72173	10,54541
2,24	3,94081	35,03383	10,64020
2,25	3,97608	35,34734	10,73541
2,26	4,01150	35,66223	10,83105
2,27	4,04708	35,97853	10,92711
2,28	4,08281	36,29621	11,02360
2,29	4,11871	36,61530	11,12051
2,30	4,15476	36,93578	11,21784
2,31	4,19096	37,25766	11,31560
2,32	4,22733	37,58094	11,41378
2,33	4,26385	37,90561	11,51239
2,34	4,30053	38,23168	11,61142
2,35	4,33736	38,55914	11,71088
2,36	4,37435	38,88800	11,81075
2,37	4,41150	39,21826	11,91106
2,38	4,44881	39,54992	12,01179
2,39	4,48627	39,88297	12,11294
2,40	4,52389	40,21741	12,21451
2,41	4,56167	40,55326	12,31651
2,42	4,59961	40,89050	12,41894
2,43	4,63770	41,22913	12,52178
2,44	4,67595	41,56916	12,62506
2,45	4,71435	41,91059	12,72875
2,46	4,75292	42,25342	12,83287
2,47	4,79164	42,59764	12,93742
2,48	4,83051	42,94326	13,04238
2,49	4,86955	43,29027	13,14778
2,50	4,90874	43,63869	13,25359
2,51	4,94809	43,98849	13,35983

Продолжение табл. 129

Диаметр *мм*	Сечение *мм²*	Вес, *кг/км*	
		меди	алюминия
2,52	4,98759	44,33969	13,46650
2,53	5,02726	44,69230	13,57359
2,54	5,06707	45,04629	13,68110
2,55	5,10705	45,40169	13,78904
2,56	5,14719	45,75848	13,89740
2,57	5,18748	46,11666	14,00619
2,58	5,22792	46,47625	14,11540
2,59	5,26853	46,83723	14,22503
2,60	5,30929	47,19960	14,33509
2,61	5,35021	47,56337	14,44557
2,62	5,39129	47,92854	14,55648
2,63	5,43252	48,29510	14,66781
2,64	5,47391	48,66307	14,77956
2,65	5,51546	49,03243	14,89174
2,66	5,55716	49,40318	15,00434
2,67	5,59903	49,77533	15,11737
2,68	5,64104	50,14888	15,23082
2,69	5,68322	50,52382	15,34469
2,70	5,72555	50,90016	15,45899
2,71	5,76804	51,27790	15,57372
2,72	5,81069	51,65703	15,68886
2,73	5,85349	52,03756	15,80443
2,74	5,89646	52,41949	15,92043
2,75	5,93957	52,80281	16,03685
2,76	5,98285	53,18753	16,15369
2,77	6,02628	53,57364	16,27096
2,78	6,06987	53,96115	16,38865
2,79	6,11362	54,35006	16,50677
2,80	6,15752	54,74037	16,62531
2,81	6,20158	55,13207	16,74427
2,82	6,24580	55,52517	16,86366
2,83	6,29018	55,91966	16,98347
2,84	6,33471	56,31555	17,10371
2,85	6,37940	56,71284	17,22437
2,86	6,42424	57,11152	17,34546
2,87	6,46925	57,51160	17,46696
2,88	6,51441	57,91307	17,58890
2,89	6,55972	58,31595	17,71125
2,90	6,60520	58,72022	17,83404
2,91	6,65083	59,12588	17,95724
2,92	6,69662	59,53294	18,08087
2,93	6,74256	59,94140	18,20492
2,94	6,78867	60,35125	18,32940
2,95	6,83493	60,76251	18,45430
2,96	6,88135	61,17515	18,57963
2,97	6,92792	61,58920	18,70538
2,98	6,97465	62,00464	18,83155
2,99	7,02154	62,42147	18,95815
3,00	7,06858	62,83971	19,08518
3,01	7,11579	63,25933	19,21262
3,02	7,16315	63,68036	19,34049

Продолжение табл. 129

Диаметр *мм*	Сечение *мм²*	Вес, *кг/км*	
		меди	алюминия
3,03	7,21066	64,10279	19,46879
3,04	7,25834	64,52660	19,59751
3,05	7,30617	64,95182	19,72665
3,06	7,35415	65,37843	19,85622
3,07	7,40230	65,80644	19,98621
3,08	7,45060	66,23584	20,11662
3,09	7,49906	66,66665	20,24746
3,10	7,54768	67,09884	20,37873
3,11	7,59645	67,53244	20,51041
3,12	7,64538	67,96743	20,64253
3,13	7,69447	68,40381	20,77506
3,14	7,74371	68,84160	20,90802
3,15	7,79311	69,28078	21,04141
3,16	7,84267	69,72135	21,17521
3,17	7,89239	70,16333	21,30945
3,18	7,94226	70,60669	21,44410
3,19	7,99229	71,05146	21,57918
3,20	8,04248	71,49762	21,71469
3,21	8,09282	71,94518	21,85062
3,22	8,14332	72,39414	21,98697
3,23	8,19398	72,84449	22,12375
3,24	8,24480	73,29623	22,26095
3,25	8,29577	73,74938	22,39857
3,26	8,34690	74,20392	22,53662
3,27	8,39818	74,65986	22,67510
3,28	8,44963	75,11719	22,81399
3,29	8,50123	75,57592	22,95332
3,30	8,55299	76,03605	23,09306
3,31	8,60490	76,49757	23,23323
3,32	8,65697	76,96049	23,37383
3,33	8,70920	77,42480	23,51484
3,34	8,76159	77,89052	23,65629
3,35	8,81413	78,35762	23,79815
3,36	8,86683	78,82613	23,94044
3,37	8,91969	79,29603	24,08316
3,38	8,97270	79,76733	24,22630
3,39	9,02587	80,24002	24,36986
3,40	9,07920	80,71411	24,51385
3,41	9,13269	81,18960	24,65826
3,42	9,18633	81,66648	24,80309
3,43	9,24013	82,14476	24,94835
3,44	9,29409	82,62444	25,09404
3,45	9,34820	83,10551	25,24014
3,46	9,40247	83,58798	25,38668
3,47	9,45690	84,07185	25,53363
3,48	9,51149	84,55711	25,68101
3,49	9,56623	85,04377	25,82882
3,50	9,62113	85,53182	25,97704
3,51	9,67618	86,02128	26,12570
3,52	9,73140	86,51212	26,27477
3,53	9,78677	87,00437	26,42427

Продолжение табл. 129

Диаметр *мм*	Сечение *мм²*	Вес, *кг/км*	
		меди	алюминия
3,54	9,84230	87,49801	26,57420
3,55	9,89798	87,99305	26,72455
3,56	9,95382	88,48948	26,87532
3,57	10,00982	88,98731	27,02652
3,58	10,06598	89,48654	27,17814
3,59	10,12229	89,98716	27,33018
3,60	10,17876	90,48918	27,48265
3,61	10,23539	90,99259	27,63555
3,62	10,29217	91,49741	27,78886
3,63	10,34911	92,00362	27,94261
3,64	10,40621	92,51122	28,09677
3,65	10,46347	93,02022	28,25136
3,66	10,52088	93,53062	28,40638
3,67	10,57845	94,04241	28,56181
3,68	10,63618	94,55561	28,71768
3,69	10,69406	95,07019	28,87396
3,70	10,75210	95,58618	29,03067
3,71	10,81030	96,10356	29,18781
3,72	10,86865	96,62233	29,34537
3,73	10,92717	97,14251	29,50335
3,74	10,98584	97,66408	29,66176
3,75	11,04466	98,18704	29,82059
3,76	11,10365	98,71140	29,97984
3,77	11,16279	99,23716	30,13952
3,78	11,22208	99,76432	30,29962
3,79	11,28154	100,29287	30,46015
3,80	11,34115	100,82282	30,62110
3,81	11,40092	101,35416	30,78248
3,82	11,46084	101,88690	30,94428
3,83	11,52093	102,42104	31,10650
3,84	11,58117	102,95658	31,26915
3,85	11,64156	103,49351	31,43222
3,86	11,70212	104,03183	31,59572
3,87	11,76283	104,57156	31,75964
3,88	11,82370	105,11268	31,92398
3,89	11,88472	105,65519	32,08875
3,90	11,94591	106,19910	32,25395
3,91	12,00725	106,74441	32,41956
3,92	12,06874	107,29112	32,58560
3,93	12,13040	107,83922	32,75207
3,94	12,19221	108,38872	32,91896
3,95	12,25417	108,93961	33,08627
3,96	12,31630	109,49191	33,25401
3,97	12,37858	110,04559	33,42217
3,98	12,44102	110,60068	33,59076
3,99	12,50362	111,15716	33,75977
4,00	12,56637	111,71503	33,92920
4,01	12,62928	112,27431	34,09906
4,02	12,69235	112,83498	34,26934
4,03	12,75557	113,39704	34,44004
4,04	12,81895	113,96051	34,61118

Продолжение табл. 129

Диаметр *мм*	Сечение *мм²*	Вес, *кг/км*	
		меди	алюминия
4,05	12,88249	114,52537	34,78273
4,06	12,94619	115,09162	34,95471
4,07	13,01004	115,65927	35,12711
4,08	13,07405	116,22832	35,29994
4,09	13,13822	116,79877	35,47319
4,10	13,20254	117,37061	35,64687
4,11	13,26702	117,94385	35,82097
4,12	13,33166	118,51848	35,99549
4,13	13,39646	119,09451	36,17044
4,14	13,46141	119,67194	36,34581
4,15	13,52652	120,25076	36,52160
4,16	13,59179	120,83098	36,69782
4,17	13,65721	121,41260	36,87447
4,18	13,72279	121,99561	37,05154
4,19	13,78853	122,58002	37,22903
4,20	13,85442	123,16583	37,40694
4,21	13,92048	123,75303	37,58528
4,22	13,98668	124,34163	37,76405
4,23	14,05305	124,93162	37,94324
4,24	14,11957	125,52301	38,12285
4,25	14,18625	126,11580	38,30289
4,26	14,25309	126,70999	38,48335
4,27	14,32009	127,30557	38,66423
4,28	14,38724	127,90254	38,84554
4,29	14,45455	128,50092	39,02728
4,30	14,52201	129,10069	39,20943
4,31	14,58963	129,70185	39,39201
4,32	14,65741	130,30442	39,57502
4,33	14,72535	130,90838	39,75845
4,34	14,79345	131,51373	39,94230
4,35	14,86170	132,12048	40,12658
4,36	14,93010	132,72863	40,31128
4,37	14,99867	133,33818	40,49641
4,38	15,06739	133,94912	40,68196
4,39	15,13627	134,56146	40,86793
4,40	15,20531	135,17519	41,05433
4,41	15,27450	135,79032	41,24116
4,42	15,34385	136,40685	41,42840
4,43	15,41336	137,02477	41,61607
4,44	15,48303	137,64409	41,80417
4,45	15,55285	138,26481	41,99269
4,46	15,62283	138,88692	42,18163
4,47	15,69296	139,51043	42,37100
4,48	15,76326	140,13534	42,56079
4,49	15,83371	140,76164	42,75100
4,50	15,90431	141,38934	42,94164
4,51	15,97508	142,01844	43,13271
4,52	16,04600	142,64893	43,32420
4,53	16,11708	143,28082	43,51611
4,54	16,18831	143,91410	43,70844
4,55	16,25971	144,54879	43,90120

Продолжение табл. 129

Диаметр *мм*	Сечение *мм²*	Вес, *кг/км*	
		меди	алюминия
4,56	16,33126	145,18486	44,09439
4,57	16,40296	145,82233	44,28800
4,58	16,47483	146,46120	44,48203
4,59	16,54685	147,10147	44,67649
4,60	16,61903	147,74313	44,87137
4,61	16,69136	148,38619	45,06667
4,62	16,76385	149,03065	45,26240
4,63	16,83650	149,67650	45,45856
4,64	16,90931	150,32375	45,65513
4,65	16,98227	150,97240	45,85213
4,66	17,05539	151,62244	46,04956
4,67	17,12867	152,27388	46,24741
4,68	17,20210	152,92671	46,44568
4,69	17,27570	153,58094	46,64438
4,70	17,34945	154,23657	46,84350
4,71	17,42335	154,89359	47,04305
4,72	17,49741	155,55201	47,24302
4,73	17,57163	156,21183	47,44341
4,74	17,64601	156,87304	47,64423
4,75	17,72055	157,53565	47,84547
4,76	17,79524	158,19966	48,04714
4,77	17,87009	158,86506	48,24923
4,78	17,94509	159,53186	48,45175
4,79	18,02025	160,20006	48,65469
4,80	18,09557	160,86965	48,85805
4,81	18,17105	161,54064	49,06184
4,82	18,24668	162,21302	49,26605
4,83	18,32248	162,88680	49,47068
4,84	18,39842	163,56198	49,67574
4,85	18,47453	164,23856	49,88123
4,86	18,55079	164,91653	50,08713
4,87	18,62721	165,59589	50,29347
4,88	18,70379	166,27666	50,50022
4,89	18,78052	166,95882	50,70740
4,90	18,85741	167,64237	50,91501
4,91	18,93446	168,32733	51,12304
4,92	19,01166	169,01368	51,33149
4,93	19,08902	169,70142	51,54036
4,94	19,16654	170,39056	51,74967
4,95	19,24422	171,08110	51,95939
4,96	19,32205	171,77304	52,16954
4,97	19,40004	172,46637	52,38011
4,98	19,47819	173,16110	52,59111
4,99	19,55649	173,85722	52,80253
5,00	19,63495	174,55474	53,01438
5,01	19,71357	175,25366	53,22665
5,02	19,79235	175,95397	53,43934
5,03	19,87128	176,65568	53,65246
5,04	19,95037	177,35879	53,86600
5,05	20,02962	178,06329	54,07997
5,06	20,10902	178,76919	54,29436

Продолжение табл. 129

Диаметр *мм*	Сечение *мм²*	Вес, *кг/км*	
		меди	алюминия
5,07	20,18858	179,47649	54,50917
5,08	20,26830	180,18518	54,72441
5,09	20,34817	180,89527	54,94007
5,10	20,42821	181,60675	55,15616
5,11	20,50840	182,31964	55,37267
5,12	20,58874	183,03391	55,58960
5,13	20,66924	183,74959	55,80696
5,14	20,74991	184,46666	56,02474
5,15	20,83072	185,18513	56,24295
5,16	20,91170	185,90499	56,46158
5,17	20,99283	186,62625	56,68064
5,18	21,07412	187,34891	56,90012
5,19	21,15556	188,07296	57,12002
5,20	21,23717	188,79841	57,34035
5,21	21,31893	189,52525	57,56110
5,22	21,40084	190,25348	57,78228
5,23	21,48292	190,98314	58,00388
5,24	21,56515	191,71417	58,22590
5,25	21,64754	192,44660	58,44835
5,26	21,73008	193,18043	58,67122
5,27	21,81278	193,91566	58,89452
5,28	21,89564	194,65228	59,11824
5,29	21,97866	195,39029	59,34238
5,30	22,06183	196,12971	59,56695
5,31	22,14517	196,87052	59,79195
5,32	22,22865	197,61273	60,01736
5,33	22,31230	198,35633	60,24320
5,34	22,39610	199,10133	60,46947
5,35	22,48006	199,84772	60,69616
5,36	22,56418	200,59552	60,92327
5,37	22,64845	201,34471	61,15081
5,38	22,73288	202,09529	61,37877
5,39	22,81747	202,84727	61,60716
5,40	22,90221	203,60065	61,83597
5,41	22,98711	204,35543	62,06520
5,42	23,07217	205,11160	62,29486
5,43	23,15739	205,86916	62,52494
5,44	23,24276	206,62813	62,75545
5,45	23,32829	207,38848	62,98638
5,46	23,41398	208,15025	63,21773
5,47	23,49982	208,91340	63,44951
5,48	23,58582	209,67795	63,68172
5,49	23,67198	210,44390	63,91434
5,50	23,75829	211,21124	64,14740
5,51	23,84477	211,97998	64,38087
5,52	23,93140	212,75011	64,61477
5,53	24,01818	213,52164	64,84909
5,54	24,10513	214,29457	65,08384
5,55	24,19223	215,06890	65,31901
5,56	24,27948	215,84462	65,55461
5,57	24,36690	216,62174	65,79063

Продолжение табл. 129

Диаметр *мм*	Сечение *мм²*	Вес, *кг/км*	
		меди	алюминия
5,58	24,45447	217,40025	66,02707
5,59	24,54220	218,18016	66,26394
5,60	24,63009	218,96147	66,50123
5,61	24,71813	219,74417	66,73895
5,62	24,80633	220,52827	66,97709
5,63	24,89469	221,31377	67,21566
5,64	24,98320	222,10066	67,45464
5,65	25,07187	222,88895	67,69406
5,66	25,16070	223,67864	67,93389
5,67	25,24969	224,46972	68,17415
5,68	25,33883	225,26220	68,41484
5,69	25,42813	226,05607	68,65595
5,70	25,51759	226,85134	68,89748
5,71	25,60720	227,64801	69,13944
5,72	25,69697	228,44607	69,38182
5,73	25,78690	229,24554	69,62463
5,74	25,87698	230,04639	69,86786
5,75	25,96723	230,84865	70,11151
5,76	26,05763	231,65230	70,35559
5,77	26,14818	232,45734	70,60009
5,78	26,23890	233,26379	70,84502
5,79	26,32977	234,07162	71,09037
5,80	26,42079	234,88086	71,33614
5,81	26,51198	235,69149	71,58234
5,82	26,60332	236,50352	71,82897
5,83	26,69482	237,31695	72,07601
5,84	26,78648	238,13177	72,32348
5,85	26,87829	238,94799	72,57138
5,86	26,97026	239,76560	72,81970
5,87	27,06239	240,58461	73,06844
5,88	27,15467	241,40502	73,31761
5,89	27,24711	242,22682	73,56720
5,90	27,33971	243,05002	73,81722
5,91	27,43247	243,87462	74,06766
5,92	27,52538	244,70061	74,31852
5,93	27,61845	245,52800	74,56981
5,94	27,71167	246,35679	74,82152
5,95	27,80506	247,18697	75,07366
5,96	27,89860	248,01855	75,32622
5,97	27,99230	248,85152	75,57920
5,98	28,08615	249,68590	75,83261
5,99	28,18016	250,52166	76,08644
6,00	28,27433	251,35883	76,34070
6,01	28,36866	252,19739	76,59538
6,02	28,46314	253,03735	76,85049
6,03	28,55778	253,87870	77,10602
6,04	28,65258	254,72145	77,36197
6,05	28,74754	255,56560	77,61835
6,06	28,84265	256,41114	77,87515
6,07	28,93792	257,25808	78,13238
6,08	29,03334	258,10642	78,39003

Продолжение табл. 129

Диаметр *мм*	Сечение *мм²*	Вес, *кг/км*	
		меди	алюминия
6,09	29,12893	258,95615	78,64810
6,10	29,22467	259,80728	78,90660
6,11	29,32056	260,65980	79,16552
6,12	29,41662	261,51372	79,42487
6,13	29,51283	262,36904	79,68464
6,14	29,60920	263,22576	79,94483
6,15	29,70572	264,08387	80,20545
6,16	29,80240	264,94338	80,46649
6,17	29,89924	265,80428	80,72796
6,18	29,99624	266,66658	80,98985
6,19	30,09339	267,53028	81,25217
6,20	30,19071	268,39537	81,51490
6,21	30,28817	269,26186	81,77807
6,22	30,38580	270,12975	82,04166
6,23	30,48358	270,99903	82,30567
6,24	30,58152	271,86971	82,57010
6,25	30,67962	272,74178	82,83496
6,26	30,77787	273,61526	83,10025
6,27	30,87628	274,49012	83,36595
6,28	30,97485	275,36639	83,63209
6,29	31,07357	276,24405	83,89864
6,30	31,17245	277,12311	84,16562
6,31	31,27149	278,00356	84,43303
6,32	31,37069	278,88541	84,70086
6,33	31,47004	279,76866	84,96911
6,34	31,56955	280,65330	85,23779
6,35	31,66922	281,53934	85,50689
6,36	31,76904	282,42678	85,77641
6,37	31,86902	283,31561	86,04636
6,38	31,96916	284,20584	86,31673
6,39	32,06946	285,09747	86,58753
6,40	32,16991	285,99049	86,85875
6,41	32,27052	286,88491	87,13040
6,42	32,37128	287,78072	87,40247
6,43	32,47221	288,67793	87,67496
6,44	32,57329	289,57654	87,94788
6,45	32,67453	290,47654	88,22122
6,46	32,77592	291,37795	88,49499
6,47	32,87747	292,28074	88,76918
6,48	32,97918	293,18494	89,04379
6,49	33,08105	294,09053	89,31883
6,50	33,18307	294,99751	89,59430
6,51	33,28525	295,90590	89,87018
6,52	33,38759	296,81568	90,14649
6,53	33,49008	297,72685	90,42323
6,54	33,59274	298,63942	90,70039
6,55	33,69554	299,55339	90,97797
6,56	33,79851	300,46876	91,25598
6,57	33,90163	301,38552	91,53441
6,58	34,00491	302,30368	91,81327
6,59	34,10835	303,22323	92,09254

Продолжение табл. 129

Диаметр *мм*	Сечение *мм²*	Вес, *кг/км*	
		меди	алюминия
6,60	34,21194	304,14418	92,37225
6,61	34,31570	305,06653	92,65238
6,62	34,41960	305,99027	92,93293
6,63	34,52367	306,91541	93,21391
6,64	34,62789	307,84195	93,49531
6,65	34,73227	308,76988	93,77713
6,66	34,83681	309,69921	94,05938
6,67	34,94150	310,62994	94,34205
6,68	35,04635	311,56206	94,62515
6,69	35,15136	312,49558	94,90867
6,70	35,25652	313,43049	95,19261
6,71	35,36185	314,36681	95,47698
6,72	35,46732	315,30451	95,76178
6,73	35,57296	316,24362	96,04699
6,74	35,67875	317,18412	96,33263
6,75	35,78470	318,12602	96,61870
6,76	35,89081	319,06931	96,90519
6,77	35,99708	320,01400	97,19210
6,78	36,10350	320,96009	97,47944
6,79	36,21008	321,90757	97,76720
6,80	36,31681	322,85645	98,05539
6,81	36,42370	323,80673	98,34400
6,82	36,53075	324,75840	98,63303
6,83	36,63796	325,71147	98,92249
6,84	36,74532	326,66593	99,21238
6,85	36,85285	327,62180	99,50268
6,86	36,96052	328,57905	99,79341
6,87	37,06836	329,53771	100,08457
6,88	37,17635	330,49776	100,37615
6,89	37,28450	331,45921	100,66815
6,90	37,39281	332,42205	100,96058
6,91	37,50127	333,38629	101,25343
6,92	37,60989	334,35193	101,54670
6,93	37,71867	335 31896	101,84040
6,94	37,82760	336,28739	102,13453
6,95	37,93669	337,25722	102,42908
6,96	38,04594	338,22844	102,72405
6,97	38,15535	339,20106	103,01944
6,98	38,26491	340,17507	103,31526
6,99	38,37463	341,15049	103,61151
7,00	38,48451	342,12729	103,90818
7,01	38,59454	343,10550	104,20527
7,02	38,70474	344,08510	104,50279
7,03	38,81508	345,06610	104,80073
7,04	38,92559	346,04849	105,09909
7,05	39,03625	347,03228	105,39788
7,06	39,14707	348,01747	105,69709
7,07	39,25805	349,00405	105,99673
7,08	39,36918	349,99203	106,29679
7,09	39,48047	350,98141	106,59728
7,10	39,59192	351,97218	106,89819

Продолжение табл. 129

Диаметр *мм*	Сечение *мм²*	Вес, *кг/км*	
		меди	алюминия
7,11	39,70353	352,96435	107,19952
7,12	39,81529	353,95792	107,50128
7,13	39,92721	354,95288	107,80346
7,14	40,03928	355,94924	108,10607
7,15	40,15152	356,94699	108,40910
7,16	40,26391	357,94614	108,71255
7,17	40,37646	358,94669	109,01643
7,18	40,48916	359,94864	109,32073
7,19	40,60202	360,95198	109,62546
7,20	40,71504	361,95671	109,93061
7,21	40,82822	362,96285	110,23619
7,22	40,94155	363,97038	110,54218
7,23	41,05504	364,97930	110,84861
7,24	41,16869	365,98963	111,15545
7,25	41,28249	367,00134	111,46273
7,26	41,39645	368,01446	111,77042
7,27	41,51057	369,02897	112,07854
7,28	41,62485	370,04488	112,38708
7,29	41,73928	371,06219	112,69605
7,30	41,85387	372,08089	113,00544
7,31	41,96861	373,10099	113,31526
7,32	42,08352	374,12248	113,62550
7,33	42,19858	375,14537	113,93616
7,34	42,31280	376,16966	114,24725
7,35	42,42917	377,19534	114,55877
7,36	42,54470	378,22242	114,87070
7,37	42,66039	379,25090	115,18306
7,38	42,77624	380,28077	115,49585
7,39	42,89224	381,31204	115,80906
7,40	43,00840	382,34471	116,12269
7,41	43,12472	383,37877	116,43674
7,42	43,24120	384,41423	116,75124
7,43	43,35783	385,45108	117,06614
7,44	43,47462	386,48933	117,38147
7,45	43,59156	387,52898	117,69721
7,46	43,70866	388,57003	118,01338
7,47	43,82592	389,61247	118,32998
7,48	43,94334	390,65631	118,64702
7,49	44,06092	391,70154	118,96448
7,50	44,17865	392,74817	119,28236
7,51	44,29653	393,79620	119,60063
7,52	44,41458	394,84562	119,91937
7,53	44,53278	395,89644	120,23851
7,54	44 65114	396,94865	120,55808
7,55	44,76966	398,00227	120,87808
7,56	44,88833	399,05728	121,19849
7,57	45,00716	400,11368	121,51933
7,58	45,12615	401,17148	121,84061
7,59	45,24530	402,23068	122,16231
7,60	45,36460	403,29128	122,48442
7,61	45,18406	404,35327	122,80696

Продолжение табл. 129

Диаметр *мм*	Сечение *мм²*	Вес, *кг/км*	
		меди	алюминия
7,62	45,60367	405,41665	123,12991
7,63	45,72345	406,48144	123,45332
7,64	45,84338	407,54762	123,77713
7,65	45,96346	408,61520	124,10134
7,66	46,08371	409,68417	124,42602
7,67	46,20411	410,75454	124,75110
7,68	46,32467	411,82630	125,07661
7,69	46,44538	412,89947	125,40253
7,70	46,56626	413,97403	125,72890
7,71	46,68729	415,04998	126,05568
7,72	46,80847	416,12733	126,38287
7,73	46,92982	417,20608	126,71051
7,74	47,05132	418,28623	127,03856
7,75	47,17298	419,36777	127,36705
7,76	47,29479	420,45070	127,69593
7,77	47,41676	421,53504	128,02525
7,78	47,53889	422,62077	128,35500
7,79	47,66118	423,70790	128,68519
7,80	47,78362	424,79642	129,01577
7,81	47,90622	425,88634	129,34679
7,82	48,02898	426,97766	129,67825
7,83	48,15190	428,07037	130,01013
7,84	48,27497	429,16448	130,34242
7,85	48,39820	430,25998	130,67514
7,86	48,52158	431,35689	131,00827
7,87	48,64513	432,45518	131,34185
7,88	48,76883	433,55488	131,67584
7,89	48,89269	434,65597	132,01026
7,90	49,01670	435,75846	132,34509
7,91	49,14087	436,86234	132,68035
7,92	49,26520	437,96762	133,01604
7,93	49,38968	439,07430	133,35214
7,94	49,51433	440,18237	133,68869
7,95	49,63913	441,29184	134,02565
7,96	49,76408	442,40271	134,36302
7,97	49,88920	443,51497	134,70084
7,98	50,01447	444,62863	135,03907
7,99	50,13990	445,74369	135,37773
8,00	50,26548	446,86014	135,71680
8,01	50,39122	447,97799	136,05629
8,02	50,51712	449,09723	136,39622
8,03	50,64318	450,21787	136,73659
8,04	50,76939	451,33991	137,07735
8,05	50,89576	452,46335	137,41855
8,06	51,02229	453,58818	137,76018
8,07	51,14898	454,71440	138,10225
8,08	51,27582	455,84203	138,44471
8,09	51,40282	456,97105	138,78761
8,10	51,52997	458,10146	139,13092
8,11	51,65729	459,23328	139,47468
8,12	51,78476	460,36649	139,81885

Продолжение табл. 129

Диаметр *мм*	Сечение *мм²*	Вес, *кг/км*	
		меди	алюминия
8,13	51,91238	461,50109	140,16343
8,14	52,04017	462,63709	140,50846
8,15	52,16811	463,77449	140,85390
8,16	52,29621	464,91329	141,19977
8,17	52,42446	466,05348	141,54604
8,18	52,55288	467,19507	141,89278
8,19	52,68145	468,33805	142,23992
8,20	52,81017	469,48243	142,58746
8,21	52,93906	470,62821	142,93546
8,22	53,06810	471,77538	143,28387
8,23	53,19730	472,92395	143,63271
8,24	53,32665	474,07392	143,98196
8,25	53,45616	475,22528	144,33163
8,26	53,58583	476,37804	144,68174
8,27	53,71566	477,53220	145,03228
8,28	53,84564	478,68775	145,38323
8,29	53,97578	479,84470	145,73461
8,30	54,10608	481,00305	146,08642
8,31	54,23653	482,16279	146,43863
8,32	54,36715	483,32393	146,79131
8,33	54,49791	484,48646	147,14436
8,34	54,62884	485,65039	147,49787
8,35	54,75992	486,81572	147,85178
8,36	54,89116	487,98244	148,20613
8,37	55,02256	489,15056	148,56091
8,38	55,15411	490,32008	148,91610
8,39	55,28583	491,49099	149,27174
8,40	55,41769	492,66330	149,62776
8,41	55,54972	493,83701	149,98424
8,42	55,68190	495,01211	150,34113
8,43	55,81424	496,18861	150,69845
8,44	55,94674	497,36651	151,05620
8,45	56,07939	498,54580	151,41435
8,46	56,21220	499,72649	151,77294
8,47	56,34517	500,90856	152,13196
8,48	56,47830	502,09205	152,19141
8,49	56,61158	503,27693	152,85127
8,50	56,74502	504,46320	153,21155
8,51	56,87861	505,65087	153,57225
8,52	57,01237	506,83994	153,93340
8,53	57,14628	508,03040	154,29496
8,54	57,28034	509,22226	154,65692
8,55	57,41457	510,41552	155,01934
8,56	57,54895	511,61017	155,38217
8,57	57,68349	512,80622	155,74542
8,58	57,81819	514,00367	156,10911
8,59	57,95304	515,20251	156 47321
8,60	58,08805	516,40275	156 83774
8,61	58,22322	517,60438	157,20269
8,62	58,35854	518,80741	157,56806
8,63	58,49402	520,01184	157,93385

Продолжение табл. 129

Диаметр *мм*	Сечение *мм²*	Вес, *кг/км*	
		меди	алюминия
8,64	58,62966	521,21766	158,30008
8,65	58,76545	522,42489	158,66672
8,66	58,90141	523,63350	159,03381
8,67	59,03752	524,84352	159,40130
8,68	59,17378	526,05493	159,76921
8,69	59,31021	527,26773	160,13757
8,70	59,44679	528,48193	160,50633
8,71	59,58352	529,69753	160,87550
8,72	59,72042	530,91453	161,24513
8,73	59,85747	532,13292	161,61517
8,74	59,99468	533,35271	161,98564
8,75	60,13205	534,57389	162,35654
8,76	60,26957	535,79648	162,72784
8,77	60,40725	537,02045	163,09958
8,78	60,54509	538,24583	163,47174
8,79	60,68308	539,47260	163,84432
8,80	60,82123	540,70077	164,21732
8,81	60,95954	541,93033	164,59076
8,82	61,09801	543,16129	164,96463
8,83	61,23663	544,39365	165,33890
8,84	61 37541	545,62740	165,71361
8,85	61,51435	546,86255	166,08875
8,86	61,65344	548,09909	166,46429
8,87	61,79269	549,33704	166,84026
8,88	61,93210	550,57637	167,21667
8,89	62,07167	551,81711	167,59351
8,90	62,21139	553,05924	167,97075
8,91	62,35127	554,30277	168,34843
8,92	62,49130	555,54769	168,72651
8,93	62,63150	556,79401	169,10505
8,94	62,77185	558,04173	169,48400
8,95	62,91236	559,29085	169,86337
8,96	63,05302	560,54136	170,24315
8,97	63,19384	561,79326	170,62337
8,98	63,33482	563,04657	171,00401
8,99	63,47596	564,30126	171,38509
9,00	63,61725	565,55736	171,76658
9,01	63,75870	566,81485	172,14849
9,02	63,90031	568,07374	172,53084
9,03	64,04207	569,33403	172,91359
9,04	64,18399	570,59571	173,29677
9,05	64,32607	571,85879	173,68039
9,06	64,46831	573,12326	174,06444
9,07	64,61070	574,38913	174,44889
9,08	64,75325	575,65640	174,83378
9,09	64,89596	576,92506	175,21909
9,10	65,03882	578,19512	175,60481
9,11	65,18184	579,46658	175,99097
9,12	65,32502	580,73943	176,37755
9,13	65,46836	582,01368	176,76457
9,14	65,61185	583,28933	177,15200

Продолжение табл. 129

Диаметр *мм*	Сечение *мм²*	Вес, *кг/км*	
		меди	алюминия
9,15	65,75550	584,56637	177,53985
9,16	65,89930	585,84481	177,92811
9,17	66,04327	587,12465	178,31683
9,18	66,18739	588,40588	178,70595
9,19	66,33167	589,68851	179,09551
9,20	66,47610	590,97253	179,48547
9 21	66,62069	592,25795	179,87586
9,22	66,76544	593,54477	180,26669
9,23	66,91035	594,83298	180,65795
9,24	67,05541	596,12259	181,04961
9,25	67,20063	597,41360	181,44170
9,26	67,34601	598,70600	181,83423
9,27	67,49154	599,99980	182,22716
9,28	67,63723	601,29500	182,62052
9,29	67,78308	602,59159	183,01432
9,30	67,92909	603,88958	183,40854
9,31	68,07525	605,18897	183,80318
9,32	68,22157	606,48975	184,19824
9,33	68,36805	607,79193	184,59374
9,34	68,51468	609,09550	184,98964
9,35	68,66147	610,40047	185,38597
9,36	68,80842	611,70684	185,78273
9,37	68,95552	613,01460	186,17990
9,38	69,10279	614,32377	186,57753
9,39	69,25020	615,63432	186,97557
9,40	69,39778	616,94628	187,37401
9,41	69,54551	618,25963	187,77290
9,42	69,69341	619,57437	188,17221
9,43	69,84145	620,89051	188,57192
9,44	69,98966	622,20805	188,97208
9,45	70,13802	623,52699	189,37265
8,46	70,28654	624,84732	189,77366
9,47	70,43521	626,16905	190,17507
9,48	70,58405	627,49217	190,57694
9,49	70,73304	628,81670	190,97921
9,50	70,88218	630,14261	191,38189
9,51	71,03149	631,46993	191,78502
9,52	71,18095	632,79864	192,18857
9,53	71,33057	634,12875	192,59254
9,54	71,48034	635,46025	192,99692
9,55	71,63028	636,79315	193,40176
8,56	71,78037	638,12745	193,80700
9,57	71,93061	639,46314	194,21265
0,58	72,08102	640,80023	194,61875
9,59	72,23158	642,13871	195,02527
9,60	72,38229	643,47860	195,43218
9,61	72,53317	644,81987	195,83956
9,62	72,68420	646,16255	196,24734
9,63	72,83539	647,50662	196,65555
9,64	72,98674	648,85209	197,06420
9,65	73,13824	650,19895	197,47325

Продолжение табл. 129

Диаметр *мм*	Сечение *мм²*	Вес, *кг/км*	
		меди	алюминия
9,66	73,28990	651,54721	197,88273
9,67	73,44172	652,89687	198,29264
9,68	73,59369	654,24792	198,70296
9,69	73,74582	655,60037	199,11371
9,70	73,89811	656,95422	199,52490
9,71	74,05056	658,30946	199,93651
9,72	74,20316	659,66610	200,34853
9,73	74,35592	661,02414	200,76098
9,74	74,50884	662,38357	201,17387
9,75	74,66191	663,74440	201,58716
9,76	74,81514	665,10663	202,00088
9,77	74,96853	666,47025	202,41503
9,78	75,12208	667,83527	202,82962
9,79	75,27578	669,20168	203,24461
9,80	75,42964	670,56949	203,66003
9,81	75,58366	671,93870	204,07588
9,82	75,73783	673,30930	204,49214
9,83	75,89216	674,68130	204,80883
9,84	76,04665	676,05470	205,32596
9,85	76,20129	677,42949	205,74348
9,86	76,35609	678,80568	206,16147
9,87	76,51105	680,18327	206,57984
9,88	76,66617	681,56225	206,99866
9,89	76,82144	682,94263	207,41789
9,90	76,97687	684,32440	207,83755
9,91	77,13246	685,70758	208,25764
9,92	77,28821	687,09214	208,67817
9,93	77,44411	688,47811	209,09910
9,94	77,60017	689,86547	209,52046
9,95	77,75638	691,25423	209,94223
9,96	77,91275	692,64438	210,36443
9,97	78,06928	694,03593	210,78706
9,98	78,22597	695,42888	211,21012
9,99	78,38281	696,82322	211,63361
10,00	78,53982	698,21896	212,05751
10,10	80,11847	712,25316	216,31986
10,20	81,71282	726,42701	220,62463
10,30	83,32289	740,74049	224,97180
10,40	84,94866	755,19363	229,36139
10,50	86,59015	769,78640	233,79340
10,60	88,24734	784,51882	238,26781
10,70	89,92023	799,39089	242,78463
10,80	91,60884	814,40259	247,34387
10,90	93,31315	829,55395	251,94552
11,00	95,03318	844,84494	256,58958
11,10	96,76891	860,27558	261,27605
11,20	98,52034	875,84586	266,00493
11,30	100,28749	891,55579	270,77622
11,40	102,07034	907,40536	275,58993
11,50	103,86891	923,39457	280,44605
11,60	105,68318	939,52343	285,34457

Продолжение табл. 129

Диаметр *мм*	Сечение *мм*	Вес, *кг/км*	
		меди	алюминия
11,70	107,51315	955,79193	290,28551
11,80	109,35884	972,20008	295,26886
11,90	111,22023	988,74786	300,29463
12,00	113,09733	1005,43529	305,36280
12,10	114,99014	1022,26237	310,47339
12,20	116,89866	1039,22909	315,62638
12,30	118,82289	1056,33545	320,82179
12,40	120,76282	1073,58146	326,05961
12,50	122,71846	1090,96711	331,33984
12,60	124,68981	1108,49241	336,66249
12,70	126,67687	1126,15735	342,02754
12,80	128,67963	1143,96193	347,43501
12,90	130,69811	1161,90616	352,88489
13,00	132,73229	1179,99003	358,37718
13,10	134,78218	1198,21354	363,91188
13,20	136,84777	1216,57670	369,48899
13,30	138,92908	1235,07950	375,10851
13,40	141,02609	1253,72195	380,77045
13,50	143,13881	1272,50404	386,47479
13,60	145,26724	1296,42577	392,22155
13,70	147,41138	1310,48715	398,01072
13,80	149,57122	1329,68817	403,84230

Продолжение табл. 129

Диаметр *мм*	Сечение *мм²*	Вес, *кг/км*	
		меди	алюминия
13,90	151,74678	1349,02884	409,71630
14,00	153,93804	1368,50914	415,63270
14,10	156,14501	1388,12910	421,59152
14,20	158,36768	1407,88869	427,59274
14,30	160,60607	1427,78793	433,63638
14,40	162,86016	1447,82682	439,72243
14,50	165,12996	1468,00534	445,85080
14,60	167,41547	1488,32351	452,02176
14,70	169,71669	1508,78133	458,23505
14,80	172,03361	1529,37879	464,49075
14,90	174,36624	1550,11589	470,78885
15,00	176,71458	1570,99264	477,12937
15,10	179,07864	1592,00906	483,51232
15,20	181,45839	1613,16510	489,93766
15,30	183,85386	1634,46078	496,40541
15,40	186,26503	1655,89610	502,91558
15,50	188,69191	1677,47106	509,46815
15,60	191,13450	1699,18567	516,06314
15,70	193,59279	1721,03993	522,70054
15,80	196,06680	1743,03382	529,38035
15,90	198,55651	1765,16737	536,10258
16,00	201,06193	1787,44055	542,86721

ЛИТЕРАТУРА

1 И. Л. Перлин. Волочение цветных металлов, Металлургиздат, 1934.

2. А. И. Басс. Волочение проволоки и прутков, ОНТИ, 1937.

3. И. А. Юхвец и Г. М. Алексенко-Сербин. Холодное волочение черных металлов, ОНТИ, 1938.

4. Производство фильер из твердых сплавов и алмазов. По материалам завода им. С. Орджоникидзе в Кольчугине, под ред. Н. З. Днестровского, Металлургиздат. 1938.

5. М. Бонзель. Производство стальной проволоки, Металлургиздат, 1941.

6. В. Г. Сердюков и Я. Я. Цирш. Обработка цветных металлов и сплавов давлением, Металлургиздат, 1947.

7. Энциклопедический справочник «Машиностроение», т. VIII, Машины для волочения, Машгиз, 1949.

8 В. И. Боголюбский, И. М. Голубев, И. И. Амитин. Проволочные канаты, Металлургиздат, 1950.

9. Н. З. Днестровский и Р. А. Блюмкина. О водородной хрупкости меди. Сб. научных работ, Гипроцветметобработка, вып XI; Металлургиздат, 1950, стр. 271—307.

10. Твердые сплавы для волочения металлов. Каталог и инструкция № 10, Всесоюзная контора технической помощи по применению твердых сплавов, 1951.

11. А Д. Ландихов. Производство труб, прутков и профилей из цветных металлов, Металлургиздат, 1952.

12. Н. З. Днестровский. Волочильный инструмент, Госэнергоиздат, 1954.

13. Н. З. Днестровский. Волочение цветных металлов и сплавов, Металлургиздат, 1954.

14. С А. Юхвец. Волочильное производство. ч. I, Металлургиздат, 1954.

15. В. В. Жолобов, К. Н. Богоявленский, М. Е. Зубцов, А. Д. Ландихов, Е. М. Лекаренко и Н. Н. Постников Обработка цветных металлов и сплавов давлением, Металлургиздат, 1955.

16. А К. Чертавских. Трение и смазка при обработке металлов, Металлургиздат, 1955.

17. А. П Смирягин. Промышленные цветные металлы и сплавы, Металлургиздат, 1956.

18 А. М. Когос. Механическое оборудование волочильных и лентопрокатных цехов, Металлургиздат, 1957.

19. Стандарты государственные общесоюзные

20. Н. З. Днестровский и С. Н. Померанцев. Краткий справочник по обработке цветных металлов и сплавов, Металлургиздат, 1958

Раздел седьмой

ПРОИЗВОДСТВО ПРУТКОВ И ТРУБ

§ 1. ПРОДУКТЫ ПРОИЗВОДСТВА

Промышленность выпускает прессованные и тянутые прутки и трубы и холоднокатаные трубы. Сортамент и технические условия на них регламентированы ГОСТами и техническими условиями (табл. 1).

Таблица 1

Перечень стандартов и технических условий на трубы и прутки из цветных металлов и сплавов

ГОСТ и ТУ	Наименование	Содержание
ГОСТ 1525—53	Прутки круглые из монель-металла	Сортамент и технические условия
ГОСТ 1535—48	Прутки медные	То же
ГОСТ 1628—48	Прутки бронзовые	» »
ГОСТ 1945—46	Прутки из цветных металлов и сплавов	Сортамент
ГОСТ 2060—48	Прутки латунные	Сортамент и технические условия
ГОСТ 4783—49	Прутки прессованные из алюминиевых сплавов	Технические условия, размеры прутков по ГОСТ 1945—46
ГОСТ 6511—53*	Прутки из оловянноцинковой бронзы	Сортамент и технические условия
ГОСТ 7857—55	Прутки из алюминия и алюминиевых сплавов	Сортамент
АМТУ 227—49	Прутки прессованные из магниевых сплавов	Технические условия; размеры прутков по ГОСТ 1945—46
ГОСТ 167—41	Трубы свинцовые	Сортамент и технические условия
ГОСТ 494—52	Трубы латунные	То же
ГОСТ 529—41	Трубы радиаторные	» »
ГОСТ 617—53	Трубы медные	» »
ГОСТ 1208—54	Трубы бронзовые прессованные	» »
ГОСТ 1947—56	Трубы из алюминия и алюминиевых сплавов	Сортамент
ГОСТ 2203—43	Трубы конденсаторные морские	Технические условия, сортамент по ГОСТ 494—41
ГОСТ 2622—44	Трубки манометрические	Классификация, сортамент и технические условия
ГОСТ 2624—44	Трубки капиллярные из сплава ЛТ96	Размеры и технические условия
ГОСТ 2644—44	Трубки радиаторные с толщиной стенки 0,10 *мм*	Классификация, форма, размеры и технические условия
ГОСТ 2936—56	Трубки радиаторные плоскоовальные бесшовные	Сортамент и технические условия
ГОСТ 4773—49	Трубы из алюминия и алюминиевых сплавов	Технические условия; сортамент по ГОСТ 1947—52
ГОСТ 5685—51	Трубки полутомпаковые тонкостенные	Сортамент и технические условия

* Прутки из оловянноцинковой бронзы могут применяться только в порядке, установленном Советом Министров СССР.

1. Прутки

Прутки тянутые круглые

Таблица 2

ГОСТ и ТУ	Номинальные диаметры, *мм*	Допускаемые отклонения, *мм* при классе точности			
		3	3а	4	5
ГОСТ 1525—53, 1535—48, 1945—46, 2060—48, АМТУ 227—49	5; 5,5; 6	—	—0,048	—0,08	—0,16
ГОСТ 1628—48, 6511—53	5; 5,5; 6	—	—	—0,08	—0,16
ГОСТ 7857—55	5; 5,5; 6	—0,025	—0.048	—0,08	—0,16
ГОСТ 1525—53, 1535—48, 1945—46, 2060—48, АМТУ 227—49	7; 8; 9; 10	—	—0,058	—0,10	—0,20
ГОСТ 1628—48, 6511—53	7; 8; 9; 10	—	—	—0,10	—0,20
ГОСТ 7857—55	6,5; 7; 7,5; 8; 8,5; 9; 9,5, 10	—0,030	—0,058	—0,10	—0,20
ГОСТ 1525—53, 1945—46 АМТУ—227—49	11; 12: 14; 16; 18	—	—0,070	—0,12	—0,24
ГОСТ 1535—48, 1628—48, 2060—48, 6511—53	11; 12; 14; 16; 18	—	—	—0,12	—0,24
ГОСТ 7857—55	10,5; 11; 11,5; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18	—0,035	—0,070	—0,12	—0,20
ГОСТ 1525—53, 1945—46, АМТУ—227—49	20, 22; 25; 28; 30	—	—0,084	—0,14	—0,28
ГОСТ 1535—48, 1628—48, 2060—48, 6511—53	20; 22; 25; 28; 30	—	—	—0,14	—0,28
ГОСТ 7857—55	19; 20; 21; 22; 24; 25; 26; 28; 30	—0,045	—0,084	—0,14	—0,28
ГОСТ 1525—53, 1945—46, АМТУ—227—49	35; 40	—	—0,100	—0,17	—0,34
ГОСТ 1535—48, 1628—48, 2060—48, 6511—53	35; 40	—	—	—0,17	—0,34
ГОСТ 7857—55	32; 34; 35; 36; 38; 40; 42; 45; 48; 50	—0,050	—0,100	—0,17	—0,34

Примечание. По ГОСТ 1628—48, 1945—46, 2060—48 и АМТУ—227—49 в обоснованных случаях допускается поставка не включенных в таблицу круглых тянутых прутков следующих диаметров: 6,5; 7,5; 8,5; 9,5; 13; 15; 17; 19; 21; 24; 27; 32 и 38 *мм*. По ГОСТ 1525—53 допускается поставка прутков тех же размеров, за исключенаем 32 и 38 *мм*, а по ГОСТ 1536—48—за исключением 6,5; 7,5; 8,5 и 9,5 *мм*.

Прутки тянутые квадратные и шестигранные

Таблица 3

ГОСТ и ТУ	Номинальные диаметры, *мм*	Допускаемые отклонения, *мм* при классе точности			
		3	3а	4	5
ГОСТ 1535—48, 1628—48, 1945—46, 2060—48, АМТУ 227—49	5; 5,5; 6	—	—	—0,08	—0,16
ГОСТ 7857—55	5; 5,5; 6	—0,025	—0,048	—0,08	—0,16
ГОСТ 1535—48, 1628—48, 1945—46, 2060—48, АМТУ 227—49	7; 8, 9; 10	—	—	—0,10	—0,20
ГОСТ 7857—55	6,5, 7; 7,5; 8; 8,5; 9; 9,5; 10	—0,030	—0,058	—0,10	—0,20
ГОСТ 1535—48, 1628—48, 1945—46, 2060—48. АМТУ 227—49	11; 12; 14; 17	—	—	—0,12	—0,24
ГОСТ 7857—55	10,5; 11; 11:5; 12; 13; 14; 15, 16; 17; 18	—0,035	—0,070	—0,12	—0,24
ГОСТ 1628—48	19; 22; 24	—	—	—0,14	—0,28
ГОСТ 1535—48, 1945—46, 2060—48, АМТУ 227—49	19; 22, 24; 27, 30	—	—	—0,14	—0,28
ГОСТ 7857—55	19; 20; 21; 22; 24; 25; 26; 27; 28; 30	—0,045	—0,084	—0,14	—0,28
ГОСТ 1535—48, 1945—46, 2060—48, АМТУ 227—49	32; 36	—	—	—0,17	—0,34
ГОСТ 7857—55	32; 34; 36; 38; 40	—0,050	—0.10	—0,17	—0,34

Примечание. Для квадратных и шестигранных прутков под диаметром подразумевается диаметр вписанной окружности, т. е. расстояние между параллельными сторонами прутка.

Таблица 4

Прутки прессованные круглые

ГОСТ и ТУ	Номинальные диаметры, *мм*	Допускаемые отклонения, *мм* при классе точности				
		7	8	9	группа 10	
ГОСТ 7857—55	5; 5,5; 6	—0,30	—0,48	—	—	—
ГОСТ 1945—46, АМТУ 227—49	6	—0,30	—0,48	—	—	—
ГОСТ 7857—55	6,5; 7; 7,5; 8; 8,5; 9; 9,5; 10	—0,36	—0,58	—	—	—
ГОСТ 1945—46, АМТУ 227—49	7; 8; 9; 10	—0,36	—0,58	—	—	—
ГОСТ 2060—48	10	—0,36	—0,58	—0,58	—	—
ГОСТ 7857—55	10,5; 11; 11,5; 12, 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19	—0,43	—0,70	—1,1	—	—
ГОСТ 1945—46, АМТУ 227—49	11; 12. 14. 16; 18	—0,43	—0,70	—1,1	—1,3	—
ГОСТ 2060—48	11; 12; 14; 16; 18	—0,43	—0,70	—0,70	—	—
ГОСТ 1535—48	14; 16; 18	—	—0,70	—0,70	—	—
ГОСТ 1628—48	16; 18	—	—0,70	—1,1	—	—
ГОСТ 7857—55	20; 21; 22; 24; 25; 26; 27; 28; 30	—0,52	—0,84	—1,3	—	—
ГОСТ 1945—46, АМТУ 227—49	20; 22; 25; 28; 30	—0,52	—0,84	—1,3	—1,5	—
ГОСТ 2060—48	20; 22; 25, 28; 30	—0,52	—0,84	—0,84	—	—
ГОСТ 1535—48	20, 22; 25; 28; 30	—	—0,84	—0,84	—	—
ГОСТ 1628—48	20; 22; 25; 28; 30	—	—0,84	—1,3	—	—
ГОСТ 6511—53	20; 22, 25; 28; 30	—	—	—	—	—1,2
ГОСТ 7857—55	32; 34; 35; 36; 38; 40, 42; 45; 46; 48; 50	—0,62	—1,0	—1,6	—	—
ГОСТ 1945—46, АМТУ 227—49	35; 40; 45; 50	—0,62	—1,0	—1,6	—2,0	—
ГОСТ 2060—48	35: 40: 45; 50	—0,62	—1,0	—1,0	—	—
ГОСТ 1535—48	35; 40; 45; 50	—	—1,0	—1,0	—	—
ГОСТ 1628—48	35. 40: 45; 50	—	—1,0	—1,6	—	—
ГОСТ 6511—53	(32); 35; (38): 40; (42); 45; (48) 50	—	—	—	—	—1,5
ГОСТ 7857—55	52; 55, 58; 60: 62; 65; 70; 75; 80	—0,74	—1,2	—1,9	—	—
ГОСТ 1945—46, АМТУ 227—49	55: 60; 70; 80	—	—1,2	—1,9	—2,5	—
ГОСТ 1535—48, 2060—48	55; 60; 70; 80	—	—1,2	—1,2	—	—
ГОСТ 1628—48	55: 60, 70: 80	—	—1,2	—1,9	—	—
ГОСТ 6511—53	55. 60; (65); 70; (75); 80	—	—	—	—	—1,9
ГОСТ 7857—55	85: 90: 95; 100; 105. 110; 115; 120	—	—1,4	—2,2	—	—
ГОСТ 1945—46, АМТУ 227—49	90; 100	—	—1,4	—2,2	—3,2	—
ГОСТ 1945—46, АМТУ 227—49	110; 120	—	—	—2,2	—3,2	—
ГОСТ 1535—48 2060—48	90; 100	—	—1,4	—1.4	—	—
ГОСТ 1535—48, 2060—48	110; 120	—	—	—2,0	—	—
ГОСТ 1628—48	90; 100; 110; 120	—	—1,4	—2,2	—	—
ГОСТ 6511—53	(85); 90; (95); 100; 110; 120	—	—	—	—	—1,9
ГОСТ 7857—55	130. 140: 150; 160; 170; 180	—	—	—2,5	—	—
ГОСТ 7857—55	190; 200; 210; 220; 240; 250	—	—	—2,9	—	—
ГОСТ 7857—55	260; 280; 300	—	—	—3,3	—	—

Примечание. Прутки, диаметр которых дан в скобках, применять не рекомендуется.

Таблица 5

Прутки прессованные квадратные и шестигранные

ГОСТ и ТУ	Номинальные диаметры, *мм*	Допускаемые отклонения, *мм* при классе точности		
		7	8	9
ГОСТ 7857—55	5; 5,5; 6	—0,30	—0,48	—
	6; 6,5; 7; 7,5; 8; 8,5; 9; 9,5, 10	—0,36	—0,58	—
ГОСТ 1945—46, 2060—48, АМТУ 227—49	10	—0,36	—	—
	11; 12; 14; 17	—0,42	—	—
ГОСТ 7857—55	10,5, 11; 11,5; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18, 19	—0,43	—0,70	—1,1
ГОСТ 1945—46, 2060—48, АМТУ 227—49	19; 22; 24: 27; 30	—0,52	—	—
ГОСТ 7857—55	20: 21; 22; 24; 25; 26; 27; 28; 30	—0,52	—0,84	—1,3
ГОСТ 1945—46, 2060—48, АМТУ 227—49	32	—0,62	—	—
ГОСТ 7857—55	32; 34; 36: 38; 40; 42; 44; 45; 46, 48; 50	—0,62	—1,0	—1,6
ГОСТ 1945—46, 2060—48, АМТУ 227—49	36; 41; 46: 50	—	—1,0	—
ГОСТ 7857—55	52; 55; 58; 60 65, 70	—0,74	—1,2	—1,9
ГОСТ 2060—48	55; 60; 65, 70; 75; 80	—	—1,2	—

Примечание. По ГОСТ 1535—46, 1945—46. 1628—48, 2060—48 в обоснованных случаях допускается поставка круглых прессованных прутков следующих диаметров; 32; 38; 42; 48; 65; 75; 85; 95 *мм*.

По длине прутки изготовляются:
а) немерной длины (табл. 6);
б) мерной длины, или длины кратной мерной, оговоренной в заказе, в пределах немерной, с допускаемыми отклонениями ±10 *мм*.

Таблица 6

Длина поставляемых прутков

ГОСТ 1525—53		ГОСТ 1535—48*. 1628—48[2*], 1945—46, 2060—48*, 4783—49, АМТУ 227—49		ГОСТ 6511—53[2*]		ГОСТ 7857—55	
диаметр *мм*	длина *м*	диаметр *мм*	длина *м*	диаметр *мм*	длина *м*	диаметр *мм*	длина *м*
5—40	2—4	5—40	2—4	5—30	1—4	5—10	1—6
41—60	1—2	41—120	1,2—3	32—40	1—3	11—50	1—5
Свыше 60	Не короче 0,7	—	—	—	—	51—150	0,5—4
						Свыше 150	0,5—3

* Тянутые прутки диаметром менее 14 *мм* по соглашению сторон могут поставляться в бухтах.

[2*] Тянутые прутки диаметром 5—12 *мм* по соглашению сторон могут поставляться в бухтах.

Местная кривизна прутков на 1 *пог. м* не должна превышать следующих величин, *мм*

Таблица 7

Способ изготовления прутков	ГОСТ 1525—53*, 1535—48*, 1945—46, 1628—48*, 2060—48*, 6511—53, АМТУ 227—49			ГОСТ 7857—55				ГОСТ 4783—59			
	Диаметр прутков, *мм*										
	5—18	19—40	свыше 40	5—18	19—50	51—100	свыше 100	до 100	101—120	121—130	свыше 130
Тянутые	1,25	1	—	1,25	1	—	—	—	—	—	—
Прессованные .	6	6	6	3	3	3	6	3	6	10	20

* Тянутые прутки всех диаметров, не предназначаемые для обработки на автоматах, на напрессовку и запрессовку, могут иметь местную кривизну не выше 2 *мм* на 1 *пог. м*. Назначение прутков отоваривается в заказе.

Таблица 8

Механические свойства прутков, изготовляемых из меди и ее сплавов

ГОСТ и ТУ	Марка металла или сплава	Способ изготовления прутков	Диаметр прутков, *мм*	Предел прочности, *кг/мм²* (не менее)	Относительное удлинение при расчетной длине $l = 11{,}3\sqrt{F}$, % (не менее)	Твердость по Бринелю, *кг/мм²*	Примерное назначение
ГОСТ 1525—53	МНЖМц28-2,5-1,5	Тянутые	5—40	45	25	—	—
			5—40	60	10	—	
ГОСТ 1535—48	М1, М2, М3	Тянутые	5—40	20	38	—	Прутки из меди марки М1 применяются только для изготовления токопроводящих деталей
		То же	5—40	27	6	—	
		Прессованные	14—120	20	30	—	
ГОСТ 1628—48	Бр.АМц9-2	Тянутые	5—22	55	12	—	Для высокопрочных деталей ответственного назначения в машиностроении
		То же	25—30	55	15	—	
		Прессованные	25—45	50	15	—	
		То же	50—120	48	20	—	
	Бр.АЖ9-4	Прессованные	16—120	55	15	110—180	Для антифрикционных высокопрочных деталей (втулок, вкладышей подшипников и др.)
	Бр.АЖМц-10-3-1,5	Прессованные	16—120	60	12	129—171	—
	Бр.АЖН 10-4-4	Прессованные	30—120	65	5	170—220	Для антифрикционных особопрочных деталей (тяжелонагруженных шестерен, вкладышей подшипников и др.)

Продолжение табл. 8

ГОСТ и ТУ	Марка металла или сплава	Способ изготовления прутков	Диаметр прутков, *мм*	Предел прочности, *кг/мм²* (не менее)	Относительное удлинение при расчетной длине $l = 11.3\sqrt{F}$, % (не менее)	Твердость по Бринелю, *кг/мм²*	Примерное назначение
	Бр.КМц3-1	Тянутые	5—12	50	10	—	Для пружин. Применяется как заменитель оловянноцинковой бронзы марки Бр.ОЦ4-3
			14—30	48	15	—	
	Бр.КН1-3	Прессованные	20—80	45	12	—	Для антифрикционных деталей ответственного назначения. Применяется как заменитель оловяннофосфористой бронзы марки Бр ОФ7-0,2
ГОСТ 2060—48	Л62	Тянутые	5—40	38	15	—	Для изготовления деталей, аппаратов и приборов в разных отраслях машиностроения
		Прессованные	10—120	30	30	—	
	ЛС59-1	Тянутые	5—40	40	12	—	
	ЛС59-1В	Прессованные	10—120	37	18	—	
	ЛС63-3 и ЛС64-2	Тянутые	5—20	60	0,5	—	
		Тянутые	5—40	40	15	—	
	ЛО62-1	Прессованные	10—120	37	20	—	
	ЛЖС58-1-1	Тянутые	5—40	45	10	—	
		Прессованные	10—120	30	20	—	
	ЛМц58-2	Тянутые	5—40	45	25	—	
		Прессованные	10—120	40	25	—	
	ЛЖМц59-1-1	Тянутые	5—40	50	18	—	
		Прессованные	10—120	44	28	—	
	ЛАЖ60-1-1	Прессованные	10—120	45	18	—	
ГОСТ 6511—53	Бр.ОЦ4-3	Тянутые	5—12	44	10	—	Прутки могут применяться в порядке, установленном Советом Министров СССР
		То же	13—25	38	15	—	
		» »	27—35	34	16	—	
		» »	38—40	32	16	—	
		Прессованные	20—50	30	23	—	
		То же	55—120	28	25	—	
ЦМТУ 3443—53	Куниаль А	Прессованные	60—95	70	7	—	—
ЦМТУ 3299—53	БХ	Тянутые	5—20	40	Не регламентируется	55	Применяется в электровакуумной промышленности
		Прессованные	30—100	40		55	

Таблица 9

Механические свойства прутков, изготовляемых из алюминиевых сплавов (по ГОСТ 4783—49)

Марка сплава	Термическая обработка	Диаметр прутков, *мм*	Предел прочности *кг/мм²*	Предел текучести *кг/мм²*	Относительное удлинение при длине образца $5,65\sqrt{F}$, %
			не менее		
В95	Закалка и искусственное старение	До 22	50	38	7
		23—160	54	41	6
		Более 160	52	41	5
Д1	Закалка и искусственное старение	До 160	38	22	12
		Более 160	36	20	10
Д6 и Д16		До 22	40	26	12
		23—160	43	28	10
		Более 160	42	26	8
АВ		Всех размеров	30	—	12
АК2			36	—	10
АК4			36	—	8
АК6			36	—	12
АК8	Закалка и искусственное старение	До 22	45	—	10
		23—160	46	—	10
		Более 160	44	—	8
АД и АД1	Отжиг или без термической обработки	—	Не более 11	—	25
АМ2		Всех размеров	Не более 23	—	10
АМц			Не более 17	—	20

Таблица 10

Механические свойства прутков, изготовляемых из магниевых сплавов (по АМТУ 227—49)

Марка сплава	Состояние поставки прутков	Шифр, учитывающий марку сплава и состояние поставки	Механические свойства (не менее)		
			предел прочности *кг/мм²*	относительное удлинение при $l = 5$ %	твердость по Бринелю *кг/мм²*
МА1	Горячепрессованные (без термообработки)	МА1	18	2	40
МА2	То же	МА2	24	5	45
МА3	Отожженные	МА3-М	26	8	50
МА4	Горячепрессованные (без термообработки)	МА4	29	7	—
МА4	Закаленные (после гомогенизации)	МА4-Т4	30	10	—
МА5	Закаленные	МА5-Т4	30	8	55

Примечание. Показатели механических свойств относятся к прутками диаметром до 130 *мм*.

Дополнительные технические требования, предъявляемые к пруткам ГОСТами

По ГОСТ 1535—48 электрическое сопротивление прутков, изготовляемых из меди марки М1, отнесенное к 1 *м* длины и 1 *мм*² площади поперечного сечения, должно быть не более, *ом*:

Для прутков отожженных . 0,01748
Для прутков неотожженных 0,01790

По ГОСТ 1628—48, тянутые прутки из бронзы марки Бр. КМц3-1 по требованию заказчика должны выдерживать загиб в холодном состоянии без появления следов надрыва и отслоений. Загиб производится на 90° вокруг оправки с радиусом закругления, равным диаметру прутка.

По ГОСТ 6511—53, тянутые прутки из оловянноцинковой бронзы по требованию потребителя испытываются на загиб.

По ГОСТ 2060—48:

а) прутки по требованию потребителя изготовляются из сплавов марок ЛС59-1, Л62 и ЛС63-3 с антимагнитными свойствами;

б) тянутые прутки из сплавов всех марок должны быть подвергнуты низкотемпературному отжигу.

По ГОСТ 1525—53, 1628—48, 2060—48 и 6511—53, прутки не должны иметь в изломе посторонних включений, расслоений, пустот и других дефектов.

По ГОСТ 4783—49, макроструктура прутков не должна иметь ликвационных скоплений, неметаллических включений, трещин и утяжин. Поверхность прутков должна быть чистой, без трещин, забоин, вмятин, плен, задиров и царапин. При контрольной зачистке прутков поверхностные дефекты не должны выводить размеры прутков за пределы допустимых отклонений.

Аналогичные требования предъявляются к пруткам, поставляемым по ведомственным техническим условиям АМТУ 227—49

2. Трубы

Трубы свинцовые прессованные, ГОСТ 167—41

Размеры свинцовых прессованных труб, *мм*

Таблица 11

Внутренний диаметр	Допускаемое отклонения	Толщина стенки	Внутренний диаметр	Допускаемые отклонения	Толщина стенки	Внутренний диаметр	Допускаемые отклонения	Толщина стенки
8	+0,0 −0,8	3,5	35	+0,3 −1,4	3;4;5;6;7;8	70	+1,0 −2,4	5;7,9
10	+0,0 −0,8	4;5	38	+0,3 −1,4	4;5;6;7;8	75	+1,0 −2,4	6;7;9
13	+0,0 −1,0	3;4,5	40	+0,3 −1,4	4;5;6;7;8	80	+1,0 −2,4	6;7,9
16	+0,0 −1,0	2;3;4;5	45	+0,5 −2,0	4:5;6;7;8	90	+1,0 −2,4	7;9
19	+0,0 −1,0	2,5;3:4;5;6	50	+0,5 −2,0	(4);(5);6;7;8;9	100	+1,0 −2,4	7;9
22	+0,3 −1,4	2,5;3;4;5,6;7	55	+0,5 −2,0	(4);(5);6;7;8;9	110	+1,0 −2,4	7;9
25	+0,3 −1,4	2,5;3;4;5;6;7;8	60	+1,0 −2,4	5;6;7;8;9	125	+1,7 −3,8	8;10
30	+0,3 −1,4	3,4;5;6;7;8	65	+1,0 −2,4	5;7;9	150	+1,7 −3,8	8;10
33	+0,3 −1,4	3;4;5;6;7;8						

Вес свернутых в бухты свинцовых труб, имеющих внутренний диаметр до 40 *мм* (включительно) должен быть не менее 50 *кг;* труб с внутренним диаметром от 40 до 55 *мм* (включительно) — не менее 70 *кг.*

Длина труб с внутренним диаметром от 60 до 110 *мм* в прямом виде должна быть не менее 2,5 *м;* труб с внутренним диаметром от 125 до 150 *мм* — не менее 2,0 *м.*

Таблица 12

Допускаемые отклонения по толщине стенки прессованых свинцовых труб, *мм*

Толщина стенки	Допускаемые отклонения	Толщина стенки	Допускаемые отклонения	Толщина стенки	Допускаемые отклонения
2	±0,25	4	±0,45	8	±0,80
2,5	±0,25	5	±0,45	9	±0,80
3	±0,25	6	±0,65	10	±0,80
3,5	±0,45	7	±0,65		

Трубы латунные, ГОСТ 494—52

Таблица 13

Размеры тянутых труб из латуни марок Л68 и ЛО70-1, *мм*

Наружный диаметр: номинал	Наружный диаметр: допускаемые отклонения	Толщина стенки	Допускаемые отклонения по толщине стенки
10 12 13	—0,20	0,75; 1 0,75; 1; 1,5 —	Трубы с толщиной 0,75 и 1 *мм* могут иметь отклонения по толщине стенки ±0,10 *мм*; с толщиной стенки 1,5 *мм* ± 0,15 *мм*; с толщиной стенки
14 15 16 18 19	—0,24	0,75; 1; 1,5 0,75; 1; 1,5 0,75; 1; 1,5; 2 1; 1,5; 2 0,75; 1; 1,5; 2	
20 21 22		1; 1,5; 2 1 1; 1,5; 2	
23 24 25 26 28 29 30	—0,30	1; 1,5; 2 0,75; 1; 1,5; 2 1; 1,5; 2 1; 1,5 1; 1,5; 2 1; 1,5 1; 1,5	2 *мм* ± 0,20 *мм*; с толщиной стенки 3 *мм* ± 0,25 *мм*
32 35 38	—0,35	1; 1,5 1; 1,5 3	

Размеры тянутых труб общего назначения из латуни марки Л62, *мм* Таблица 14

Наружный диаметр: номинал	Наружный диаметр: допускаемые отклонения	Толщина стенки
3		0,5
4		0,5
5		0,5; 0,75; 1
6		0,5; 0,75. 1; 1,5
7		0,5; 0,75
8	—0,20	0,5; 0,75; 1; 1,5; 2
9		0,5; 0,75; 1; 1,5; 2
10		0,5; 0,75; 1; 1,5; 2
11		1; 1,5
12		0,5; 0,75; 1; 1,5; 2; 2,5; 3
13		0,5; 1; 1,5; 2
14		0,5; 1; 1,5; 2
15		0,5; 1; 1,5; 2, 2,5; 3
16	—0,24	0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3
17		0,5; 2,5; 3,5
18		1;1,5 2; 4
19		1; 1,5; 2; 2,5; 3; 5
20		1; 1,5; 2, 2,5, 3; 5
21		2; 2,5; 4,5
22		1; 1,5, 2; 2,5; 3; 4; 6
23		1; 1,5; 2,5; 3; 3,5; 4,5
24		1; 2; 3; 4; 7
25	—0,30	1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4
26		1; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 7
27		1; 2; 3; 3,5; 5
28		1; 1,5; 2; 3; 3,5; 4; 5; 6
29		1; 2
30		1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 6
31		3; 4; 4,5
32		1; 1,5; 2; 4; 4,5; 5
34		5; 6
35	—0,35	1; 1,5, 2; 2,5; 3; 4; 4,5; 6
36		3; 4; 5; 6; 7
37		2, 5; 7
38		1. 1,5; 2 2,5, 3; 4; 4,5; 5; 10
40		1; 2; 2,5, 3,5; 4,6
42		1, 2; 3; 3,5; 5
45		1,5; 2; 3; 3,5; 4; 6
46	—0,40	1; 5
47		1
48		3; 5
50		1; 2; 2,5; 3,5; 4; 7
51		2; 3; 3,5
52		1; 4,5; 6
54	—0,50	2; 4,5; 5; 6
55		2; 3; 4; 5
58		2; 3; 3,5; 4; 5
60		1; 2; 3; 3,5; 4
64	—0,60	2 3,5
65		2; 3,5; 7
70		3; 4
75		2,5; 4
76		3; 4; 10
80		2; 2,5; 4; 7
86		4
90	—0,80	3; 4; 8
93		2
96		3
97		2,5
100		3, 4

Таблица 15

Допускаемые отклонения по толщине стенки тянутых труб из латуни марки Л62, *мм*

Толщина стенки	Допускаемые отклонения	Толщина стенки	Допускаемые отхлонения	Толщина стенки	Допускаемые отклонения
0,5	± 0,10	2,5	± 0,25	5,0	± 0,40
0,75	± 0,10	3,0	± 0,25	6,0	± 0 50
1,0	± 0,10	3,5	± 0,30	7,0	± 0,60
1,5	± 0,15	4,0	± 0,30	8,0	± 0,70
2,0	± 0,20	4,5	± 0,35	10,0	± 0,90

Таблица 16

Размеры прессованных труб из латуни марок Л62, ЛС59-1 и ЛЖМц59-1-1, *мм*

Наружный диаметр		Толщина стенки	Наружный диаметр		Толщина стенки
номинал	допускаемые отклонения		номинал	допускаемые отклонения	
21	+0,20 −0,25	1,5	46		3; 5; 8, 10
22		2	47	+0,45 −0,60	3,5; 6
23		1, 5; 2,5	48		4; 6,5; 9
24	+0,25 −0,30	2; 3	50		5; 7,5; 10; 12,5; 15
25		1,5; 2,5; 3,5	51	+0,50 −0,65	3
26		2; 3; 4	52		3,5; 6
27		2,5; 3,5; 4,5	53		4
28	+0,30 −0,35	3; 4; 5	54	+0,55 −0,70	4,5; 7
29		3,5; 4,5	55		5; 5,5; 7,5; 10; 12,5; 15
30		2; 4; 5	58		4; 6,5; 9
31	+0,35 −0,40	2,5; 3,5; 4,5	59	+0,60 −0,75	4,5
32		3; 5; 6	60		5; 7,5: 10; 12,5; 15
33		3,5	63	+0,65 −0,80	4
34		2; 4; 6	65		5; 7,5; 10; 12,5; 15
35	+0,35 −0,45	2,5; 4,5; 5	68	+0,70 −0,85	4; 6,5; 9; 11,5
36		3; 5; 7	70		5; 7,5; 10; 12,5, 15
37		3,5; 4,5; 6; 8,5	72	+0,75 −0,90	3,5; 8,5
38		4; 6; 7	73		4; 11,5; 14
39		4, 5; 7			
40	+0,40 −0,50	2,5; 5; 7, 7,5, 8,10			
42		3,5; 6, 8			
43		4			
45		2,5; 5			

Продолжение табл. 16

Наружный диаметр		Толщина стенки	Наружный диаметр		Толщина стенки
номинал	допускаемые отклонения		номинал	допускаемые отклонения	
75	+0,80 −0,95	5; 6; 7,5; 10; 12,5; 15;17,5	125	+1,4 −1,6	12,5; 15; 17,5; 20; 22,5; 25; 27,5; 30
			130		10; 15; 20; 25; 27,5; 30
80	+0,85 −1,0	5; 7,5; 10; 12,5; 15; 17,5; 20;	135	+1,5 −1,7	12,5; 17,5; 22,5; 27,5
85		5; 7,5; 10; 12,5; 15; 17,5; 20; 22,5;	140		10; 15; 20, 25; 30; 37,5
90	+0,90 −1,1	5; 7,5; 10; 12,5; 15; 17,5; 20; 22, 5; 25	145	+1,6 −1,8	12,5, 17,5; 22,5; 27,5; 37,5
92		6	150		10; 15; 20;25; 30
95	+1,0 −1,2	7,5; 10; 12,5; 15;17,5; 20; 22,5; 25; 27,5	155	+1,7 −1,9	12,5; 17,5, 22,5; 27,5
100	+1,0 −1,2	7,5; 10; 12,5; 15; 17,5; 20, 22,5; 25; 27,5; 30	160	+1,8 −2,0	10; 15; 20; 25; 30
105	+1,1 −1,3	7,5; 10; 12,5; 15; 17,5; 20; 22,5; 25; 27,5; 30	165	+1,9 −2,1	12,5; 17,5; 22,5; 27,5
110		5; 10;12,5; 15; 17,5; 20; 22,5; 25; 27,5; 30	170		10; 15; 20; 25; 30
112	+1,2 −1,4	6	175	+2,0 −2,2	12,5; 17,5; 22,5; 27,5
115		7,5; 10; 12,5; 15; 17,5; 20; 22,5; 25, 27,5; 30	180		10; 15; 20; 25; 30
120	+1,3 −1,5	10; 15; 17,5; 20; 22,5; 25; 275, 30	185	+2,1 −2,3	12,5; 17,5; 22,5; 27,5; 32,5; 37,5;
123		14	190	+2,2 −2,4	25; 35
			195		27,5; 32,5; 42,5

Допускаемые отклонения по толщине стенки прессованных труб из латуни Л62, ЛС59-1, ЛЖМц59-1-1 (по ГОСТ 494-52), *мм* Таблица 17

Толщина стенки	Допускаемые отклонения	Толщина стенки	Допускаемые отклонения	Толщина стенки	Допускаемые отклонения
1,5	± 0,25	7	± 0,75	20	± 2,0
2	± 0,30	7,5	± 0,75*	22,5	± 2,3
2,5	± 0,40	8	± 0,80	25	± 2,5
3	± 0,45	8,5	± 0,85	27,5	± 2,8
3,5	± 0,50	9	± 0,90	30	± 3,0
4	± 0.50	10	± 1,0	32,5	± 3,3
4,5	± 0,60	11,5	± 1,2	35	± 3,5
5	± 0,60	12,5	± 1,3	37,5	± 3,8
5,5	± 0,65	14	± 1,4	42,5	± 4,3
6	± 0,70	15	± 1,5	—	
6,5	± 0,75	17,5	± 1,8		

* Для труб с наружным диаметром 50 *мм* и выше допускаемые отклонения при толщине стенки 7,5 *мм* установлены ± 0,80 *мм*.

Трубы поставляются длиной от 0,5 до 6 *м*. Трубы тянутые с наружным диаметром до 40 *мм* и толщиной стенки до 3 *мм* поставляются длиной от 0,5 до 7,5 *м*.

Кривизна тянутых труб наружным диаметром 12 *мм* и более и прессованных труб диаметром до 150 *мм* не должна превышать 5 *мм* на 1 *пог. м* длины. Кривизна прессованных труб диаметром более 150 *мм* не должна быть более чем 15 *мм* на 1 *пог. м*.

Излом проверяется у прессованных труб из сплавов ЛС59-1 и ЛЖМц59-1-1, имеющих диаметр 150 *мм*.

Трубы из латуни марки ЛО70-1 должны выдерживать сплющивание наружного диаметра на 65%.

Трубы из латуни марок Л68 и ЛО70-1 должны выдерживать испытание гидравлическим давлением в 50 *кг/см²*.

Трубы из латуни марок Л62, Л68 и ЛО70-1 по требованию потребителя должны изготовляться антимагнитными.

Трубы медные, ГОСТ 617—53

Размеры медных тянутых труб, *мм*

Таблица 18

Наружный диаметр	Допускаемые отклонения	Толщина стенки
3	—0,15	0,5; 0,75
4		0,5; 0,75; 1
5		0,5; 0,75; 1
6		0,5; 0,75; 1; 1,5
7		0,5; 0,75; 1; 1,5
8	—0,20	0,5; 0,75; 1; 1,5; 2
9		0,5; 0,75; 1; 1,5; 2; 2,5
10		0,5; 0,75; 1; 1,5; 2
11		1,5; 2; 2,5; 3
12		1; 1,5; 2
13		1; 1,5; 2; 2,5; 3
14	—0,24	1; 1,5; 2; 2,5; 3
15		1; 1,5; 2,5; 3,5
16		1; 1,5; 2; 3; 4
17		2
18		1; 1,5; 2; 3; 3,5; 4
19		1; 1,5
20	—0,30	1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5
22		1; 1,5; 2; 3; 4; 5
23		1,5; 4,5
24		1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4,5
25		1,5; 3,5
26		1; 1,5; 2; 3; 5
(27)		1; 5;
28		1; 1,5; 2; 3; 5
30		1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 5

Наружный диаметр	Допускаемые отклонения	Толщина стенки
(31)	—0,35	3; 4,5
32		1; 1,5; 2; 3; 4; 4,5
34		1, 1,5; 2; 2,5; 3, 4,5; 5
35		1; 1,5; 2,5; 5
36		2; 2,5; 3; 4
38		1; 1,5, 2,5; 3; 4
40	—0,40	1; 1,5; 2; 2,5; 3; 5
42		1; 1 5, 2; 2,5
44		2
45		1; 1,5, 2; 2,5; 3; 3,5; 5
48		1,5; 2; 3; 4; 5
50		1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4,5
(51)	—0,50	2,5; 3
(53)		1,5; 2
(54)		2
55		1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5 4; 5
60	—0,60	1; 1,5 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 5
(63)		1,5
65		2; 2,5; 3,5; 5
68		4
70		1,5; 2; 2,5, 3; 3,5; 4; 5
75	—0,80	1.5. 2; 2,5; 3; 4; 5
(76)		3
80		1,5; 2; 2,5; 4; 5
85		1,5; 2; 2,5; 3,5; 4 4,5; 5
(86)		3
90		1,5; 2,5; 3,5; 4,5; 5
95		1,5; 2; 2,5
(96)		3; 5
100		1,5; 2; 2,5; 3; 3,5

Примечание. Трубы, наружные диаметры которых взяты в скобки, применять не рекомендуется.

Таблица 19

Допускаемые отклонения по толщине стенки тянутых медных труб, *мм*

Толщина стенки	Допускаемые отклонения	Толщина стенки	Допускаемые отклонения	Толщина стенки	Допускаемые отклонения
0,5	±0,10	2,5	±0,25	5	±0,40
0,75	±0,10	3,0	±0,25	6	±0,50
1,0	±0,10	3,5	±0,30	7	±0,60
1,5	±0,15	4,0	±0,30	10	±0,75
2,0	±0.20	4,5	±0,35		

Таблица 20

Размеры медных тянутых труб, *мм*, с наружным диаметром 100—360 *мм*

Наружный диаметр		Толщина стенки	Наружный диаметр		Толщина стенки	Наружный диаметр		Толщина стенки
номинал	допускаемые отклонения		номинал	допускаемые отклонения		номинал	допускаемые отклонения	
104		2	139		7	206		3
105		2,5	144		2	207		3,5
106		3	145	±0,5	2,5	208		4
107		3,5	145		10	210		5
108		4	146		3	212	±0,7	6
110		5	150		5	214		7
110		10				231		3
114		7	155		2,5	232		3,5
114		2	156		3	233		4
115		2,5	157		3,5	235		5
116		3	158		4	239		7
120	±0,5	5	160		5			
120		10	165		2,5	258		4
122		6	166		3	260		5
124		7	168	±0,6	4	282		3,5
125		2,5	170		5	283		4
129		2	170		10	307		3,5
130		2,5	180		10	308	—0,9	4
130		10	181		3	310		5
131		3	182		3,5	332		3,5
131		3,5	183		4	357		3,5
135		5	185		5	358		4
137		6	189		7	360		5

Таблица 21

Допускаемые отклонения, *мм*, по толщине стенки медных тянутых труб диаметром от 100 до 360 *мм*

Толщина стенки	Допускаемые отклонения	Толщина стенки	Допускаемые отклонения	Толщина стенки	Допускаемые отклонения
2,0	±0,20	3,5	±0,30	6,0	±0,50
2,5	±0,25	4,0	±0,30	7,0	±0,60
3,0	±0,25	5,0	±0,40	10,0	±0,75

Таблица 22

Размеры медных прессованных труб, *мм*

Наружный диаметр		Толщина стенки	Наружный диаметр		Толщина стенки
номинал	допускаемые отклонения		номинал	допускаемые отклонения	
30	±0,35	5	85	±0,9	10; 12,5; 15; 17,5; 20 22,5
32		5; 6	90		7,5; 10; 12,5; 15; 17,5; 20; 22,5; 25
34		6	95	±0,9	7,5; 10; 12,5; 15; 17,5; 20; 22,5; 25; 27,5
36		5; 7	100		10; 12,5; 15; 17,5; 20; 22,5; 25; 27,5; 30
38	±0,4	6	105		12,5; 15; 17,5; 20; 22,5; 25; 27,5; 30
40		5; 7; 7,5; 8,5; 10	110	±1,2	10; 12,5; 15; 17,5; 20; 22,5; 25; 27,5; 30
42		6; 8	115		12,5, 15; 17,5; 20; 22,5 25; 27,5; 30
45		5	120		10; 15; 17,5; 20; 22,5; 25; 27,5; 30
46	±0,5	8; 10	125	±1,3	12,5; 17,5; 20; 22,5, 25; 27,5; 30;
50		5; 7,5; 10; 12,5; 15	130		10; 15; 20; 22,5; 25, 27,5; 30
55	±0,6	5; 7,5; 10; 12,5; 15	135	±1,4	12,5; 17,5; 22,5; 25 27,5; 3
60		5; 7,5; 10; 12,5; 15	140		10
65	±0,7	5; 7,5; 10; 12,5; 15	14	±1,5	12,5; 17,5; 22,5; 27,5, 30
70		5; 7,5; 10; 12,5; 15	150		10, 15; 20; 25; 30
75	±0,8	7,5; 10; 12,5; 15; 17,5			
80		10; 12,5; 15; 17,5; 20			

Продолжение табл. 22

Наружный диаметр		Толщина стенки	Наружный диаметр		Толщина стенки
номинал	допускаемые отклонения		номинал	допускаемые отклонения	
155 160	±1,6	12,5; 17,5; 22,5; 27,5 10; 15; 20; 25; 30	195 200	±2,0	12,5; 17 5; 22,5; 27,5 10; 15; 20; 25; 30
165 170	±1,7	12,5; 17,5; 22,5; 27,5 10; 15; 20; 25; 30	210 220	±2,2	10; 15; 20; 25; 30 10; 15; 20; 25; 30
175 180	±1,8	12,5; 17,5; 22,5; 27,5 10; 15; 20; 25; 30	230 240 250	±2,5	10; 15; 20; 25; 30 10; 15; 20; 25; 30 15; 20; 25, 30
185 190	±1,9	12,5; 17,5; 22,5; 27,5 10; 15; 20; 25; 30	260 270 280	±2,8	10; 20; 25; 30 15; 25; 30 10; 20; 30

Таблица 23

Допускаемые отклонения по толщине стенки прессованных медных труб, *мм*

Толщина стенки	Допускаемые отклонения	Толщина стенки	Допускаемые отклонения	Толщина стенки	Допускаемые отклонения
5,0	±0 5	8,5	±0,85	20,0	±1,8
6,0	±0,6	10,0	±1,0	22,5	±1,8
7,0	±0,7	12,5	±1,2	25,0	±2,0
7,5	±0,75	15,0	±1,4	27,5	±2,2
8,0	±0,8	17,5	±1,6	30,0	±2,4

Медные трубы, поставляемые немерной длины, должны удовлетворять следующие требования: тянутые трубы должны быть длиной от 1 до 6 *м;* трубы с наружным диаметром до 36 и с толщиной стенки до 2 *мм* могут поставляться в бухтах длиной до 25 *м*. Длина прессованных труб должна быть от 0,5 до 6 *м*.

Медные трубы, поставляемые мерной длины или кратной ей, должны удовлетворять следующие требования: тянутые трубы должны при наружном диаметре трубы до 100 *мм* поставляться длиной от 1 до 6 *м;* при наружном диаметре 100—150 *мм* — длиной от 1 до 5 *м;* 150—225 *мм* — длиной от 1 до 4 *м;* 300—360 *мм* — длиной от 1 до 2 *м*.

Для судостроительной промышленности трубы поставляются при наружном диаметре труб 225—300 *мм* длиной от 1 до 4 *м;* при наружном диаметре труб 300—360 *мм* и толщине стенки 3,5 *мм* — длиной до 3 *м;* при толщине стенки 4 *мм* и более — длиной до 2,5 *м*.

Длина прессованных труб устанавливается по соглашению сторон.

Трубы из меди марки М1 изготовляются только для токопроводящих изделий, а трубы из меди марки МЗС — только для судостроительной промышленности.

Кривизна медных труб должна быть не более 5 *мм* на 1 *пог. м*. Для прессованных труб с наружным диаметром более 150 *мм* кривизна не должна превышать 15 *мм* на 1 *пог м*. Кривизна не устанавливается для медных труб, поставляемых в бухтах, и для мягких труб с наружным диаметром до 38 *мм* и толщиной стенки до 1,5 *мм*; с наружным диаметром 39—90 *мм* и толщиной

стенки до 3 *мм*; с наружным диаметром 90—150 *мм* и толщиной стенки до 5 *мм*.

Трубы, предназначаемые для работы под давлением, должны выдерживать испытание гидравлическим давлением не менее вычисленного по формуле

$$P = \frac{1100\,S}{D_в}\ кг/см^2,$$

где S — толщина стенки, *мм*;

$D_в$ — внутренний диаметр, *мм*.

Тянутые медные трубы испытываются на сплющивание. Тянутые трубы с внутренним диаметром 30 *мм* и более после отжига должны выдерживать испытание на отгибание борта (ширина 25% внутреннего диаметра, но не более 25 *мм*) на 90°.

Трубы бронзовые прессованные, ГОСТ 1208—54

Трубы изготовляются из бронзы марок Бр.АЖМц10-3-1,5 и Бр.АЖН10-4-4.

Таблица 24

Размеры прессованных труб из бронзы марок Бр.АЖМц10-3-1,5 и Бр.АЖН10-4-4, *мм*

Наружный диаметр		Толщина стенки
номинал	допускаемые отклонения	
50	±0,5	5; 7,5*
55	±0,6	5; 7,5
60		5; 7,5; 10
65	±0,7	7,5; 10; 12,5
70		7,5; 10; 12,5; 15
75	±0,8	7,5; 10; 12,5; 15; 17,5
80		7,5; 10; 12,5; 15; 17,5; 20
85	±0,9	7,5; 10; 12,5; 15; 17,5; 20; 22,5
90		7,5; 10; 12,5; 15; 17,5; 20; 22,5; 25
95	±1,0	7,5; 10; 12,5; 15; 17,5; 20; 22,5; 25
100		10, 12,5; 15; 17,5; 20; 22,5; 25; 30
105		10; 12,5; 15; 17,5; 20; 22,5; 25; 30
110	±1,2	10; 12,5; 15; 17,5; 20; 22,5; 25; 30
115		10; 12,5; 15; 17,5; 20; 22,5; 25; 30; 32,5
120		10; 12,5; 15; 17,5; 20; 22,5; 25; 30; 32,5; 37,5*
125	±1,3	12,5; 15; 17,5, 20; 22,5; 25; 30; 32,5
130		15; 17,5; 20; 22,5; 25, 30; 32,5
135	±1,4	12,5; 17,5; 20; 22,5; 25; 30; 32,5; 37,5
140		15; 17,5, 20; 22,5, 30; 32,5
155	±1,6	12,5, 17,5; 22,5; 32,5; 40
160		15; 17,5; 20; 25; 42,5
175	±1,8	12,5; 17,5; 22,5; 32,5; 37,5*
190	±1,9	20, 25, 30; 40
205	±2,1	22,5; 32,5, 37,5; 42,5
220	±2,2	30*; 50*

* Трубы из бронзы марки Бр. АЖН10-4-4 с толщиной стенки 7,5; 30; 37,5; и 50 *мм* не изготовляются.

Таблица 25

Допускаемые отклонения по толщине стенки прессованных труб из бронзы марок Бр АЖМц10-3-1,5 и Бр.АЖН10-4-4, *мм*

Толщина стенки	Допускаемые отклонения	Толщина стенки	Допускаемые отклонения	Толщина стенки	Допускаемые отклонения
5,0	±0,5	17,5	±1,6	32,5	±2,5
7,5	±0,75	20,0	±1,8	37,5	±3,0
10,0	±1,0	22,5	±1,8	40,0	±3,2
12,5	±1,2	25,0	±2,0	42,5	±3,4
15,0	±1,4	30,0	±2,4	50,0	±4,0

Трубы поставляются длиной не менее 0,5 *м*. Кривизна труб диаметром до 150 *мм* не должна превышать 5 *мм* на 1 *пог. м*; для труб диаметром свыше 150 *мм* кривизна должна быть не более 15 *мм* на 1 *пог. м*.

Трубки полутомпаковые тонкостенные из сплава марки Л80, ГОСТ 5685—51

Все полутомпаковые тонкостенные трубки подразделяются на группы 1 (трубки без дна) и 2 (трубки с дном.). В свою очередь каждая группа делится на четыре типа: тип I — трубки однослойные; тип II — трубки двухслойные; тип III — трубки трехслойные и тип IV — трубки четырехслойные.

Таблица 26

Основные размеры полутомпаковых тонкостенных трубок, *мм*

Наружный диаметр	Толщина стенки			
	тип I	тип II	тип III	тип IV
8	0,10; 0,14	0,20. 0,28	—	—
10	0,08; 0,12; 0,14	0,16; 0.24; 0,28	—	—
12	0,10	0,12. 0,20	—	—
14	0,08; 0,14	0,16: 0,28	—	—
16	0,10; 0,16	0,20; 0,32	—	—
18	0,14	0,12. 0,28	0,42	—
20	0,08; 0,12; 0,18	0,16: 0,24; 0,36	0,36	—
22	0,14; 0,20	0,28: 0,40	0,42	—
24	0,10. 0,18	0,20; 0,36	0,30	—
26	0,08; 0,10; 0,12; 0,16	0,16· 0,20; 0,24; 0,32	0,36; 0,48	—
28	0,14. 0,18; 0,25	0,28; 0,36; 0,50	0,42; 0,54	—
30	0,10. 0,16	0 20; 0,32	0,48	—
32	0,14; 0,20	0,28. 0,40	0,42	—
34	0,10; 0,18	0,20. 0,36	0,30	—
36	0,12. 0,14· 0,18	0,24. 0,28; 0,36	0,36, 0,54	—
38	0,14; 0,18; 0,20	0,28. 0,36; 0,40	0,42; 0,60	—
40	0,12; 0,25	0,24· 0,50	0,36	—
45	0,20. 0,30	0,40· 0,60	0,60	—
50	0,14; 0,18	0,28. 0,36	0,42; 0,54	0,56; 0,72
55	0,12, 0,16; 0,20	0,24; 0,32; 0,40	0,48; 0,60	0,64; 0,80
60	0,10. 0,16	0,20; 0,32	0,30, 0 48	0,40; 0,64
65	0,14. 0,20; 0,25; 0,30	0,28; 0,40; 0,60	0,42; 0,60	0,56; 0,80
70	0,12; 0,25	0,24; 0,50	0,36	0,48
75	0,10; 0,14; 0,20	0,20; 0,28; 0,40	0,42; 0,60	0,56; 0,80
80	0,14; 0,18	0,28; 0,36	0,54	0,72

Примечание. Допускаемое отклонение по наружному диаметру должно быть в пределах +0,1 *мм*. Допускаемые отклонения по толщине стенки приведены в табл. 27.

Таблица 27

Допускаемые отклонения по толщине полутомпаковых тонкостенных трубок, *мм*

Трубки типа I										
Толщина стенки	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,25	0,30	—
Допускаемое отклонение по толщине стенки	±0,007	±0,012	±0,012	±0,014	±0,016	±0,018	±0,020	±0,025	±0,030	—
Допускаемая разностенность при длине, *мм*:										
до 200	0,007	0,012	0,012	0,014	—	—	—	—	—	—
свыше 200	—	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,025	0,025	—
Трубки типа II										
Толщина стенки	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36	0,40	0,50	0,60
Допускаемое отклонение по толщине стенки	±0,02	±0,02	±0,03	±0,03	±0,03	±0,04	±0,04	±0,04	±0,05	±0,05
Допускаемая разностенность при длине, *мм*:										
до 200	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	—	—	—	—	—
свыше 200	—	—	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06
Трубки типа III										
Толщина стенки (суммарная)	0,30	0,36	0,42	0,48	0,54	0,60	—	—	—	—
Допускаемые отклонения по толщине стенки	±0,03	±0,04	±0,04	±0,05	±0,05	±0,05	—	—	—	—
Допускаемая разностенность	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	—	—	—	—
Трубки типа IV										
Толщина стенки (суммарная)	0 ,40	0,48	0,56	0,64	0,72	0,80	—	—	—	—
Допускаемые отклонения по толщине стенки	±0,04	±0,05	±0,05	±0,06	±0,06	±0,06	—	—	—	—
Допускаемая разностенность	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	—	—	—	—

Трубки второй группы с дном типа I изготовляются без отверстия в дне, а трубки типов II, III и IV — соответственно с двойным, тройным и четверным дном, при этом только один внутренний слой имеет глухое (без отверстия) дно, а остальные имеют в дне отверстие.

Трубки второй группы с наружным диаметром до 30 *мм* должны иметь диаметр отверстия в дне не более половины наружного диаметра, а трубки с наружным диаметром свыше 30 *мм* — не более 15 *мм*.

Трубы из алюминия и алюминиевых сплавов, ГОСТ 1947—56

Таблица 28

Размеры круглых тянутых труб из алюминия и алюминиевых сплавов, *мм*

Наружный диаметр		Толщина стенки	Наружный диаметр		Толщина стенки
номинал	допускаемые отклонения		номинал	допускаемые отклонения	
6	—0,15	0,5—1,0	40	—0,25	0,75—5,0
7		0,5—1,5	42		0,75—5,0
8		0,5—2,0	45		0,75—5,0
9		0,5—2,0	48		0,75—5,0
10		0,5—2,5	50		0,75—5,0
11		0,5—2,5	52	—0,35	0,75—5,0
12		0,5—3,0	55		0,75—5,0
14		0,5—3,0	58		0,75—5,0
16		0,5—3,5	60		0,75—5,0
18		0,5—3,5	65		1,5—5,0
20		0,5—4,0	70		1,5—5,0
22	—0,20	0,5—5,0	75		1,5—5,0
24		0,5—5,0	80		2,0—5,0
25		0,5—5,0	85	—0,50	2,0—5,0
26		0,75—5,0	90		2,0—5,0
28		0,75—5,0	95		2,0—5,0
30		0,75—5,0	100		2,5—5,0
32	—0,25	0,75—5,0	110		2,5—5,0
34		0,75—5,0	115		3,0—5,0
36		0,75—5,0	120		3,5—5,0
38		0,75—5,0			

Таблица 29

Допускаемые отклонения по толщине стенки круглых тянутых труб из алюминия и алюминиевых сплавов, *мм*

Толщина стенки	Допускаемые отклонения	Толщина стенки	Допускаемые отклонения	Толщина стенки	Допускаемые отклонения
0,5	±0,05	2,0	±0,18	3,5	±0,25
0,75	±0,08	2,5	±0,20	4,0	±0,28
1,0	±0,10	3,0	±0,25	5,0	±0,04
1,5	±0,14				

Таблица 30

Размеры круглых прессованных труб из алюминия и алюминиевых сплавов, *мм*

Наружный диаметр		Толщина стенки	Наружный диаметр		Толщина стенки
номинал	допускаемые отклонения		номинал	допускаемые отклонения	
25	±0,5	5	100	±1,0	10. 15. 20 25; 30
28		5; 6	105		7,5: 12,5; 15; 17,5; 22,5. 27,5. 30. 32,5
30		5; 6; 7	110	±1,2	10· 15; 20. 25; 30
32		5: 6; 7; 7,5	115		12,5. 15. 17,5; 22,5; 27,5. 32,5
34		5; 6; 7; 7,5; 8; 9; 10	120		10. 15 20. 30
36			125	±1,3	12,5. 15 17,5; 22,5; 27,5, 32,5
38			130		10, 15· 20. 25: 30
40		5; 6; 7; 7,5; 8; 9, 10, 12,5	135	±1,4	12.5; 17,5. 22,5; 27,5, 32,5
42		5; 6; 7; 7,5; 8; 9; 10 12,5; 15	140		10; 15. 20. 25. 30
45			145	±1,5	12,5; 17,5. 22,5 27,5. 32,5
48			150		10. 15. 20 25 30
50			155	±1,6	12.5; 17,5; 22,5. 27.5. 32,5
52	±0,6		160		10; 15. 20. 25, 30
55			165	±1,7	12,5. 17,5. 22 5. 27,5. 32,5
58			170		10. 15. 20. 25; 30
60			175	±1,8	12,5. 17,5; 22,5; 27,5; 32,5
62		5; 6: 7; 7,5; 8: 9. 10, 12,5; 15. 17,5	180		10. 15: 20: 25: 30
65	±0,7	5; 7,5. 10. 12,5; 15. 17,5; 20	185	±1,9	12,5. 17,5. 22,5; 27,5 32,5
70		5: 8. 9: 10: 15: 20	190		10; 15: 20; 25; 30
75	±0,8	7,5; 12,5. 15; 17,5; 20; 22,5	195	±2,0	12,5 17,5; 22,5; 27,5. 32,5
80		8; 9: 10. 15; 20	200		
85	±0,9	7,5; 12,5. 15; 17,5; 20; 22,5; 25	210	±2,2	10; 15; 20; 25; 30
90		10; 15; 20; 25	220		
95	±1,0	7,5; 12,5; 15; 17,5; 20; 22,5; 25; 27,5	230	±2,5	
			240		
			250		
			260	±2,8	
			270		
			280		

Таблица 31

Допускаемые отклонения по толщине стенки прессованных труб из алюминия и алюминиевых сплавов, *мм*

Толщина стенки	Допускаемые отклонения	Толщина стенки	Допускаемые отклонения	Толщина стенки	Допускаемые отклонения	Толщина стенки	Допускаемые отклонения
5	±0,5	8	±0,8	15	±1,4	25	±2,0
6	±0,6	9	±0,9	17,5	±1,6	27,5	±2,2
7	±0,7	10	±1,0	20	±1,8	30	±2,4
7,5	±0,75	12,5	±1,2	22,5	±1,8	32,5	±2,6

Примечание. По требованию потребителя допускается поставка прессованных труб с толщиной стенки 11,5 *мм* диаметром 48; 52; 58 и 75 *мм*.

Таблица 32

Размеры квадратных труб из алюминия и алюминиевых сплавов, *мм*

Наружная сторона	Толщина стенки	Наружная сторона	Толщина стенки	Наружная сторона	Толщина стенки
10	1—1,5	28	1,5—4	55	2—5
12	1—1,5	32	1,5—4	60	2—5
14	1—2	36	1,5—4	65	2—5
16	1—2	40	1,5—4	70	2—5
18	1—2,5	42	1,5—5	75	2—5
20	1—2,5	45	1,5—5	80	2—5
22	1,5—3	50	1,5—5	90	2—5
25	1,5—3				

Таблица 33

Размеры прямоугольных (рис. 1) труб из алюминия и алюминиевых сплавов, *мм*

Наружная сторона	Толщина стенки	Наружная сторона	Толщина стенки	Наружная сторона	Толщина стенки
14×10	1—2	32×18	1—4	55×40	1,5—5
16×12	1—2	32×25	1—5	60×40	2—5
18×10	1—2	36×20	1—5	70×50	2—5
18×14	1—2,5	36×28	1—5	80×60	2—5
20×12	1—2,5	40×25	1,5—5	90×60	2—5
22×14	1—2,5	40×30	1,5—5	100×50	2—5
25×15	1—3	45×30	1,5—5	100×60	2—5
28×16	1—3	50×30	1,5—5	120×60	2,5—5
28×22	1—4				

Квадратные и прямоугольные трубы выпускаются с толщиной стенки 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4 и 5 *мм* и допускаемым отклонением по толщине стенки, предусмотренным для труб круглого сечения.

По наружным размерам квадратных и прямоугольных труб допускаются отклонения: при размере до 50 *мм* ±0,5 *мм;* свыше 50 *мм* ±1%. Внутренний радиус сопряжения сторон $r=5$ *мм*.

Поперечный прогиб сторон профиля не должен превышать при стороне до 50 *мм* 0,5 *мм*; при 50—75 *мм* — 0,75 *мм;* свыше 75 *мм* — 1,0 *мм*.

Трубки специального назначения

Таблица 34

Размеры каплевидных труб из алюминия и алюминиевых сплавов и допускаемые отклонения, *мм*

Большая ось овала		Малая ось овала		Толщина стенки	Большая ось овала		Малая ось овала		Толщина стенки
номинал	допускаемые отклонения	номинал	допускаемые отклонения		номинал	допускаемые отклонения	номинал	допускаемые отклонения	
27	±1,0	11,5	±0,5	1	74	±2,0	31,5	±1,0	2
33,5		14,5		1	81		34		2
40,5		17		1	81		34		2,5
40,5		17		1,5	87,5	±2,5	37		2
47	±1,5	20	±0,8	1	87,5		37		2,5
47		20		1,5	94,5		40		2,5
54		23		1,5	101		43		2,5
54		23		2	108		45,5		2,5
60,5		25,5		1,5	114,5		48,5		2,5
60,5		25,5		2	121		51,5		2,5
67,5	±2,0	28,5	±1,0	1,5	128	±3,0	54,5	±1,5	3,5
67,5		28,5		2	131		57		2,5
74		31,5		1,5	135		57		3,5

Отожженные трубы из алюминия марок АД и АД1 должны выдерживать без образования трещин испытание, на продольное сжатие до половины первоначальной длины.

Отожженные трубы из сплава марки АМг должны выдерживать без образования трещин сплющивание до соприкосновения стенок, а нагартованные и полунагартованные трубы — до сближения стенок на расстояние, равное четырехкратной толщине стенки.

Структура материала труб не должна быть крупнокристаллической. Кривизна для твердых труб допускается не более 1 *мм* на 1 *пог. м* длины; для мягких труб допускается кривизна, если она устраняется свободным нажатием руки.

Таблица 35

Основные радиаторные трубки (рис. 1) ГОСТ 529—41

№ трубки	Шестигранная (Ш)			Круглая (К)		Средний вес 1 *пог. м* (не более) *г*
	*B** *мм*	*h* *мм*	*S*** *мм*	*D*** *мм*	*S*** *мм*	
4	3,72	4,14+0,1 −0,15	0,2	4	0,2	23
5	4,62	5,18+0,1 −0,15	0,2	5	0,2	29
6	5,53	6,23+0,1 −0,15	0,15	6	0,15	26
7	6,44	7,28+0,1 −0,2	0,15	7	0,15	31
8	7,38	8,37+0,1 −0,25	0,15	8	0,15	35
9	8,25	9,37+0,1 −0,25	0,15	9	0,15	40
10	9,20	10,4+0,1 −0,3	0,15	10	0,15	44
11	10,10	11,45+0,1 −0,3	0,15	11	0,15	49

* Допускаемые отклонения ко всем номерам трубок будут +0,1 и −0,05.
** Допускаемые отклонения ко всем номерам трубок будут ±0,02.
*** Допускаемые отклонения ко всем номерам трубок ±0,1 *мм*.

Таблица 36

Вспомогательные радиаторные трубки (рис. 1), ГОСТ 529—41

№ трубки	Пятигранная (ПГ)					Полутрубка (ПТ)					К основной трубке
	*B** *мм*	*h*** *мм*	h_1 *мм*	*R* *мм*	*S**** *мм*	*B** *мм*	*h*** *мм*	h_1 *мм*	*R* *мм*	*S**** *мм*	
4	3,72	3,7	2,70	0,8	0,2	2,36	4,05	1,78	0,6	0,2	Ш4
$^4/_1$						2,50	4,90	2,89	0,6	0,2	К4
5	4,62	4,64	3,38	1	0,2	2,81	5,17	2,24	0,6	0,2	Ш5
$^5/_1$						3,00	6,04	3,46	0,6	0,2	К5
6	5,53	5,70	4,18	1,5	0,15	3,37	6,42	2,68	0,6	0,15	Ш6
$^6/_1$						3,50	7,20	4,04	0,6	0,15	К6
7	6,44	6,56	4,78	1,5	0,15	3,82	7,34	3,14	0,7	0,15	Ш7
$^7/_1$						4,10	8,58	4,73	0,7	0,15	К7
8	7,38	7,60	5,54	2	0,15	4,44	8,78	3,68	0,7	0,15	Ш8
9	8,25	8,48	6,18	2	0,15	4,88	9,77	4,03	0,7	0,15	Ш9
10	9,20	9,29	6,72	2	0,15	5,35	11,00	4,60	0,7	0,15	Ш10
11	10,10	8,52	5,70	2	0,15	5,80	12,06	5,00	0,7	0,15	Ш11

* Допускаемые отклонения ко всем номерам трубок будут ±0,1.
** Допускаемые отклонения ко всем номерам трубок будут + 0,1 и −0,2 5.
*** Допускаемые отклонения ко всем номерам трубок + 0,02.

Длина трубки указывается в заказе. Немерные трубки поставляются длиной 1250—4000 *мм*.

Допускается кривизна, *мм/пог. м*, для труб длиной, *мм*:

До 250	0,7
250—450	1,25
450—500	1,5
Немерной длины . . .	Не более 7

Угол скручивания профилированной трубки не должен превышать 5° на 1 *пог. м*.

Кривизна трубок, указанных в табл. 37, допускается не более 1 *мм*. Все трубки (кроме прямоугольных) должны выдерживать испытание на герметичность давления воздуха не менее 7 *ат*, прямоугольные трубки — не менее 2 *ат*. Выдержка под этим давлением должна быть не менее 1 сек.

Трубки плоскоовальные бесшовные (табл. 38) поставляются длиной до 1300 *мм* мерной или немерной длины по указанию заказчика. Кривизна трубок не должна превышать величин, указанных в табл. 39.

Скручивание радиаторных плоскоовальных бесшовных трубок не должно превышать:

Длина трубки, *мм*	До 400	401—500	501—700	701—900	901—1300
Скручивание, *мм*	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0

Трубки при пробном давлении воздухом в 0,5 *ат* должны быть герметичными. По требованию потребителя пробное давление может быть повышено.

Таблица 37

Трубки радиаторные с толщиной стенки 0,1 *мм* (рис. 1), ГОСТ 2644—44

Форма профиля	Условное обозначение	*B*, *мм*	*h*, *мм*	h_1, *мм*	*D*, *мм*	*S*, *мм*	Длина трубок *мм*	Средний вес 1 *пог. м* *г*
Шестигранная	Ш4-0,1	3,72+0,10 −0,05	4,14+0,10 −0,15	—	—	0,10±0,02	254±0,5	13
Круглая	К4-0,1	—	—	—	4±0,10	0,10±0,02	256±0,5	13
Прямоугольная	П3-0,1	4±0,5	2,20±0,10	—	—	0,10±0,02	250±0,5	13
Трапециевидная	Т4-0,1	2,43±0,10	4,65+0,10 −0,15	2,34±0,25	—	0,10±0,02	250±0,5	—

Таблица 38

Трубки радиаторные плоскоовальные бесшовные из сплава марки Л96 (по ГОСТ 2936—56)

Ширина *мм* (±0,5)	Высота *мм* (±0,15)	Толщина стенки, *мм*		
		0,25±0,02	0,4±0,03	0,55±0,06
17	2,5	+	+	—
	3,5	+	+	—
17,5	4	—	—	+
18	2,2	+	—	—
19	2	+	—	—
	2,2	+	+	+
19,5	2,5	+	+	—
21,5	3	+	—	—

Примечание. Знак «+» обозначает, что трубка с такой толщиной стенки может быть заказана.

Знак «—» обозначает, что такую трубку заказать нельзя.

Таблица 39

Кривизна радиаторных плоскоовальных бесшовных трубок

Длина трубки *мм*	Стрела прогиба, *мм*		Длина трубки *мм*	Стрела прогиба, *мм*	
	вдоль ребра	вдоль плоской стороны		вдоль ребра	вдоль плоской стороны
До 400	0,7	2	501—850	2,0	5
401—500	1,2	4	Свыше 850	2,5	6

Трубы конденсаторные морские, ГОСТ 2203—43. Сортамент конденсаторных труб принят по ГОСТ 494—41. Трубы изготовляются из мельхиора марки МНЖМц-30-0,8-1,0 или из латуни марки ЛА77-2. Конденсаторные морские трубы поставляются в отожженном состоянии и должны выдерживать гидравлическое испытание в 70 *ат* в течение 10 сек.

Трубки, изготовленные из латуни марки Л62, поставляются в нормализованном состоянии после отжига при 250—280°.

Трубки капиллярные из сплава марки ЛТ96, ГОСТ 2624—44. Капиллярные трубки изготовляются с внутренним диаметром от 0,3 ± 0,05 до 0,50 ± 0,05 *мм* при наружном диаметре от 1,2 ± 0,08 до 2,5 ± ± 0,08 *мм*.

Трубки манометрические (по ГОСТ 2622—44) Таблица 40

Форма профиля	Изготовлено из сплава	Размер *мм*	*A* *мм*	*B* *мм*	*R* *мм*	Толщина стенки *мм*
Овальная	Л62	8×3	8	3	1	0,15; 0,20; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45; (0,50; 0,55, 0,60; 0,65; 0,70· 0,75; 0,80; 0,85)*;
	Бр. ОФ4-0,25	10×2,5	10	2,5	1	0,38; 0,55
Плоско-овальная	Бр. ОФ4-0,25	7,5×5	7,5	5	2,5	0,40; 0,45; 0,50; 0,55; 0,60; 0,65; 0,70. 0,75; 0.80, 0,85; 0,90; 0,95; 1.0; 1,10; 1,20
	Л62	20×6	20	6	3	0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55; 0,60; 0,65· 0,70, 0,75; 0,80, 0,90; 0,95; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8
Допускаемые отклонения	—	—	±0,2	±0,2	—	Для 0,15±0,15; для 0,20 и 0,25±0,02; для 0,30÷ 0,55±0,03; для 0,60÷ 0,80±0,04; для 0,80÷ ÷1,8±0,05

* Размеры, взятые в скобки, применять не рекомендуется.

Длина манометрической трубки должна быть не менее 1 *м*. Местная кривизна трубки в плоскости большой оси (рис. 1, *А*) не должна превышать 7 *мм*, а для малой оси (*В*) — 6 *мм* на 1 *пог. м* длины трубки.

Длина капиллярной трубки должна быть не менее 10 *м*. Трубки поставляются в мягком (отожженном) состоянии и испытываются на герметичность сухим воздухом или азотом давлением 40—50 *ат*.

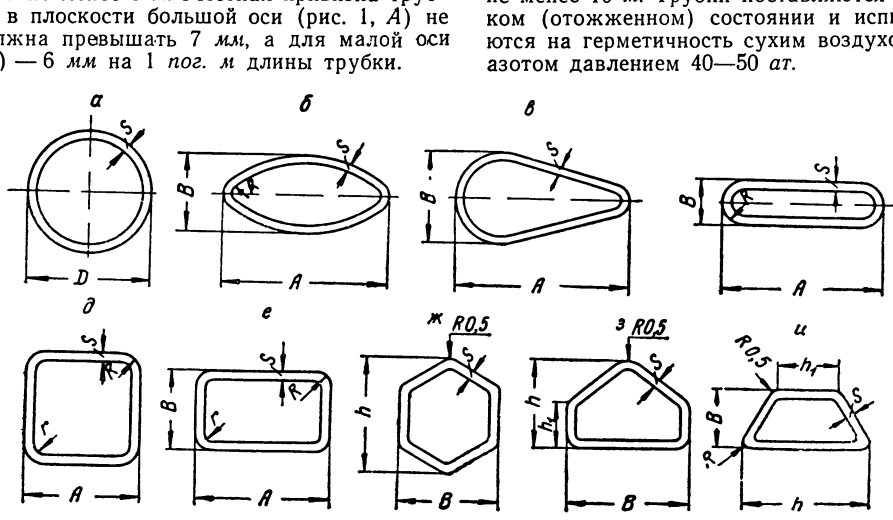


Рис. 1. Поперечные сечения труб:
а — круглое; *б* — овальное; *в* — каплевидное; *г* — плоскоовальное; *д* — квадратное; *е* — прямоугольное; *ж* — шестигранное; *д* — пятигранное; *и* — трапециевидное

Пропускная способность трубки под давлением сухого воздуха 0,3 *ат* в течение 1 мин. должна быть:

Длина трубок, *м*	*см*³ (не менее)
10	4,2
20	2,1
40	1,05
60	0,70

Таблица 41

Механические свойства труб из алюминия и алюминиевых сплавов (по ГОСТ 4773—49)

Марка сплава	Состояние материала	Обозначения труб	Размеры труб, *мм*		Предел прочности при растяжении, *кг/мм*²	Предел текучести *кг/мм*²	Относительное удлинение, %
			диаметр	толщина стенки		не менее	
Д1	Отожженные	Д1М	Всех размеров		⩽25	—	10
	Закаленные и естественно состаренные		⩽22	⩽1 1,5—2	⩾38	20	13 14
			22—50	⩽1 1,5—5	⩾40	23	12 13
			>50	Всех размеров			11
			Фасонные всех размеров				12
Д6	Отожженные	Д6М	Всех размеров		⩽25	—	10
	Закаленные и естественно состаренные	Д6Т	⩽22	⩽1 1,5—2	⩾42	26	13 12
			22—50 >50	Всех размеров	⩾43	29	12 10
			Фасонные всех размеров			27	10
Д16	Отожженные	Д16М	Всех размеров		⩽25	—	10
	Закаленные и естественно состаренные	Д16Т	⩽22	⩽1 1,5—2	⩾42	26	13 14
			22—50 >50	Всех размеров	⩾43	29	12 10
			Фасонные всех размеров			27	10
АВ	Отожженные	АВМ	Всех размеров		⩽15	—	17
	Закаленные и естественно состаренные	АВТ			⩾21	—	14
	Закаленные и искусственно состаренные	АВТ1			⩾31	—	8
АМг	Отожженные	АМгМ			⩽22	—	—
	Полунагартованные	АМгП			⩾21	—	—
	Нагартованные	АМгН			⩾23	—	—

Продолжение табл. 41

Марка сплава	Состояние материала	Обозначения труб	Размеры труб, *мм*		Предел прочности при растяжении, *кг/мм²*	Предел текучести, *кг/мм²*	Относительное удлинение, %
			диаметр	толщина стенки		не менее	
АМц	Отожженные	АМцМ	Всех размеров		⩽13	—	—
	Нагартованные при протяжке	АМцН			⩾14	—	—
АД	Отожженные	АДМ	Всех размеров		⩽12	—	20

Механические свойства труб, изго

ГОСТ и ТУ	Марка металла или сплава	Способ изготовления	Состояние материала	Размер *мм*
ГОСТ 167—41	СВ; С0; С1; С2; С3 и С4	Прессованные	—	—
ГОСТ 494—52	Л62	Тянутые	Мягкие	—
	Л68	То же	То же	—
	ЛО70-1	» »	» »	—
	Л62	» »	Полутвердые	—
	Л68	» »	То же	—
	ЛО70-1	» »	» »	—
	Л62	Прессованные	—	—
	ЛС59-1	То же	—	—
	ЛЖМц59-1-1	» »	—	—
ГОСТ 529—41	Медь + 0,8÷1,2% Mn	Тянутые	—	Для трубок № 4—8
	ЛТ96	То же	—	Для трубок № 9—11
ГОСТ 617—53	М1; М2; М3; Л96 и М3С	» »	Отожженные	—
ГОСТ 1208—54	Бр. АЖМц10-3-1,5	Прессованные	—	—
	Бр. АЖН10-4-4	То же	—	—
ГОСТ 2203—43	МНЖМц30-0,8-1	Тянутые	Отожженные	—
	ЛА77-2	То же	То же	—
ГОСТ 2622—44	Л62	» »	Нормализованные	8×3
	Л62	» »	То же	20×6
ГОСТ 2622—44	Бр. ОФ4-0,25	» »	Твердые	7,5×5
	Бр. ОФ4-0,25	» »	То же	10×2,5
	Бр. ОФ4-0,25	» »	Мягкие	10×2,5
ГОСТ 2624—44	Л96	» »	—	—
ГОСТ 2644—44	Л96	» »	—	—
ГОСТ 2936—56	Л96	» »	—	—
ГОСТ 5685—51	Л80	» »	—	—
ТУ 962-3449—57	МНЖ5-1	» »	Твердые	До 258

* С согласия потребителя верхние пределы твердости могут быть увеличены, а для труб из бронзы ное удлинение будет не менее 15%.

Продолжение табл. 41

Марка сплава	Состояние материала	Обозначения труб	Размеры труб. *мм*		Предел прочности при растяжении, *кг/мм²*	Предел текучести, *кг/мм²*	Относительное удлинение %
			диаметр	толщина стенки		не менее	
АД	Нагартованные при протяжке	АДН	Всех размеров	⩽2	⩾11	—	4
				2,5—5	⩾10	—	5
АД1	Отожженные	АД1М	Всех размеров		⩽12	—	20
	Нагартованные при протяжке	АД1Н	Всех размеров	⩽2	⩾11	—	4
				2,5—5	⩾10	—	5

товляемых из меди и ее сплавов Таблица 42

Предел прочности *кг/мм²*	Относительное удлинение: %	Относительное удлинение: расчетная длина образца	Твердость по Бринелю *кг/мм²*	Области применения
	не менее			
Не определяется				Химическая, коксобензольная, анилокрасочная, фармацевтическая
30	38	δ_{10}	—	Общего назначения
30	38	δ_{10}	—	Теплообменные аппараты, работающие на пресной воде
30	38	δ_{10}	—	То же, работающие на морской воде
34	30	δ_{10}	—	Общего назначения
35	30	δ_{10}	—	Теплообменные аппараты, работающие на пресной воде
35	30	δ_{10}	—	То же, работающие на морской воде
30	38	δ_{10}	—	—
40	20	δ_{10}	—	—
44	28	δ_{10}	—	—
35—60	Не определяется		—	Сотовые радиаторы
48—58	»	»	—	—
21	35	δ_{10}	—	Общего назначения
60	12	—	129—171*	—
65	5	—	170—220*	—
38	23	$11{,}3\sqrt{F}$	—	Конденсаторы в морском судостроении
38	23	$11{,}3\sqrt{F}$	—	То же
40	8	100	—	Пружины для манометров
45	7	100	—	То же
50	2	100	—	» »
50	2	$11{,}3\sqrt{F}$	—	» »
33	40	$11{,}3\sqrt{F}$	—	» »
Не определяется			—	Аппарато- и приборостроение
35—60	Не определяется		—	Радиаторы
35—60	»	»	—	»
Не определяется			—	Приборостроение (для сильфонов)
26	30	—	—	Судостроительная промышленность

Бр. АЖМц10-3-1,5 предел прочности может быть уменьшен до 55 *кг/мм²* при условии, что относитель-

§ 2. ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. Указания по выбору размера слитков

Заготовкой для горизонтальных прессов являются слитки, отлитые в чугунные и водоохлаждаемые изложницы, а также полунепрерывным методом литья. Последний способ в настоящее время находит преимущественное применение. Сравнительно редко в качестве заготовки применяют прессованные прутки крупных размеров, из которых вытачиваются шашки для вертикальных прессов. В незначительном количестве шашки для вертикальных прессов изготовляют из катаных и литых заготовок.

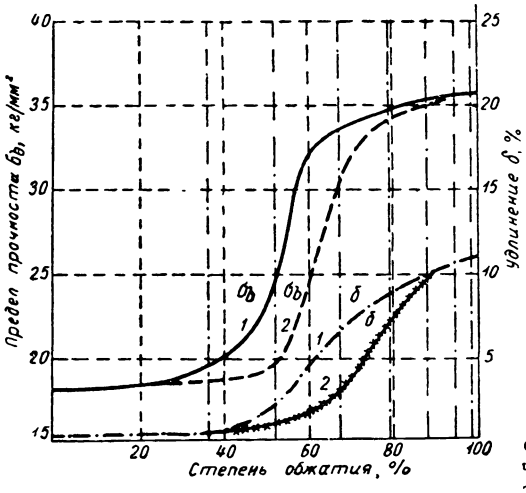


Рис. 2. Изменение механических свойств прессованного прутка из магниевого сплава, содержащего 10% алюминия, в зависимости от степени деформации: *1* — поверхность прутка; *2* — сердцевина

При выборе размеров слитков обычно руководствуются следующими соображениями. Диаметр слитков должен обеспечивать достаточно высокое обжатие при прессовании. Длина слитков должна быть по возможности наибольшей, чтобы сократить количество отходов. Размеры слитков должны быть подобраны с учетом всех технологических и конструктивных особенностей последующей обработки изделий: длина стеллажей у пресса, разрезки изделий на части, длины готовых изделий, потерь и отходов металла на операциях и т. д.

Слитки берут такого диаметра, чтобы обжатие при прессовании составило не меньше 85—90%. В этом случае, как это видно из табл. 43 и рис. 2, механические свойства прессованного изделия получаются более высокими и равномерными по сечению. При обжатиях свыше 90% относительная величина переднего (недостаточно проработанного) конца изделия уменьшается, что способствует увеличению выхода годного. Длина дефектной части переднего конца прутка примерно составляет:

При обжатии на 55 % 2*D*
» » » 75 % . . . . . *D*
» » » 90 % 0,75*D*

где *D* — диаметр прутка.

С увеличением обжатия уменьшается также величина прессутяжки в заднем конце прессуемого изделия.

Таблица 43

Влияние величины обжатия на механические свойства прутков из сплава МА3 при прессовании их из слитков диаметром 165 *мм* [8]

Состояние образцов	Диаметр прутка *мм*	Обжатие %	Предел прочности *кг/мм²*		Относительное удлинение %		Твердость H_B, *кг/мм²*	
			н	с	н	с	н	с
До термической обработки	100	65	26,1	19,6	8,0	2,7	63,2	59,0
	50	90	28,5	28,3	10,1	10,0	70,1	70,1
После термической обработки	100	65	27,8	27,1	15,8	14,6	70,1	69,2
	50	90	31,5	31,7	17,6	17,2	76,5	76,9

Примечание. н — наружный слой прутка; с — сердцевина прутка.

Более низкое обжатие (80—75%) применяют при прессовании заготовок для вертикальных прессов, а также в тех случаях, когда имеющееся оборудование не допускает прессования с более высокими степенями деформации.

При выборе размера слитков необходимо учитывать также жесткость сплава. В табл. 44 приведены принятые на практике степени деформации при прессовании прутков и труб из различных металлов и сплавов.

шашки для вертикальных прессов, при изготовлении их непосредственно из слитков или горячекатаных прутков. Шашки, изготовленные из прутков, прессованных на горизонтальных прессах, поступают в прессовку без обточки. Исключение представляют шашки из никелевых и некоторых других сплавов, которые предназначаются для весьма ответственных изделий и обычно подвергаются обточке для повышения качества этих изделий.

Таблица 44

Вытяжки, принятые на практике при прессовании труб и прутков из цветных металлов и сплавов

Металл или сплав	Наименование изделия	Коэффициенты вытяжек	Металл или сплав	Наименование изделия	Коэффициенты вытяжек
Медь	Трубы	4—100	ЛО62-1	Прутки	4—1400
Медь	Прутки	4—180	Бр АЖМц10-3-1,5	Прутки	10—75
Л68	Трубы	4—50	Бр.ОФ6,5-0,15	Прутки	4—20
Л62	Трубы	6—100	Д1	Прутки	10—40
Л62	Прутки	4—1400	Д1	Трубы	10—25
ЛС59-1	Прутки	4—1400	Алюминий, магний	Трубы	4—100

Примечание. При прессовании прутков диаметром 10 и 8 *мм* из алюминия высокой чистоты допустимы вытяжки соответственно 300 и 450 (контейнер 180 *мм*).

Для того чтобы слиток свободно входил в отверстие контейнера, необходимо обеспечить между ними достаточный зазор. Величина последнего определяется по формуле:

$$C = D_0 - D_1(1 + \alpha t),$$

где C — зазор, *мм*;

D_0 — диаметр контейнера, *мм*;

D_1 — диаметр слитка, *мм*;

t — температура нагрева слитка, °С;

α — коэффициент линейного расширения.

На горизонтальных прессах этот зазор достигает 5—10 *мм*; на вертикальных 1—2 *мм*.

Длина слитка определяется свойствами металла или сплава, силой давления пресса и размерами изделия. При обработке легко прессуемых сплавов длину слитка подбирают близкой к длине контейнера, за вычетом высоты пресс-шайбы. При прессовании тяжелообрабатываемых сплавов и мелких изделий длину слитков уменьшают. На практике длину слитков обычно принимают равной 0,5—0,7 длины контейнера для горизонтальных прессов и 0,3—0,5 длины контейнера для вертикальных прессов.

Слитки из меди и ее сплавов, а также частично и из алюминиевых и магниевых сплавов, поступают на горизонтальные прессы без обточки. В случае повышенных требований к качеству изделий из легких сплавов слитки обтачивают. Обтачивают также

Сверловку слитков (шашек) применяют для обеспечения минимальной разностенности труб, повышения качества внутренней поверхности труб, когда возможно налипание металла на иглы, а также когда имеется опасность искривления игл при прошивке тяжелопрессуемых сплавов и длинных слитков. Диаметр отверстия делают на 1 *мм* больше диаметра иглы. Полые слитки обычно изготовляют из мельхиора, фосфористой меди; дуралюмина и других металлов и сплавов.

2. Размеры слитков и технические условия на них

В табл. 45 и 46 приведены размеры слитков, применяемых при прессовании прутков и труб из цветных металлов и сплавов.

Технические условия на эти слитки обычно содержат следующие требования:

1. Отклонения от номинального размера не должны превышать, *мм*:

По диаметру для размера, *мм*:

150—400	—6

По длине для размера, *мм*:

200—350	±15
400—550	±25
600 и выше	±35

2. Литниковая часть слитков должна быть обрезана; торцы обрезанного слитка

Таблица 45

Размеры слитков и прессуемых из них труб и сила давления пресса

Металл или сплав	Сила давления пресса, *т*	Слитки		Трубы	
		диаметр, *мм*	длина, *мм*	внутренний диаметр, *мм*	толщина стенки, *мм*
Медь	1500	150	200	26	2
	1500	200	250	20—55	4—5,5
	1500	200	350	50—70	4—7,5
	1500	250	350	40—80	7,5—15
	1500	250	350	100—120	5—6
Медь, Л62, ЛЖМц59-1-1, ЛС59-1	2500	200	250	20—120	5,5—8
	2500	200	250	40—65	3,5—4,5
	2500	200	375	60—100	3,5—5
	2500	200	375	40—100	5,5—14
	2500	200	375	30—55	15—17,5
	2500	250	350	40—100	6,5—15
	2500	250	350	100—120	5
	2500	300	475	110—170	5—8,5
	2500	300	475	80—170	10—14
	2500	300	475	60—130	15—17,5
	2500	300	475	40—120	30—32,5
	2500	300	475	60—75	38,5—40
	2500	400	550	120—260	10—30
	2500	400	550	100—130	32,5—42
Л96	600	80	170	23	2
ЛО70-1	600	97,5	140	26—40	2,5—3
	2500	200	220	49	6
Л68	600	97,5	140	26—38	2
	600	97,5	180	26—35	2,5—4
	2500	200	330	49	6
Л62	600	97,5	140	26—35	2—3
	1500	150	200	26	2
Л62, ЛС59-1	1500	150	250	18—40	3—3,5
Л62	1500	200	350	20—100	5—6
	1500	250	350	110	5
ЛС59-1, ЛЖМц59-1-1	1500	150	240	30—40	2—2,5
	1500	150	240	22—25	4
	1500	150	240	26—30	3
	1500	150	350	25—35	7,5
	1500	175	250	35—40	3
	1500	175	250	24—35	3,5—4
	1500	175	250	22—30	7
	1500	175	350	50—65	3
	1500	175	350	40—70	3,5—4
ЛЖМц59-1-1	1500	200	250	20—40	5—8
	1500	200	350	35—80	5—10
	1500	250	350	40—100	7,5—15
Бр.А5	600	97	120	34	2,75
Бр.АЖМц 10-3-1,5	1500	175	350	40—50	5
	2500	200	250	35—45	7,5
	2500	200	375	40—80	7,5—17,5
Бр АЖН 10-4-4	2500	250	350	40—60	7,5—10
	2500	300	400	50	17,5
	2500	300	475	55—130	15—17,5
	2500	300	475	40—110	20—40
	2500	400	550	120—160	20—30
	2500	400	550	90—140	32,5—50
Никель	2500	200×50	250	40	6
МНЖМц 30-0,8-1	600	83,5	130	26	3
	600	97,5	140	26	3

Таблица 46

азмеры слитков и прессуемых из них прутков и полос из цветных металлов и сплавов и сила давления пресса

Металл или сплав	Сила давления пресса, *т*	Размер слитка *мм*		Диаметр прутков *мм*
		диаметр	длина	
Прутки				
Медь	1000	145	300	5—11
	1000	145	350	14
	1000	175	300	17—25
	1000	175	450	32—40
	1500	150	300	11,3
	1500	175	350	23—34
	1500	175	450	35—50
	1500	200	600	50—75
	2500	250	600	80—100
	2500	300	600	100—150
Медь, Л62, ЛО62-1, ЛС59-1, ЛЖМц59-1-1	2500	200	750	55—70
Медь, Л62, ЛО62-1, ЛС59-1, ЛЖМц59-1-1, Бр АЖМц10-3-1,5 и Бр АЖН10-4-4	2500	300	475	75—100
Л96, Л85	2500	200	500	103
Л68, ЛО70-1, Л62	2500	200	750	97,5
ЛС63-3	1000	145	250	12—26
Л62, ЛО62	1000	145	350	6—12
	1000	175	450	16—45
	1500	175	350	9—20
	1500	175	450	21—55
	1500	200	300	5,4
Л62, ЛМц59-2	1500	250	500	50—75
Л62	2500	250	600	80—100
	2500	300	650	110—150

Продолжение табл. 46

Металл или сплав	Сила давления пресса, *т*	Размер слитка *мм*		Диаметр прутков, *мм*
		диаметр	длина	
ЛС59-1, ЛЖМц59-1-1	1000	145	300	5—12
	1000	175	350	7—18
	1000	175	450	9—28
	1000	175	550	29—50
	1500	250	650	50—80
	2500	300	750	80—100
ЛС59-1	1500	200	400	5,4
	1500	200	600	13
	1500	200	600	25
ЛМц58-2	1000	145	350	8—11
	1000	145	450	12—14
	1000	175	350	16—25
	1000	175	450	25—45
Бр.А5	2500	200	600	97,5
Бр.АЖ9-4	1000	145	250	16—18
	1000	175	250	22—28
	1000	175	350	30—32
	1000	175	450	35—48
	2500	250	450	50—75
	2500	250	600	80—100
	2500	300	600	110—160
	2500	400	500	180
Бр.АЖМ10-3-1,5	1000	145	250	16—18
	1000	175	225	22—28
	1000	175	350	30—32
	1000	175	450	35—48
	1500	175	250	16—18
	1500	175	350	20—25
Бр.АЖМ10-3-1,5	1500	175	450	28—50
	2500	250	500	50—75
	2500	250	600	80—100
	2500	300	600	110—160
Бр.АЖН10-4-4	1500	175	350	30—32
	1500	175	450	35—50
	2500	200	650	55—70
Бр.ОФ6,5-0,15	600	83,5	150	17—25
Бр.ОФ6,5-0,15 Бр.ОЦ4-3	2500	200	200	35—55
	2500	200	350	60—90
	2500	250	350	100—120
Бр.ОЦ4-3	600	97	150	25—35
БХЦ, БХО, БХБ, БХ1	1500	175	250	12—30
	1500	175	350	35—50
	2500	200	375	55—70
	2500	300	500	75—100
	2500	400	550	110—175
Бр.НА14-3 (куниаль А)	2500	200	450	60
	2500	300	350	75
	2500	300	475	90
Бр КН1-3	2500	200	500	83,5
МНЖМц30-0,8-1	2500	200	750	88
Полосы				
ЛС59-1	1500	250	650	25×180
Алюминий	2500	400	300	20×200
	2500	400	400	20×250
	2500	400	550	29×250

должны быть плотными, без усадочной рыхлости, свищей, трещин, раковин и шлаковых включений; заусенцы должны быть удалены.

3. На необработанной поверхности слитков не допускаются литейные дефекты, за исключением чистых углублений («завитков») глубиной не выше 3 *мм* без шлаковых включений; наличие в углублениях остатков от сгоревшей смазки допускается.

4. На поверхности слитков отлитых полунепрерывным методом, допускаются «складки» глубиной до 3 *мм*, мелкие чистые раковины глубиной до 3 *мм* и окисные пленки; нижний торец слитка с выступом на донной части при отсутствии указанных выше дефектов не отрезается.

5. Допускается удаление поверхностных дефектов шарошкой; места, обрабатываемые шарошкой, должны иметь пологие края; глубина обработки шарошкой не должна превышать на медных слитках диаметром до 300 *мм* (включительно) 6 *мм*, на слитках других сплавов и размеров — 8 *мм*; допускается кольцевая обработка шарошкой на глубине до 5 *мм*.

Слитки, принятые отделом технического контроля (ОТК), маркируются.

§ 3. ОСНОВНЫЕ СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ТЕОРИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

1. Основные схемы производственного процесса изготовления труб и прутков

По существующим ГОСТам промышленность изготовляет из цветных металлов и сплавов прутки и трубы прессованные и тянутые и трубы холоднокатаные.

Прессованные прутки и трубы поступают на склад после незначительного числа отделочных операций: правки, обрезки концов и удаления дефектов.

Тянутые прутки получаются в результате прессования и, обычно, однократного волочения. Исключение представляют прутки из хромистой бронзы и мелкие прутки (диам. 5—8 *мм*) из меди, для которых число волочений увеличивается до 2—8.

Тянутые и холоднокатаные трубы обрабатываются по следующим основным схемам: прессование — волочение; прессование — прокатка; прессование — прокатка — волочение. Выбор схемы обработки определя-

ется имеющимся оборудованием и технико-экономическими показателями.

По первой схеме предоставляется возможность изготовлять тянутые трубы различных размеров и форм, выпуск труб небольшими партиями не вносит существенных затруднений в составление схем волочения и подбор инструмента. Производительность волочильных станов высокая по сравнению с производительностью станов холодной прокатки труб (ХПТ). Основным недостатком схемы является значительное число операций и большие отходы металла.

Вторая схема включает незначительное число операций и обеспечивает получение более высокого процента выхода годного. Достоинством этой схемы является возможность обрабатывать трубы с высокой степенью деформации без отжигов, что особенно важно при обработке жестких сплавов (мельхиора, латуни, дуралюмина и др.). Кроме того, по такой схеме можно изготовлять профилированные трубы и трубы с переменными диаметром и толщиной стенки по длине, которые невозможно получить только прессованием или прессованием с последующим волочением. Недостатком схемы является сравнительно низкая производительность станов ХПТ, высокая стоимость инструмента и большие затраты времени на его смену. Особенностью процесса прокатки является еще и то, что требуются рабочие высокой квалификации. Применение станов ХПТ рентабельно в тех случаях, когда необходимо трубы подвергнуть значительной деформации и когда заказ на них является значительным по тоннажу.

Третья схема применяется при производстве длинных труб небольшого сечения. В этом случае достаточно длинная заготовка прокатывается на станах ХПТ и подвергается волочению на барабанах. Эта схема находит применение также в том случае, когда из-за невысокого качества калибров на трубах остаются следы прокатки в виде волнистости и вообще когда сама прокатка не преследует цели получения готовых труб. Последующая однократная протяжка труб на цепном волочильном стане устраняет указанные дефекты.

Операции прессовки и прокатки в перечисленных схемах часто производятся дважды. Так, заготовкой для вертикальных прессов обычно служат шашки, нарезанные из прутков, прессованных на горизонтальных прессах. Заготовка, прокатанная на стане ХПТ, иногда поступает для последующей прокатки на стан меньшего размера.

2. Величины, характеризующие процессы прессования, волочения и прокатки

Для количественного определения степени деформации при прессовании, волочении и прокатке принято пользоваться следующими формулами:

при обработке прутков.

$$\lambda = \frac{F_0}{F_1} = \frac{D_0^2}{D_1^2} = \frac{L_1}{L_0};$$

$$\gamma = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100 = \frac{D_0^2 - D_1^2}{D_0^2} \cdot 100 = \frac{L_1 - L_0}{L_1} \cdot 100 = \frac{\lambda - 1}{\lambda} \cdot 100\%;$$

при обработке труб:

$$\lambda = \frac{F_0}{F_1} = \frac{(D_0 + d_0)(D_0 - d_0)}{(D_1 + d_1)(D_1 - d_1)} = \frac{L_1}{L_0};$$

$$\gamma = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100 = \frac{L_1 - L_0}{L_1} \cdot 100 = \frac{\lambda - 1}{\lambda} \cdot 100\%,$$

где λ — коэффициент вытяжки (вытяжка);
γ — относительное обжатие (обжатие);
F_0, F_1 — площадь поперечного сечения изделия до и после обработки, *мм*^{2};
D_0, D_1 — наружный диаметр изделия до и после обработки, *мм*;
d_0, d_1 — внутренний диаметр изделия до и после обработки, *мм*;
L_0, L_1 — длина изделия до и после обработки, *мм*;
$d_0 - d_1$ — осадка, т. е. величина уменьшения внутреннего диаметра трубы при волочении или прокатке;
$S_0 - S_1$ — съем, т. е. величина уменьшения толщины стенки труб, при волочении или прокатке. При волочении прутков съем соответствует разности $D_0 - D_1$.

Суммарный коэффициент вытяжки λ_Σ при многократном волочении или прокатке равен произведению промежуточных коэффициентов:

$$\lambda_\Sigma = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \ldots \ldots \ldots \lambda_{n-1} \lambda_n,$$

или

$$\lambda_\Sigma = \lambda_{ср}^n,$$

где $\lambda_{ср}$ — средний коэффициент вытяжки;
n — число волочений или прокаток.

Для определения числа волочений при заданных суммарной вытяжке и средних вытяжках за проход пользуются формулой

$$n = \frac{\lg \lambda_\Sigma}{\lg \lambda_{ср}}.$$

3. Способы прессования

Принципиальная схема процесса прессования прутка включает в себя контейнер, матрицу и шплинтон. Слиток, помещенный в контейнер, сжимается движением шплинтона и вытекает из матрицы в виде прутка. Поперечное сечение прутка при этом соответствует отверстию матрицы.

Для получения трубы на конце шплинтона укрепляется игла, которая после проши-

вки слитка занимает центральное положение в матрице. Металл при движении шплинтона выходит из контейнера через кольцевой зазор между матрицей и иглой, образуя трубу.

По направлению движения металла относительно неподвижной стенки контейнера различают три метода прессования: прямой метод, когда металл движется в направлении движения шплинтона (рис. 3, *а*, *б*); обратный метод, когда металл движется в направлении, встречном движению шплинтона (рис. 3, *в*, *г*, *д*) и совмещенный метод, когда металл на первой стадии прессования при прошивке слитка иглой движется навстречу ей, а на второй стадии по окончании прошивки — в направлении, совпадающем с движением шплинтона (рис. 3, e_1, e_2).

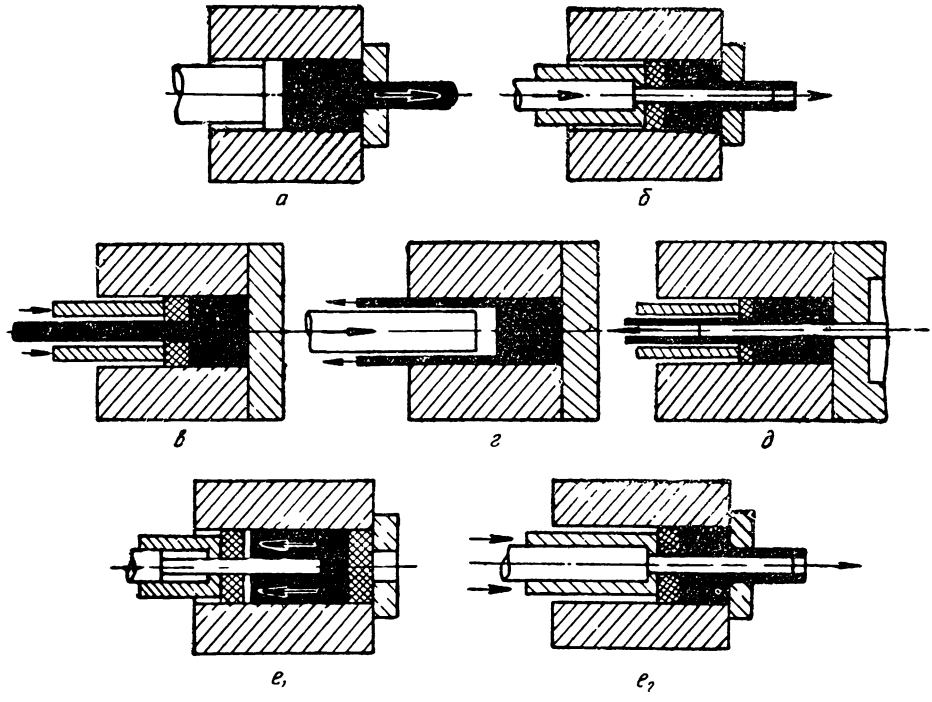


Рис. 3. Схемы методов прессования:
а — прямой метод прессования прутка; *б* — прямой метод прессования трубы; *в* — обратный метод прессования прутка; *г*, *д* — обратный метод прессования трубы; e_1, e_2 — совмещенный метод прессования трубы

Прямой и обратный методы прессования отличаются следующими характерными особенностями.

При прямом методе прессования слиток передвигается в контейнере; между металлом и внутренней стенкой контейнера возникают большие силы трения, на преодоление которых бесполезно затрачивается энергия. Вследствие контакта слитка, обычно с более холодными стенками контейнера пластичность поверхностных слоев слитка понижается. Трение и пониженная пластичность часто приводит к тому, что очаг деформации распространяется на всю длину слитка, и в задней части прутка образуется прессутяжка. Последняя в наибольшей мере проявляется при прессовании латуней, бронз и легких сплавов.

Для уменьшения прессутяжки рекомендуется подогревать контейнер до температуры, возможно близкой к температуре обрабатываемого металла, оставлять достаточно большой пресс-остаток, смазывать контейнер и увеличивать степень деформации. Прессование более длинных слитков снижает относительную величину отходов металла в виде прессутяжки.

При обратном методе прессования основная масса металла находится в контейнере в неподвижном состоянии, поэтому требуется значительно меньшее, по сравнению с прямым методом, усилие прессования. Очаг деформации располагается около матрицы, и истечение металла происходит более равномерно, вследствие чего прессутяжки не образуется. К недостаткам обратного метода относятся: сложность изготовления прессового инструмента, низкая его стойкость, более сложная конструкция прессов и ограниченный ассортимент изделий, которые могут обрабатываться таким методом.

Во избежание попадания в изделие поверхностных дефектов слитка прессование латуней и бронз ведут таким образом, что в изделия попадает только средняя здоровая часть слитка, а его поверхностный слой,

имеющий дефекты, остается в контейнере в виде так называемой рубашки. Для слитков различных диаметров, толщина стенки у рубашек составляет:

Диаметр *мм*	Тощина стенки *мм*
125—150	1
180—250	1,5
300—400	2,0
500	2,5

Прессование труб производится без рубашки, так как рубашка способствует образованию разностенности труб.

Существует способ прессования профилей периодического сечения с законцовкой, т. е. с утолщением на одном конце [20]. Сущность этого способа состоит в том, что изделие до заданной длины сначала прессуется через одну разъемную матрицу, после чего она снимается, а на ее место устанавливается другая разъемная матрица большего размера и возможно другого профиля. Через вторую, а иногда и через третью матрицу выпрессовывается оставшаяся в контейнере часть металла.

Для получения труб и других полых изделий из алюминиевых и магниевых сплавов применяется способ прессования в язычковую матрицу. Роль иглы в такой матрице выполняет «язычок» или сердечник, расположенный в ее отверстии и укрепленный на ноже (см. рис. 44). При прессовании металл слитка рассекается ножом и затекает в очко матрицы. Под действием сжимающих сил металл в очке матрицы сваривается и выходит из матрицы в виде цельного полого изделия. Изделие отделяют от пресс-остатка путем отрыва (при неподвижном контейнере) или срезания гидравлическим ножом с вырезом (при подвижном контейнере).

При прессовании труб применяют прессование с прошивкой, когда сплошной слиток прошивается иглой и из слитка выталкивается средняя часть металла в виде пробки, и прессование без прошивки, т. е. прессование полого слитка.

4. Усилие прессования

Сила давления пресса, под действием которой происходит течение металла из контейнера через матрицу, называется усилием прессования и определяется по формуле

$$P = \frac{N}{a} p,$$

где P — усилие прессования, *т*;

N — номинальная сила давления пресса, *т*;

a — номинальное давление воды высокого давления, на которое рассчитана установка, *кг/см²*;

p — показание манометра в момент прессования, *кг/см²*.

Максимальное удельное давление прессования определяется делением номинальной силы давления пресса на площадь сечения контейнера. Максимальные удельные давления современных гидравлических прессов приведены в табл. 47.

Давление истечения σ находят делением давления пресса P, при котором ведут прессование, на площадь сечения контейнера F:

$$\sigma = \frac{P}{F}$$

Таблица 47

Максимальные удельные давления современных гидравлических прессов

Сила давления пресса *т*	Диаметр контейнера *мм*	Максимальное удельное давление *кг/мм²*	Сила давления пресса *т*	Диаметр контейнера *мм*	Максимальное удельное давление *кг/мм²*
600	85	105,6	2500	205	75,7
600	100	76,5	2500	255	48,8
750	100	95,7	2500	300	35,5
750	125	61,0	2500	400	19,8
750	150	42,5	3000	200	95,5
1000	125	81,3	3000	235	69,2
1000	155	53,0	3000	270	52,5
1000	180	39,4	3000	300	42,5
1500	155	79,5	3000	400	24,0
1500	180	59,0	5000	280	81,7
1500	200	47,8	5000	370	46,4
2000	150	106,0	5000	420	36,0
2000	175	83,4	5000	500	25,5
2000	205	60,7			

Для определения усилия прессования с большей точностью, чем замер давлений по показанию манометра, применяются следующие методы.

Метод упругих деформаций колонн пресса. Специальными приборами (экстензометрами) определяют удлинение колонн пресса в процессе прессования. Зная модуль упругости материала колонн, находят

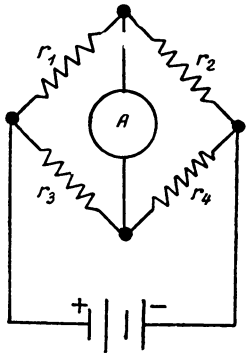


Рис 4 Принципиальная схема проволочного тензодатчика для определения усилия прессования и волочения

возникающие в них напряжения. По сумме этих напряжений определяют усилие прессования.

Метод самопишущего манометра. Давления, возникающие в главном цилиндре пресса, а также ход плунжера записываются на ленте самопишущего манометра. На основании этих записей определяют изменение усилия на разных стадиях прессования.

Метод индуктивной месдозы. Месдозу помещают под основание шплинтона. Под действием давления мембрана месдозы деформируется. Деформация меняет емкость катушки датчика, что регистрируется гальванометром.

Метод проволочных тензодатчиков [29, 34]. Основу схемы этого метода тензометрирования составляют проволочные датчики, являющиеся элементами мостика сопротивлений (рис. 4). При равенстве сопротивлений r_1, r_2, r_3, r_4 или определенном их соотношении, когда $\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4}$, или $r_1 = r_2 \frac{r_3}{r_4}$, тока в гальванометре A не будет и стрелка последнего займет нулевое положение. При нарушении этого соотношения стрелка гальванометра выйдет из нулевого положения. Величина отклонения стрелки будет пропорциональна величине изменения сопротивления.

Для изготовления датчиков применяют проволоку толщиной 0.02—0,03 *мм* из сплава копель, константан, манганин или нихром. Проволоку наклеивают на папиросную бумагу в виде петель длиной 10—25 *мм*. Рабочий датчик r_1 наклеивают на деталь, в которой требуется определить напряжение или деформацию. Холостой датчик r_2, предназначаемый для компенсации влияния температуры, наклеивают на нерабочую деталь «балочку». Датчики r_3 и r_4 помещают внутри прибора. При упругой деформации рабочей детали будет также деформироваться и датчик r_1, что вызовет изменение величины сопротивления. Протарировав шкалу гальванометра на напряже-

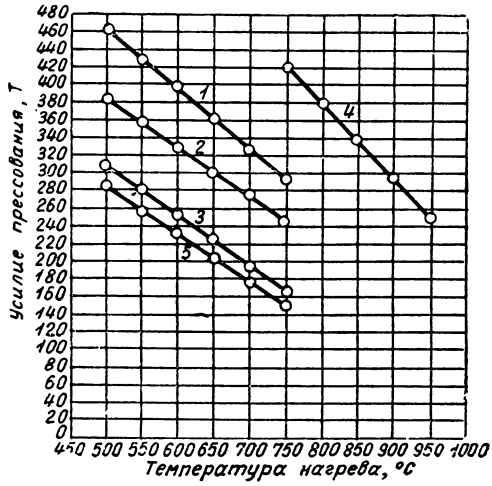


Рис. 5. Изменение усилия прессования с температурой для медных сплавов [12]:
1 — Бр.ОФ4-0,25; *2* — Л96; *3* — медь; *4*—МН70-30; *5* — Л62

ние в детали, находят приложенные к ней усилия.

Факторы, влияющие на усилие прессования

Ниже рассматриваются факторы, влияющие на усилие прессования.

Свойства металлов. По трудности прессования металлы и сплавы условно делят на следующие четыре группы:

1) легко прессуемые: алюминий, магний, латуни с содержанием меди не свыше 60% (ЛАН59-3-2, ЛС59-1, ЛЖМц59-1-1, ЛМц58-2);

2) нормально прессуемые: чистая медь, Л96, Л90, Л62, ЛАН65-5, Бр.АЖ9-4, Бр.АЖМц10-3-1,5, дуралюмины Д18, Д3П, магниевые сплавы МА1, МА2;

3) ненормально прессуемые: Л68, ЛА77-2, Л85, Л80, Бр.АЖН10-4-4, МНЖц30-0,8-1, дуралюмин Д1, магниевые сплавы МА3, МА5;

4) тяжело прессуемые: ЛО70-1, Бр.ОФ6-0,1, Бр.А7, Бр.НА14-3, дуралюмины Д6, Д16, В95.

Температура прессования. На рис. 5 показан характер изменения усилия прессования с изменением температуры металла. При низкой скорости прессования металл охлаждается за счет более холодных стенок контейнера и усилие прессования возрастает. Влияние гомогенизации и продолжительности нагрева слитков магниевого сплава МА3 на усилие прессования показано в табл. 48.

Таблица 48

Влияние предварительной термической обработки слитков сплава МА3 и нагрева их перед прессованием на удельное давление прессования труб [16]

Предварительная термическая обработка слитков до нагрева перед прессованием	Нагрев перед прессованием		Удельное давление *кг/мм²*
	температура °С	продолжительность час	
Не производится	380—350	1	25—30
	380—350	3	21—26
	380—350	6	18—22
	340—300	1	32—40
	340—300	3	25—30
	340—300	6	20—25
Нагрев до 350° в течение 12 час.	340—300	1	19—25
	340—300	3	17—20
	340—300	6	15—18
Нагрев до 350° в течение 24 час.	340—300	1	17—22
	340—300	3	16—20
	340—300	6	13—17

Примечание. Размер слитка 98×42×150 *мм*; размер труб 44×41 *мм*.

Степень деформации. Характер изменения усилия прессования в зависимости от степени деформации приведен на рис. 6.

Длина слитка. При прямом методе прессования вследствие перемещения металла в контейнере усилие прессования с увеличением длины слитка возрастает (рис. 7). По мере выпрессовывания металла из контейнера, если металл не сильно остыл, усилие прессования снижается.

Скорость прессования существенного влияния на усилие прессования не оказывает (рис. 8).

Форма матриц. Для прессования используются матрицы цилиндрические, конические и радиальные (см. рис. 42). При работе с цилиндрическими матрицами усилие прессования требуется выше, чем с коническими. Оптимальным углом у конических матриц является угол $\alpha = 35 \div 50°$. Но такие матрицы не обеспечивают необходимого качества изделий, так как окалина и поверхностные дефекты выпрессовываются вместе с металлом и портят изделие. Поэтому на практике приняты углы $\alpha = 25 \div 30°$, которые задержи-

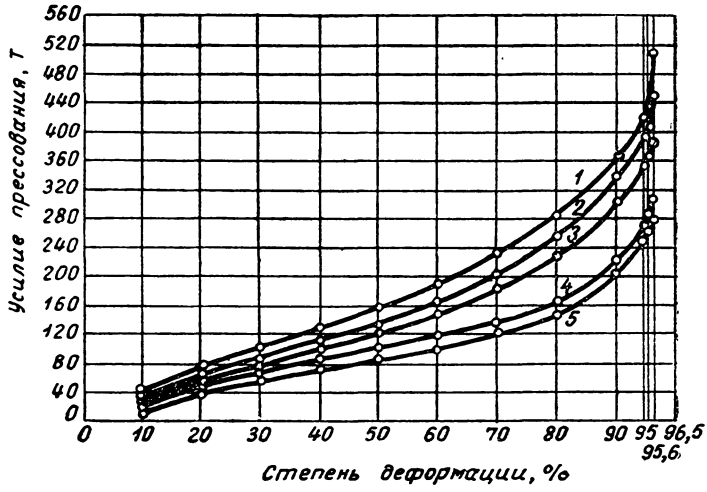


Рис. 6. Изменение усилия прессования в зависимости от степени деформации [12]. *1* — Бр ОФ4-0 25; *2*—МН70-30; *3* — Л96; *4*—медь; *5*—Л62

вают окалину в мертвых углах между матрицей и контейнером. Цилиндрические матрицы применяются преимущественно при прессовании прутков.

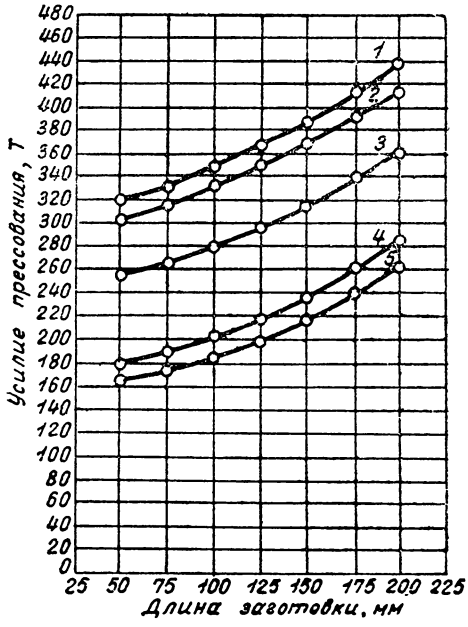


Рис. 7. Изменение усилия прессования в зависимости от длины заготовки [2]:
1 — Бр.ОФ4-0,25, *2* — МН70-30; *3* — Л96; *4* — медь; *5* — Л62

Длина рабочего пояска матрицы оказывает на усилие прессования незначительное влияние. По данным литературы [10] на долю рабочего пояска приходится от 1,5 до 4% общего усилия прессования. У матриц, предназначаемых для прессования меди и ее сплавов на вертикальных и горизонтальных прессах, ширину пояска принимают равной соответственно 8 и 12 *мм*, и для прессования легких сплавов — 5 и 8 *мм*. У матриц, применяемых для прессования профилей с различной толщиной стенки, ширину пояска делают также различной: для толстой части профиля соответствует большая величина пояска. Это делается с целью предупреждения искривления профилей и кручения их при прессовании.

Состояние поверхности инструмента. Полированная рабочая поверхность инструмента и смазка снижают усилие прессования.

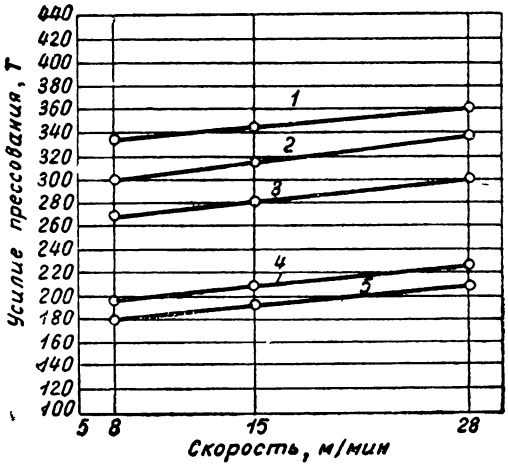


Рис. 8. Влияние скорости истечения на усилие прессования [12]:
1 — Бр.ОФ4-0,25; *2* — МН70-30; *3* — Л96; *4* — медь; *5* — Л62

Характер изменения давления в процессе прессования разных сплавов показан на рис. 9.

Для расчета удельного давления истечения С. И. Губкин [1] предложил следующие формулы:

при прямом методе прессования прутков

$$\sigma = \sigma_s (1 + \operatorname{tg}\alpha f) \cdot \left(1 + \operatorname{tg}\alpha + f + f' \left[\frac{l}{D_к} + \frac{L}{D_н}\right]\right) \ln \frac{F_н}{\Sigma F_к}$$

при прямом методе прессования труб

$$\sigma = \sigma_s (1 + \operatorname{tg}\alpha f) \cdot \left[1 + \operatorname{tg}\alpha + f + f' \left(\frac{l}{D_к} + \frac{L}{D_н} + \frac{L}{d_к}\right)\right] \ln \frac{F_н}{F_к}$$

Таблица 49

Значение предела текучести σ_s для определения усилия прессования тяжелых цветных металлов и сплавов [4], *кг/мм²*

Металлы и сплавы	Температура прессования, °С										
	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
Медь	5,0	4,0	3,9	3,5	3,1	2,6	2,2	2,0	1,8	1,5	1,2
Л68	—	—	—	—	3,5	3,0	2,5	2,0	—	—	—
Л62	4,2	3,5	2,5	2,0	1,5	1,0	0,75	0,5	—	—	—
ЛС59-1	—	—	1,2	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	—	—	—
МНЖМц30-0,8-1	—	—	—	—	—	6,0	5,6	5,1	4,3	3,7	—
Бр.АЖМц10-3-1,5	—	—	—	—	—	1,0	0,8	0,6	0,5	—	—
Бр ОФ4 0,25	7,6	7,1	6,5	6,0	5,4	5,0	—	—	—	—	—

где σ_s — предел текучести при данной температуре прессования (табл. 49—50);

Таблица 50

Значение предела текучести σ_s для определения усилия прессования легких металлов и сплавов [4], кг/мм²

Металлы и сплавы	Температура прессования, °С					
	250	300	350	400	450	500
Алюминий	3,5	2,5	2,0	1,5	—	—
Д16	—	—	5,0	4,0	3,5	2,8
Д1	—	—	4,5	3,5	3,0	2,5
В95	—	—	—	4,5	4,0	3,0
Магний	2,5	2,0	1,6	1,2	1,0	—
МА1	—	4,0	3,4	3,0	2,5	—
МА2, МА8	—	4,2	3,6	3,2	2,8	—
МА3, МА7	—	4,8	4,0	3,5	3,0	—
МА5	—	5,2	4,5	4,0	3,5	—

α — угол между осью контейнера и раструбом матрицы;

f — коэффициент трения в очаге деформации (табл. 51);

f' — коэффициент трения в цилиндрической части матрицы и в контейнере (принимается в 3—3,5 раза меньше f);

l — длина цилиндрического пояска матрицы, *мм*;

$D_к$ — диаметр отверстия матрицы, *мм*;

$d_к$ — диаметр иглы, *мм*;

L — длина слитка, *мм*;

$D_н$ — диаметр контейнера, *мм*;

$F_н$ — площадь сечения контейнера (при прессовании труб $F_н$ — площадь сечения контейнера за вычетом площади сечения иглы);

$\Sigma F_к$ — площадь сечения всех отверстий матрицы.

В случае прессования в цилиндрическую матрицу угол α принимают равным 45—65°, что соответствует естественному углу течения металла, образованному мертвыми углами в контейнере.

В последнее время И. Л. Перлин [9, 39] предложил формулу для расчета давлений прессования. Усилие прессования рассматривается им как сумма усилий, идущих на преодоление реактивных сил:

$$P = T_{кр} + T_м + R_м + T_п,$$

где $T_{кр}$ — силы трения слитка о боковую поверхность контейнера и иглу, если эти силы имеются;

$T_м$ — силы трения деформируемого металла, возникающие на поверхности скольжения в обжимающей части очага деформации;

Таблица 51

Значение коэффициента трения f для расчета усилия прессования цветных металлов и сплавов [4]

Металлы и сплавы	f	Металлы и сплавы	f	Металлы и сплавы	f
Медь	0,25	ЛС59 (до 700°)	0,22	Алюминий	0,28
Л68	0,18	ЛС59 (свыше 700°)	0,27	Алюминиевые сплавы	0,35
Л62 (до 725°)	0,20	Бр.ОФ4-25	0,27	Магний	0,25
Л62 (свыше 725°)	0,27	Бр.АЖМц10-3-1,5	0,29	Магниевые сплавы	0,28
		Бр.АЖН10-4-4	0,29		

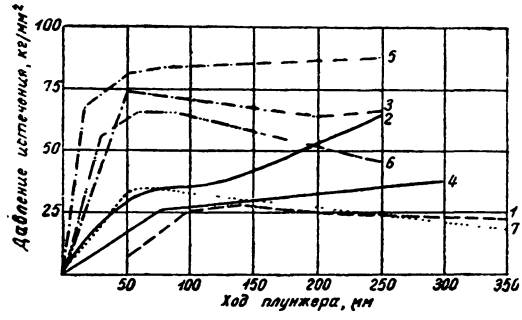


Рис. 9. Диаграмма изменения давления истечения с ходом плунжера для меди и ее сплавов: *1* — медь (860°, $\lambda = 6.6$); *2* — Л62; (750°, $\lambda = 13$); *3* — Л68 (710°, $\lambda = 13,7$); *4* — Бр.АЖМ (820° $\lambda = 30$); *5* — Бр ОФ7-4 (710°, $\lambda = 16,5$); *6* — Д1 (460°, $\lambda = 30$); *7* — то же (470°, $\lambda = 3.2$)

$R_м$ — силы, возникающие от внутренних напряжений, противодействующих осуществлению основной деформации, т. е. обжатию слитка или заготовки до заданных размеров;

$T_п$ — силы трения выпрессованного металла о калибрующий поясок матрицы.

Значения этих составляющих для различных условий прессования приведены в табл. 52.

Пригодность формулы И. Л. Перлина для расчета давлений при прессовании медных труб была подтверждена опытной проверкой [10].

Предел текучести при входе в очаг деформации был принят равным пределу прочности при статическом растяжении в

Таблица 52

Сводная таблица формул для определения усилий прессования $P = R_м + T_м + T_п + T_{кр}$

Составляющие	Характер процесса прессования и вид изделия			
	из круглого слитка			из прямоугольного слитка
	круглый профиль в одну нитку, матрица коническая	круглый и не круглый профиль в одну и несколько ниток, матрица цилиндрическая	круглая труба, игла подвижная, матрица коническая	прямоугольная полоса, матрица коническая
$R_м$	$\frac{0{,}8\,D_н^2}{\cos^2\frac{\alpha}{2}} S_{д.м.с} \ln\lambda$	$(1{,}1 \div 1{,}15)(1{,}70 \times 2) \times 0{,}8\,D_н^2 \times$ $\times S_{д.м.с} \cdot \left(\ln\lambda + \ln\frac{\sqrt{\pi\Sigma F_к}}{2\,a_{с.проф}}\right)$	$0{,}9\left(\frac{D_н^2}{\cos^2\frac{\alpha}{2}} - \frac{d_к^2}{\cos^2\frac{\varphi}{2}}\right) \times$ $\times S_{д.м.с} \ln\lambda$	$1{,}15\frac{\alpha\,ab}{\sin\alpha} \times S_{д.м.с} \ln\lambda$
$T_м$	$\frac{0{,}8\,D_н^2}{\sin\alpha} \times \tau_м \ln\lambda$	$0{,}8\,D_н^2 \tau_м \ln\lambda$	$\frac{1{,}57}{\sin\alpha}(D_н^2 - d_к^2)\tau_м \times$ $\times \ln\frac{D_н - d_к}{D_к - d_к}$	$\frac{ab}{\sin\alpha}\tau_м \ln\lambda$
$T_п$	$\lambda\pi\,D_к\,l f_N\,S_{д.м.к}$	$\lambda\Sigma\Pi l f_N\,S_{д.м.к}$	$\lambda\pi\,(D_к + d_к)\,l \times f_N\,S_{д.м.к}$	$\lambda\,2\left(a + \frac{a}{\lambda}\right) \times l S_{д.м.к} f_N$
$T_{кр}$	При прямом истечении равно $\pi\,D_н\,L\,\tau_{кр}$; при обратном истечении равно 0			$2(a+b)\,L\,\tau_{кр}$

где a, b — стороны прямоугольного слитка, *мм*;
$\Sigma\Pi$ — сумма периметров выходных сечений, *мм*;
$a_{с.проф}$ — средневзвешенная толщина профиля, *мм*;
λ — коэффициент вытяжки при прессовании;
$S_{д.м.с}$ — среднее значение предела текучести в пределах очага деформации;
$S_{д.м.к}$ — предел текучести при растяжении деформируемого металла в его состоянии у выхода из обжимающей части очага деформации;
f_N — коэффициент трения по нормальному давлению, который в данном случае численно равен коэффициенту трения по пределу текучести;
$\tau_{кр}$ — напряжение трения на контактной поверхности контейнера, *кг/мм²*;
$\tau_м$ — то же, на поверхности матрицы, *кг/мм²*.

состоянии, соответствующем температуре прессования (σ_{zT}), а величины $\tau_{кр} = \tau_м = 0{,}5\ \sigma_{zT}$.

Средний угол конусности на границе упругой и пластической зон в очаге деформации принят $\alpha = 70°$.

В результате принятия указанных допущений и замены натуральных логарифмов десятичными, формула И. Л. Перлина после преобразования приняла следующий вид:

$$P = T_{кр} + T_м + R_м + T_п = C\sigma_{zT}\left[1{,}6D_н L + 1{,}9(D_н^2 - d_к^2)\times\right.$$

$$\left.\times \lg\frac{D_н - d_к}{D_к - d_к} + 1{,}8(1{,}5D_н^2 - d_к^2)\lg\lambda\right] + 0{,}8\sigma_{zT}(D_к + d_к)\lambda l,$$

где $C = 1{,}48$ — опытный коэффициент, учитывающий скоростные условия деформации;

σ_{zT} — предел прочности меди в области зарекристаллизационных температур, находимый по формуле

$$\lg\sigma_{zT} = 2{,}0099 \div 0{,}00194T.$$

Формула И. Л. Перлича с применением соответствующего опытного коэффициента обеспечивает вполне удовлетворительную для практических целей точность результатов.

5. Способы волочения

Процесс волочения представляет собой протягивание прутковой или трубной заготовки через коническое отверстие волоки. При волочении трубы внутрь ее часто вводится оправка. В результате волочения поперечные размеры изделия уменьшаются до размеров инструмента, а длина увеличивается.

Наиболее распространены следующие способы волочения:

1) волочение труб без оправки;
2) волочение труб на короткой оправке;
3) волочение труб на длинной оправке;
4) волочение труб на свободной оправке;
5) волочение фасонных труб;
6) раздача труб на оправке и на стержне.

При волочении прутков и профилей круглого, квадратного, шестигранного и других сечений применяется соответствующая им заготовка. Для изготовления сложных профилей иногда применяются заготовки более простых сечений (круг, полоса), которые после ряда волочений приобретают необходимую форму. На рис. 10 приведены схемы основных способов волочения.

При волочении без оправки диаметр трубы уменьшается, а длина увеличивается; толщина стенки S изменяется незначительно. Характер изменения S зависит главным образом от размера трубы и отчасти от состояния металла, формы канала волоки, смазки. У труб, наружный диаметр которых во много раз превышает толщину стенки S, последняя при безоправочном волочении увеличивается. Увеличение толщины стенки с каждой последующей протяжкой прогрессивно повышается до определенного соотношения $D : S$, после чего толщина стенки уменьшается. В практике волочения большинства труб отношение $D : S = 5 \div 6$.

Волочение на оправке сопровождается уменьшением диаметра и толщины стенки трубы и увеличением ее длины. Зона деформации состоит из трех участков (рис. 11). В первом участке I происходит осад-

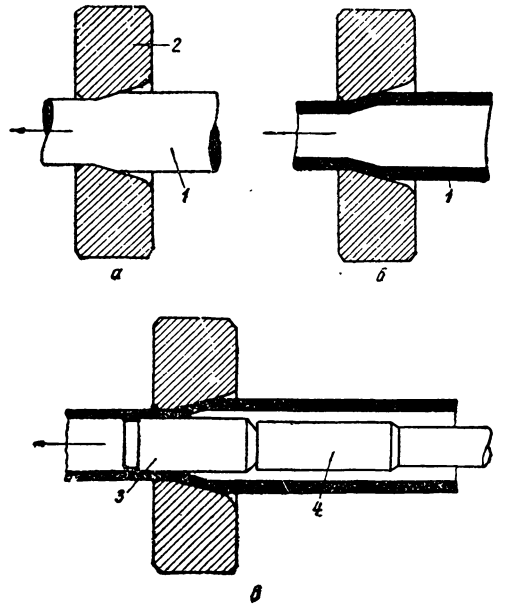


Рис. 10. Основные способы волочения:
а — волочение прутка, *б* — волочение трубы без оправки; *в* — волочение трубы с оправкой:
1 — пруток; *2* — волока; *3* — оправка; *4* — мундштук

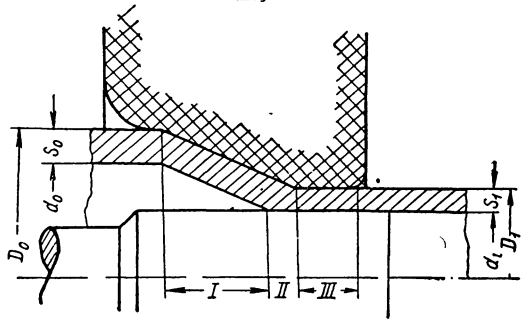


Рис. 11. Три участка в зоне деформации при волочении трубы на оправке

ка, т. е. уменьшение диаметра трубы без существенного изменения S. На участке II уменьшаются D и S до заданных величин. В третьем цилиндрическом участке волоки

III труба калибруется, приобретая окончательные размеры.

По своим размерам и форме оправки делятся на короткие, длинные и свободные.

Короткие оправки (см. рис. 65 и 66), укрепляемые на длинном неподвижном болте, применяются наиболее широко.

Волочение на длинной оправке (рис. 12)

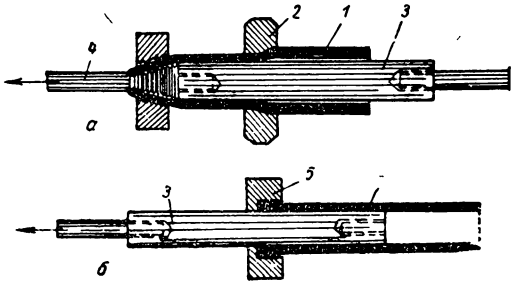


Рис. 12. Волочение (*а*) и снятие (*б*) трубы со стержня:
1 — труба; *2* — волока; *3* — стержень; *4* — штырь; *5* — съемочное кольцо

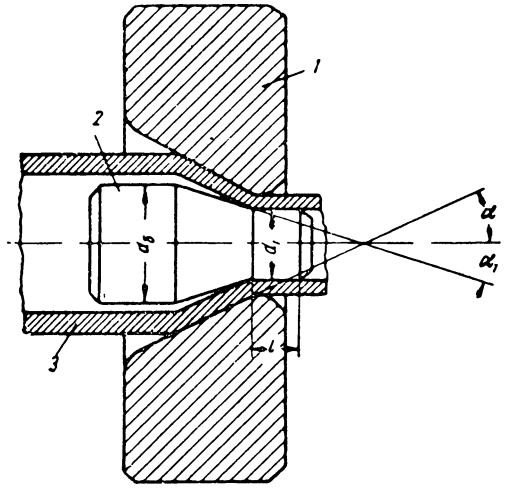


Рис. 13. Волочение трубы на свободной оправке: *1* — волока; *2* — оправка; *3* — труба; *l* — цилиндрическая часть оправки; α — угол волочения волоки, $α_1$ — угол волочения оправки

оправке вследствие трения и обжатого на конус переднего конца трубы.

Коэффициент вытяжки при волочении труб на короткой оправке редко достигает 1,7, а при волочении на длинной оправке он возрастает до 1,8—2. Объясняется это тем, что силы трения, возникающие между короткой оправкой и внутренней поверхностью трубы, противодействуют волочению. При волочении же на длинной оправке силы трения на ее поверхность направлены в сторону волочения.

Свободную (не закрепляемую на болте) оправку (рис. 13) закладывают в передний (по ходу волочения) конец трубы перед изготовлением захватки. В процессе волочения оправка удерживается в зоне деформации силами трения на контактных поверхностях между оправкой и трубой. Длину цилиндрической части оправки *l* берут в пределах 6—10 *мм*

Коническая часть оправки при $d_б > D_1$ препятствует протяжке ее вместе с трубой через волоку. Для предупреждения обрывов труб угол волочения α волоки делают больше угла волочения $α_1$ оправки.

Свободные оправки находят применение при волочении труб в бухтах и при волочении длинных труб, не укладывающихся по длине на волочильные цепные станы.

Фасонному волочению труб предшествует получение круглой трубной заготовки необходимого размера. В зависимости от сложности профиля и размера фасонных труб круглую заготовку протягивают через фасонную волоку без оправки, или же на оправке круглого или фасонного сечения.

Шестигранные тонкостенные (0,1—0,2 *мм*) трубки обычно тянут с круглого сечения на оправке сразу через две волоки: круглую и шестигранную (рис. 14). В первой волоке трубку протягивают на круглой оправке с утонением стенки, а во второй — с изменением формы.

Раздачу труб применяют в тех случаях, когда волочение их, с целью утонения стенки и уменьшения диаметра, невозможно из-за слишком малого внутреннего диаметра. Тогда трубы предварительно раздают до большего диаметра, после чего приступают к оправочному волочению.

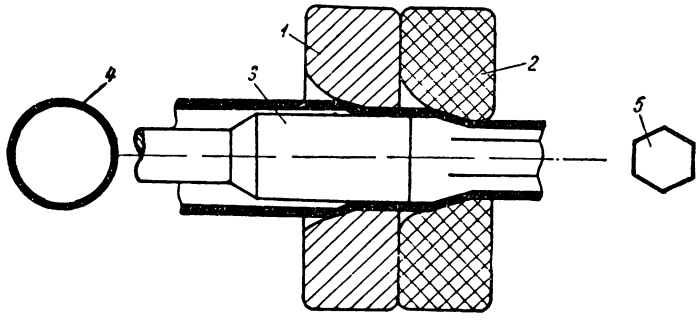


Рис. 14. Волочение шестигранной трубки через две волоки:
1 — круглая волока; *2* — шестигранная волока; *3* — оправка; *4* — трубка до волочения; *5* — трубка после волочения

заключается в том, что трубу *1*, свободно надетую на оправку-стержень *3*, вместе с ней протягивают через волоку *2*. Тянущее усилие прикладывается к ввернутому в оправку штырю *4*. Труба удерживается на

Крупные толстостенные, но сравнительно короткие трубы раздают на гидравлических прессах по схеме рис. 15, *а*. Тонкостенные длинные трубы малого сечения

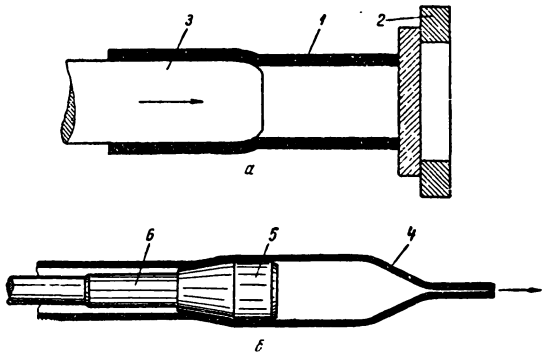


Рис. 15. Раздача труб:
а — на стержне; *б* — на оправке; *1* — трубы; *2* — крестовина пресса; *3* — стержень; *4* — труба; *5* — коническая оправка; *6* — мундштук

раздают на цепных волочильных станах по схеме рис. 15, *б*. Длина и толщина стенки труб при раздаче уменьшаются, а разностенность увеличивается.

6. Усилие волочения

Усилие P, под действием которого изделие протягивается через волоку, называется усилием волочения.

Напряжение волочения $K_в$, возникающее в вышедшем из волоки конце изделия, определяется по формуле

$$K_в = \frac{P}{F_1},$$

где F_1 — площадь поперечного сечения протянутого изделия.

Напряжение волочения должно быть меньше предела текучести протянутого металла. В противном случае пластическая деформация будет происходить и после выхода изделия из волоки, в результате чего возможны обрывы или несоблюдение заданных размеров.

Факторы, влияющие на усилие волочения

Основными факторами, влияющими на напряжение волочения, являются: пластические свойства протягиваемого металла, размер изделия, степень деформации, профиль волоки, коэффициент трения, смазка и скорость волочения.

Пластические свойства металла. Между прочностными характеристиками металла и напряжением волочения имеется непосредственная связь: чем выше предел прочности, тем больше напряжение волочения. На рис. 16 показана эта зависимость, наблюдавшаяся при волочении круглой про-

Таблица 53

Влияние механических свойств протягиваемого материала на напряжение волочения [2]

Протягиваемый металл или сплав	Условия процесса	Условный предел прочности, *кг/мм²*			Напряжение волочения $K_в$, *кг/мм²*	Отношение $\frac{K_в}{\sigma_{zc}}$
		до волочения $\sigma_{z_н}$	после волочения $\sigma_{z_к}$	среднее значение, $\sigma_{z_c} = \frac{\sigma_{z_н} + \sigma_{z_к}}{2}$		
Медь мягкая	Конечный диаметр проволоки 1 *мм*	22	27	24,5	11,8	0,48
Медь полутвердая	Смазка — твердое мыло	27	33	29,5	13,6	0,46
Латунь Л62 мягкая	Обжатие ~20 % . . .	34	45	39,5	20,0	0,51
Латунь Л62 полутвердая	$\alpha = 6°$	45	51	48	25,7	0,53
Монель-металл мягкий	$\alpha = 6°$	57	67	62	31	0,50
Монель-металл полутвердый	$\alpha = 6°$	67	72	69,5	36	0,52
Медь мягкая	Конечный диаметр проволоки 1 *мм*	22	30	26	18	0,69
Медь полутвердая	Смазка — твердое мыло	27	37	32	22,8	0,71
Латунь Л62 мягкая	Обжатие ~32 % . . .	34	51	42,5	27,5	0,65
Латунь Л62 полутвердая	$\alpha = 6°$	45	60	52,5	38	0,72
Монель-металл мягкий	$\alpha = 6°$	57	72	64,5	47	0,73
Монель-металл полутвердый	$\alpha = 6°$	66	85	75,5	53	0,70

волоки из разных металлов с размера 2,02 *мм* на размер 1,64 *мм* с обжатием 34,1%. Табл. 53 также подтверждает указанную зависимость.

Размеры изделия. На напряжение волочения оказывают влияние не только размеры поперечного сечения, но и величина периметра. Так, например, при волочении с обжатием на 20% круглых, шестигранных и квадратных латунных прутков, имеющих одинаковые (64 *мм*²) площади сечения, но различные периметры (28,36; 29,8; 32,0 *мм*), были измерены соответственно следующие напряжения волочения: 11,0; 11,3 и 13,5 *кг/мм*².

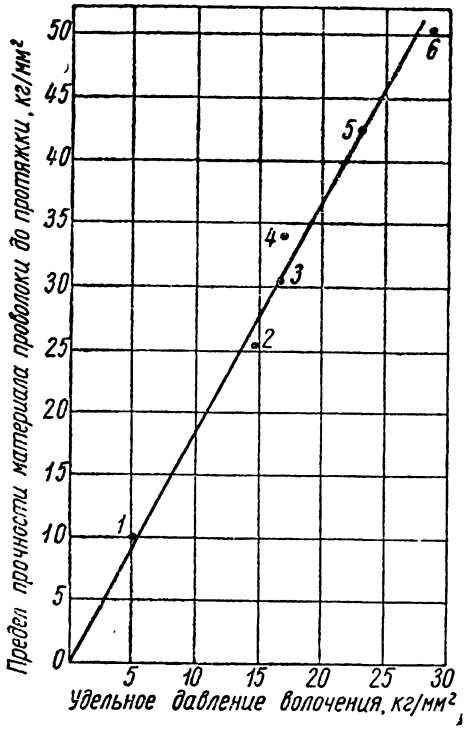


Рис. 16. Зависимость удельного давления волочения от предела прочности [33]:
1 — алюминий; *2* — медь; *3* — бронза; *4* — латунь Л70; *5* — сплав 93% меди и 7% никеля; *6* — сплав 80% меди, 20% никеля

Степень деформации. Табл. 53 и рис. 17 частично иллюстрируют зависимость напряжения волочения от степени деформации. Изменение степени деформации вызывает также изменение механических свойств металла и условий смазки, поэтому зависимость напряжения волочения от степени деформации имеет сложный характер.

Профиль волоки. Основными конструктивными элементами волоки, влияющими на усилие волочения, являются: угол волочения α (между образующей конуса очка волоки и осью волочения), ширина калибрующего пояска, форма волочильного очка.

На основании многочисленных опытов и данных практики угол волочения при протяжке прутков принят равным 6—7°. При волочении труб на оправке он увеличивается до 10—15°. Отклонение в сторону малых и больших углов вызывает увеличение усилия волочения.

Вследствие действия упругих деформаций металл проходит через калибрующий поясок с трением. С увеличением длины калибрующего пояска усилие волочения также увеличивается, хотя со значительным увеличением обжатия роль длины пояска снижается.

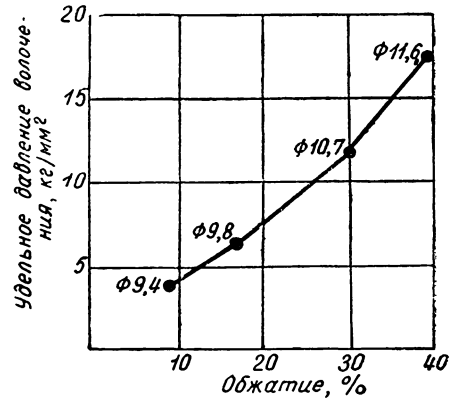


Рис. 17. Зависимость удельного давления волочения при протяжке медных прутков диаметром 9 *мм* из отожженных заготовок различных диаметров от степени деформации (по Днестровскому и Блюмкиной)

Существенного различия между усилиями, затрачиваемыми при волочении через радиальные и конические волоки, не обнаружено. Но на практике приняты конические волоки вследствие простоты изготовления и контроля формы канала.

Свойства и качество поверхностей скольжения и смазка. Материал инструмента оказывает существенное влияние на напряжение волочения. Применение волок из карбида вольфрама, при условии хорошей полировки, требует более низких усилий волочения, чем использование стальных волок. По данным литературы [2], усилие при волочении латунной проволоки диаметром 2 *мм* с обжатием 20,1% и со смазкой твердым мылом при волоке из карбида вольфрама составило 20 *кг*, при волоке из стали — 32 *кг*.

Состояние поверхности протягиваемых изделий также влияет на величину усилия волочения. Например, при волочении труб из латуни ЛО70-1, не травленых после отжига, усилие волочения наблюдалось на 9% выше, чем при волочении травленых труб. Хорошо подобранная смазка снижает усилие волочения. По данным [2], усилие волочения бронзовой проволоки диаметром 0,65 *мм* с обжатием 18,5% через карбидвольфрамовую волоку составило со смазкой твердым мылом 15 *кг*, с растительным маслом — 26 *кг*.

Скорость волочения. Скорости протяжки, принятые на практике, не оказывают су-

щественного влияния на усилие волочения. Усилие волочения заметно возрастает лишь в момент включения тянущего устройства, когда происходит рывок.

На основании анализа наиболее известных формул (Губкина, Альшевского, Лашко, Закса и др.) и замены некоторых допущений новыми, более близкими к действительности, И. Л. Перлин вывел ряд новых формул для определения напряжения при различных случаях волочения [2]. Ниже приводятся некоторые формулы.

Для определения напряжения при волочении круглых прутков

$$K_{\text{в}} = \frac{1}{\cos^2\left(\frac{\alpha+\rho}{2}\right)}\sigma_{\text{т.с}}\frac{a+1}{a}\left[1-\left(\frac{F_{\text{к}}}{F_{\text{н}}}\right)^{a}\right]+ + \sigma_q\left(\frac{F_{\text{к}}}{F_{\text{н}}}\right)^{a},$$

где $\sigma_{\text{т.с}}$ — среднее значение сопротивления деформированию в пределах очага деформации;

$a = \cos^2\rho\,(1 + f\operatorname{ctg}\alpha') - 1$;

f и ρ — коэффициент и угол трения;

α' — приведенный угол

$$\operatorname{tg}\alpha' = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{1+2m\frac{D_{\text{к}}}{D_{\text{н}}-D_{\text{к}}}\operatorname{tg}\alpha};$$

m — отношение длины калибрующего пояска волоки к конечному диаметру прутка, равное 0,2—1,5;

α — действительный угол волоки (полуугол);

$\sigma_q = \sigma_{q\text{крит}}$ — при напряжении противонатяжения от 0 до $\sigma_q^{\text{крит}}$;

σ_q — равно действительному напряжению противонатяжения, когда оно превышает критическое.

Для определения напряжения при волочении труб без оправки (осадка)

$$K_{\text{ос.в}} = 1{,}15\,\sigma_{\text{т.с}}\frac{a_2+1}{a_2}\left[1-\left(\frac{D_{\text{с.к}}}{D_{\text{с.н}}}\right)^{a_2}\right]+\sigma_{l_{\text{уп}}}\left(\frac{D_{\text{с.к}}}{D_{\text{с.н}}}\right)^{a_2},$$

где $D_{\text{с.н}}$ и $D_{\text{с.к}}$ — средние начальный и конечный диаметры трубы;

$$a_2 = \frac{1+f\operatorname{ctg}\alpha'}{1-f\operatorname{tg}\alpha'} - 1;$$

α' — приведенный угол;

$\sigma_{l_{\text{уп}}}$ — напряжение на границе упругой и пластической зон (или противонатяжение, если таковое имеется);

Для определения напряжения при волочении труб на закрепленной оправке

$$K_{\text{з.о}} = 1{,}1\sigma''_{\text{т.с}}\left(1+\frac{\operatorname{tg}\alpha'}{A_1 f}\right)\left[1-\left(\frac{F_{\text{к}}}{F_{\text{н.ос}}}\right)^{\frac{A_1 f}{\operatorname{tg}\alpha'}}\right]+K_{\text{ос.вI}}\left(\frac{F_{\text{к}}}{F_{\text{н.ос}}}\right)^{\frac{A_1 f}{\operatorname{tg}\alpha'}},$$

где $A_1 = 1 + \frac{d_{\text{к}}\cos\alpha'}{d_{\text{к}}+S_{\text{н}}+S_{\text{к}}}$;

$\sigma''_{\text{т.с}}$ — среднее значение предела текучести между концом участка I и выходом из очага деформации (см. рис. 11);

$K_{\text{о.свI}}$ — растягивающее осевое напряжение в поперечном сечении на границе участков I и II (см. рис. 11), вычисляемое по указанной выше формуле;

$F'_{\text{к}}$ — конечное поперечное сечение трубы;

$F_{\text{н.ос}}$ — поперечное сечение трубы на конце участка I.

Усилие при волочении труб на длинной подвижной оправке требуется на 15—20% меньше, чем при волочении на закрепленной оправке.

При пользовании указанными формулами И. Л. Перлин предлагает вычислять степень упрочнения, которую металл будет иметь на границе участков I и II и в конце участка II, по диаграмме деформация — предел прочности. По найденным значениям $\sigma_{\text{т.н}}$, $\sigma_{\text{т.ос}}$, $\sigma_{\text{т.к}}$ определяют среднее значение пределов текучести на участках I и II:

$$\sigma'_{\text{т.с.}} = \frac{\sigma'_{\text{т.н.}}+\sigma_{\text{т.ос}}}{2}$$

и

$$\sigma''_{\text{т.ос}} = \frac{\sigma_{\text{т.с.}}+\sigma_{\text{т.к.}}}{2}.$$

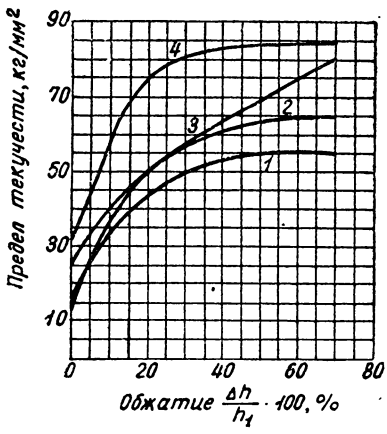
Для практических целей ниже рекомендуются более простые формулы В. А. Кочкина и Л. Е. Альшевского, показавшие удовлетворительную сходимость с фактическими замерами усилия волочения медных и латунных труб.

Формула Кочкина [32] для определения усилия при волочении труб

$$P = F_{\text{к}}\,p\ln\frac{F_{\text{н}}}{F_{\text{к}}}\left(1+\frac{f}{\sin\alpha\cos\alpha}+\frac{f}{\operatorname{tg}\alpha}\right),$$

где $p = \frac{\sigma_{b_{\text{н}}}+\sigma_{b_{\text{к}}}}{2}$ — половина суммы пределов прочности при разрыве металла трубы до и после волочения, *кг/мм*²;

$F_{\text{н}}$ и $F_{\text{к}}$ — площадь сечения



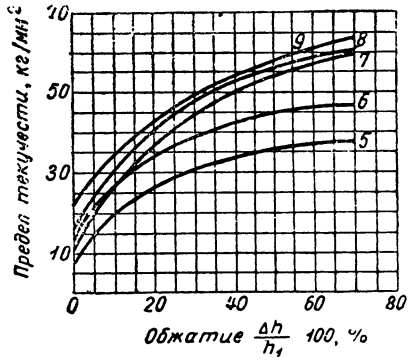
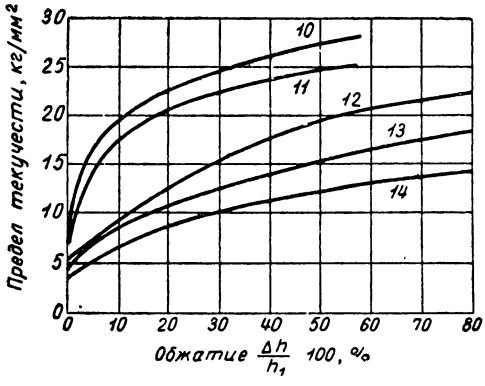


Рис. 18 Влияние холодной деформации (наклепа) на предел текучести различных металлов [4]:
1 — мельхиор; *2* — нейзильбер; *3* — никель; *4* — пружинный нейзильбер; *5* — электролитическая медь; *6* — томпак; *7* — латунь Л68; *8* — латунь Л62; *9* — латунь ЛС64-2; *10* — дуралюмин Д16; *11* — дуралюмин Л1; *12* — сплав АВ; *13*—сплав АМц; *14*— алюминий



трубы до и после волочения, *мм*²;

f — коэффициент трения;

α — угол волочения.

Формула Альшевского [3] для определения усилия при волочении труб без оправки

$$P = 1{,}2\, p\, \omega \gamma\, F_к;$$

на оправке

$$P = 1{,}05\, p_1\, \omega_1 \gamma\, F_к;$$

на стержне

$$P = 1{,}75\, p_1\, \omega_2 \gamma\, F_к,$$

где, кроме обозначенных выше,

$p = \frac{\sigma_{b_1} + \sigma_{b_2}}{2}$ — половина суммы пределов прочности при разрыве металла до и после утонения стенки, *кг/мм*²;

$$\omega = \frac{\operatorname{tg}\alpha + f}{(1 - f \operatorname{tg}\alpha)\operatorname{tg}\alpha};$$

$$\omega_1 = \frac{\operatorname{tg}\alpha + f}{(1 - f \operatorname{tg}\alpha)\operatorname{tg}\alpha} + c\,\frac{f}{\operatorname{tg}\alpha};$$

$$\omega_2 = \frac{\operatorname{tg}\alpha + f}{(1 - f \operatorname{tg}\alpha)\operatorname{tg}\alpha} - c\,\frac{f}{\operatorname{tg}\alpha};$$

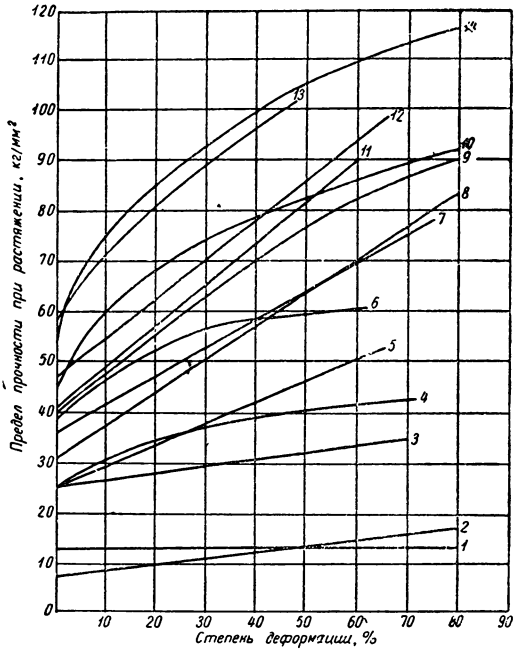


Рис. 19. Влияние степени холодной деформации на предел прочности некоторых металлов и сплавов:

1 — цинк; *2* — алюминий; *3* — дуралюмин Д1 (отожженный); *4* — медь; *5* — латунь Л96; *6* — мельхиор МН70-30; *7* — латунь ЛС59-1; *8* — латунь Л62; *9* — латунь никелевая ЛН65-5; *10* — монель-металл НМЖМц28-2.5-1.5; *11* — бронза кремнемарганцовистая Бр КМц3-1; *12* — бронза оловяннофосфористая Бр ОФ6,5-0.4; *13* — бронза бериллиевая БрВ2; *14* — хромель НХ9,5

$c = \frac{r_0}{r_1}$ — отношение средних радиусов трубы до и после волочения;

$$\gamma = \frac{F_н - F_к}{F_н}.$$

Пределы прочности для указанных формул могут быть определены по кривым (см. рис. 18 и 19).

Коэффициент трения при волочении изделий из цветных металлов и сплавов с эмульсией и машинным маслом составляет примерно 0,1—0,15. Угол волочения у прутковых волок принимают равным 6°, а у трубных — 12°.

Величина растягивающего усилия, действующего на волочильный болт при волочении труб на оправке, составляет примерно 25% от общего усилия, затрачиваемого на волочение.

Непосредственное определение усилия волочения может быть осуществлено способом тензометрирования, по затрачиваемой мощности, по расходу энергии и т. д.

При определении усилия волочения по методу тензометрирования (см. рис. 4) датчик r_1 целесообразно наклеивать на крюк волочильной тележки.

Для определения усилия волочения по мощности применяют формулу

$$P = \frac{(W_{пол} - W_{х.х})\eta \cdot 102}{v_b} \text{ кг},$$

где $W_{пол}$ — средняя мощность, потребляемая двигателем при волочении, *квт*;

$W_{х.х}$ — средняя мощность холостого хода стана, *квт*;

η — к. п. д. стана;

v_b — скорость волочения, *м/сек*.

Учтенный расход энергии только на волочение (за вычетом расхода ее на холостой ход стана) и замеренная (за время учета энергии) длина протянутого изделия позволяют определить усилие волочения по формуле

$$P = \frac{(A_{пол} - A_{х.х})\eta \cdot 367000}{L} \text{ кг};$$

где $A_{пол}$ — учтенный полный расход энергии, *квт-ч*;

$A_{х.х}$ — то же, на холостой ход, *квт-ч*;

L — общая длина протянутого металла, *м*.

7. Способ холодной прокатки труб

Сущность метода холодной прокатки труб состоит в последовательно-периодическом уменьшении их диаметра и толщины стенки посредством обжатия их между калибрами и оправкой.

Наиболее существенным достоинством метода холодной прокатки труб является возможность применения весьма высоких

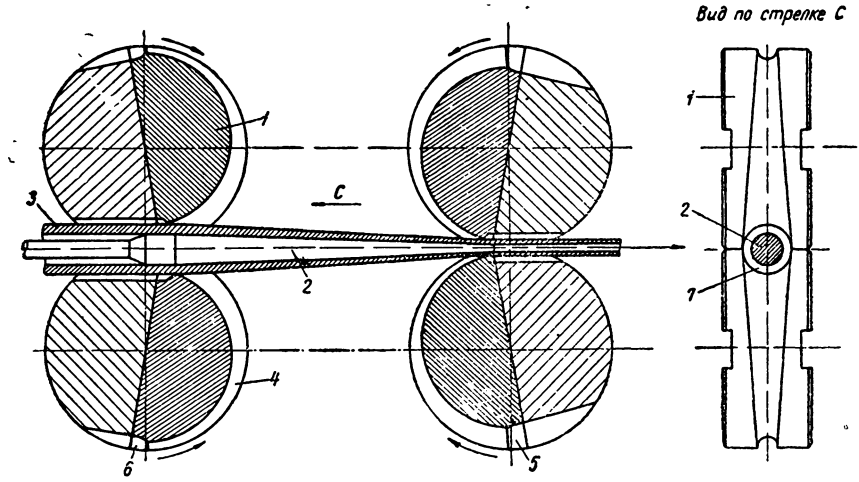


Рис. 20. Схема периодической прокатки труб:
1 — калибры; *2* — оправки; *3* — заготовка; *4* — ручей; *5* — зев подачи; *6* — зев поворота; *7* — кольцевой просвет

степеней вытяжки, в 3—6 раза превышающих вытяжки при волочении. При прокатке почти отсутствуют отходы и потери металла, чего не наблюдается при процессе волочения.

Основным рабочим инструментом стана холодной прокатки труб (ХПТ) является пара калибров *1* и коническая оправка *2* (рис. 20). На окружности калибров имеется по одной полукруглой выточке *4* переменного сечения. Коническую оправку устанавливают на конце длинного стержня, который другим концом укрепляют в задней части стана.

Трубную заготовку надевают на стержень с оправкой и закрепляют задним концом в патроне подачи и поворота. Передний конец заготовки, в результате периодических подач патроном, входит в кольцевое отверстие, образованное калибрами и оправкой.

В исходном положении клети (рис. 21, *а*), когда калибры не соприкасаются с заготовкой *3*, происходит подача — перемещение заготовки на величину t. В этот момент между заготовкой и оправкой *2* образуется зазор m.

При движении рабочей клети слева направо (рис. 21, *б*) калибры обжимают заготовку до соприкосновения ее внутренней поверхности с оправкой, что сопровождается незначительным утолщением стенки заготовки. При дальнейшем движении клети калибры раскатывают заготовку на оправке, уменьшая ее диаметр и толщину стенки. При этом металл перемещается в направлении, обратном вращению калибров, а зазор m несколько увеличивается. Когда калибры находятся в крайнем правом положении (рис. 21, *в*), диаметр и толщина стенки заготовки достигают заданных значений D_1 и S_1, соответствующих размерам готовой трубы. Длина трубы в результате указанного хода клети увеличивается на величину линейного смещения металла ΔL, равную произведению общего коэффициента вытяжки и подачи t:

$$\Delta L = \lambda_{\Sigma} t \ мм.$$

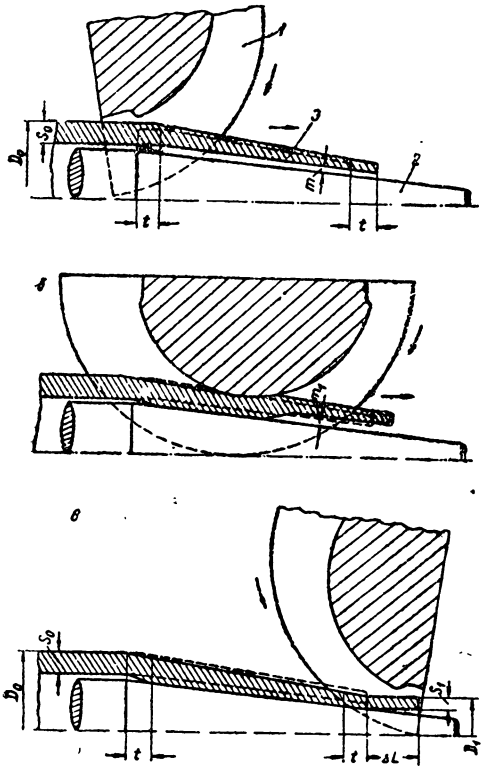


Рис. 21. Схема изменения размеров заготовки при прокатке труб:
1 — калибр; *2* — оправка; *3* — заготовка

В крайнем правом положении калибры, благодаря выточке зева *6* (см. рис. 20), освобождают трубу, после чего происходит поворот ее вместе с оправкой и стержнем на 60—90°. Затем валки, двигаясь справа налево (см. рис. 21), производят отделку прокатанного участка трубы. Одновременно толщина стенки выравнивается в поперечном сечении рабочего конуса.

Достигнув крайнего левого положения, калибры, также благодаря выточке, сделанной в зеве, освобождают заготовку, а патрон вновь подает ее в калибры. После этого цикл прокатки повторяется. В некоторых станах поворот и подача заготовки осуществляются одновременно в крайнем левом положении.

Прокатанная часть трубы принимается передним патроном. Назначение этого патрона состоит в том, чтобы поворачивать недокатанный конец заготовки после освобождения его из подающего патрона. Подача в валки недокатанной заготовки осуществляется проталкиванием ее новой заготовкой, следующей за ней по стержню.

На станах ХПТ возможна прокатка конических и ступенчатых труб с переменной или постоянной толщиной стенки, а также прямоугольных и квадратных труб.

Конические трубы получают последовательной прокаткой их в калибрах разных сечений. Калибры согласовывают между собой так, чтобы рабочий конус одного калибра служил продолжением другого. Толщина стенки такого калибра может быть переменной или постоянной.

Для получения труб с переменной толщиной стенки в конструкцию каретки стержня вносят изменения, позволяющие медленно выводить оправку из области деформации трубы. Зазор между оправкой и калибром при этом увеличивается и толщина стенки становится больше.

Для получения прямоугольных и квадратных труб изготовляют калибры соответствующего профиля и устанавливают оправки нужного сечения. При прокатке прямоугольных труб механизм поворота трубы отключают. В случае прокатки квадратных труб кинематическая схема стана не меняется.

8. Усилие при холодной прокатке труб

Работой И. М. Павлова и Д. П. Пирязева [15] по определению давления на валки при прокатке труб из сплавов АМ2, Д1, Л62, Л68, МНЖМц30-0,8-1 и меди на станах ХПТ32, ХПТ $1\frac{1}{2}''$, ХПТ $2\frac{1}{2}''$ и ХПТ 75 установлены следующие зависимости:

1. Двукратное увеличение подачи повышает давление металла на валки в 1,3—1,5 раза (рис. 22). Эта зависимость при подачах в пределах 2—10 *мм* приближенно отвечает выражению

$$P_2 = P_1 \sqrt{\frac{t_2}{t_1}},$$

где P_1 и P_2 — давления соответственно при подачах t_1 и t_2.

2. Зависимость давления от вытяжки в

пределах 2—8 (рис. 23) приближенно определяется соотношением

$$P_2 = cP_1\sqrt{\frac{\lambda_2}{\lambda_1}},$$

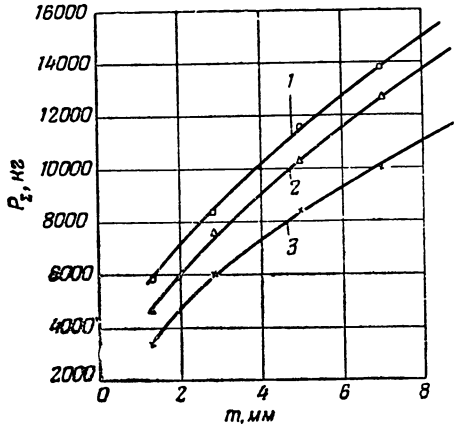


Рис. 22. Зависимость давления от подачи: прямой ход, калибровка 38 × 2—25 × 0,8; латунь Л62, суммарная вытяжка 2.65;
1 — расстояние от начала ручья 36,8 *мм*; *2* — то же, 225,7 *мм*; *3* — то же, 157,5 *мм*; *m* — подача, *мм*

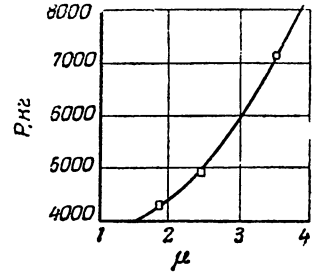


Рис. 23. Зависимость давления от вытяжки:
прямой ход; калибровка 34 × × 3,0—23 × 1,0; сплав Д1; подача 7,9 *мм*; μ — суммарная вытяжка

где P_1, P_2 — давления, соответствующие вытяжкам λ_1 и λ_2;
c — коэффициент, зависящий от толщины стенки готовой трубы S_1; при $S_1 = 0{,}8 \div 1{,}3$ *мм* $c = 1{,}0$.

3. Скорость прокатки (число двойных ходов в минуту) практически не влияет на величину давления на валки.

4. Увеличение толщины стенки заготовки в 2 раза увеличивает давление на валки в 1,2 раза при прямом и в 1,3 раза при обратном ходе клети. На основании этой зависимости рекомендуется прокатывать трубы из тяжелых цветных металлов и сплавов из заготовок с более толстыми стенками.

5. Маслографитовая смазка обеспечивает минимальное давление на валки, но она сильно загрязняет оборудование и трубы. Смазка машинным маслом вызывает наибольшее давление. Для смазки внутренней поверхности труб рекомендуется применять эмульсол или солидол.

6. Полное давление металла на валки определяется по формуле [15]:

$$P = p_{ср} F_к = p_{ср} B_x \sqrt{2\Delta S \rho_x},$$

где $p_{ср}$ — среднее удельное давление, *кг/мм*²;
$F_к$ — площадь контакта, *мм*²;
B_x — ширина ручья, *мм*;
ΔS — обжатие по стенке трубы, *мм*;
ρ_x — радиус калибра, *мм*.

7. Для определения среднего удельного давления при $\Delta S \geqslant 0{,}04$ *мм* предлагается следующая эмпирическая формула:

$$p_{ср} = \sigma_b\left[1 + \frac{f\sqrt{D}}{7{,}9}\left(\frac{S_0}{S_x}\right)\right],$$

где σ_b — предел прочности при данной степени деформации, *кг/мм*²;
f — коэффициент трения между металлом и поверхностью ручья;
D — диаметр валка, *мм*;
S_0 — толщина стенки заготовки, *мм*;
S_x — толщина стенки головки в расчетном сечении, *мм*.

Максимум удельного давления находится примерно в средней части ручья.

8. Осевое давление, действующее на трубную заготовку, при прямом ходе клети составляет 2,5—6%, а при обратном ходе 8—10% от давления на валки. Максимум осевого усилия приходится на начало обжимного участка.

9. Увеличение подачи в два раза повышает осевое усилие в 1,3—1,8 раза (рис. 24)

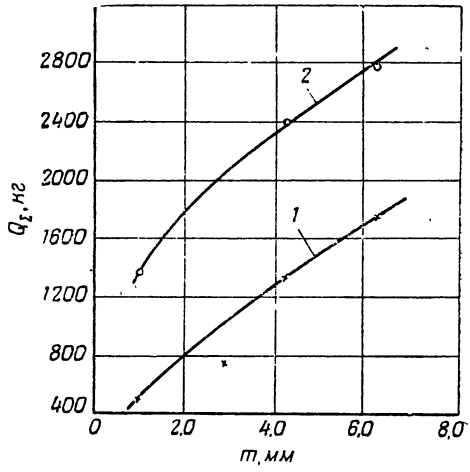


Рис. 24. Зависимость осевого усилия от подачи:
калибровка 36 × 3—24 × 1,0; латунь Л68; вытяжка — 3,90; *1* — прямой ход, *2* — обратный ход; *m* — подача, *мм*

как при прямом, так и при обратном ходе клети.

10. Увеличенная развалка ручья калибра снижает осевое усилие при прямом ходе клети и увеличивает его при обратном ходе. Рекомендуется развалку делать минимально возможной.

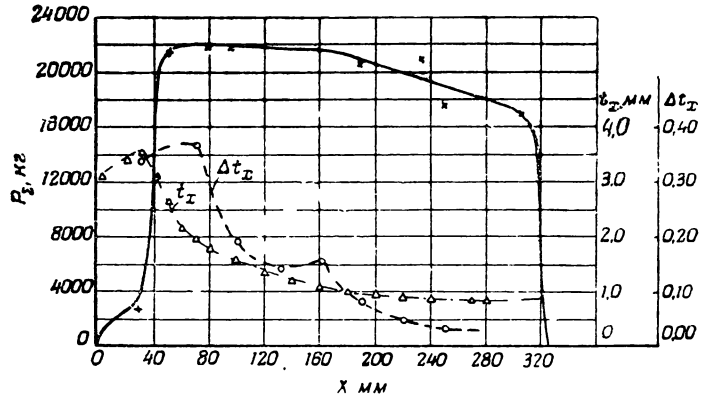


Рис. 25 Распределение давления по длине ручья: стан ХПТ 1½″; калибровка 38 × 3—25 × 1,0; прямой ход; латунь Л62; вытяжка 5,25; подача 5,0 *мм*; P_Σ —давление на валки, X — расстояние от начала ручья, *мм*; t_x — толщина стенки *мм*; Δt—абсолютное обжатие по стенке, *мм*

На рис. 25 представлена диаграмма изменения давления металла на валки при калибровке ручья с плавной разверткой [14, 15].

9. Расчет профиля калибров и оправок

Профиль ручья калибров для прокатки труб из цветных металлов делят на следующие зоны (рис. 26).

1) зона редуцирования $l_р$, где происходит основная осадка трубной заготовки по диаметру;

2) зона обжимная l_0, где происходит основная деформация трубной заготовки по толщине стенки;

3) зона предотделочная $l_п$, где заканчивается калибровка трубы по толщине стенки;

4) зона калибровочная $l_к$, где заканчивается калибровка трубы по диаметру.

Для осуществления подачи и поворота заготовки перед зоной редуцирования и после калибровочной зоны делают холостые участки.

Сумму длин дуг указанных зон и участков берут равной половине длины окружности ведущих шестерен валков.

Вследствие нарастающего упрочнения металла и связанного с этим увеличения давления на валки по мере уменьшения размеров заготовки уменьшают относительное обжатие по длине рабочего конуса. Наиболее равномерное распределение давлений по длине ручья достигается при расчете калибров по методу Московского института стали, предложенному И М. Павловым, Ю. Ф. Шевакиным и М. З. Ерманок [14]. Ниже приводится расчет калибров по этому методу.

Расчет гребня ручья

Зона редуцирования. Длину зоны редуцирования определяют по формуле

$$l_р = \frac{a}{2\operatorname{tg}\alpha - 2\operatorname{tg}\beta},$$

где $2\operatorname{tg}\alpha$ — конусность ручья в зоне редуцирования, принимаемая равной 0,13—0,20;

$2\operatorname{tg}\beta$ — конусность оправки, которую для станов ХПТ 1½″ и ХПТ 2½″ берут в пределах 0,005—0,015;

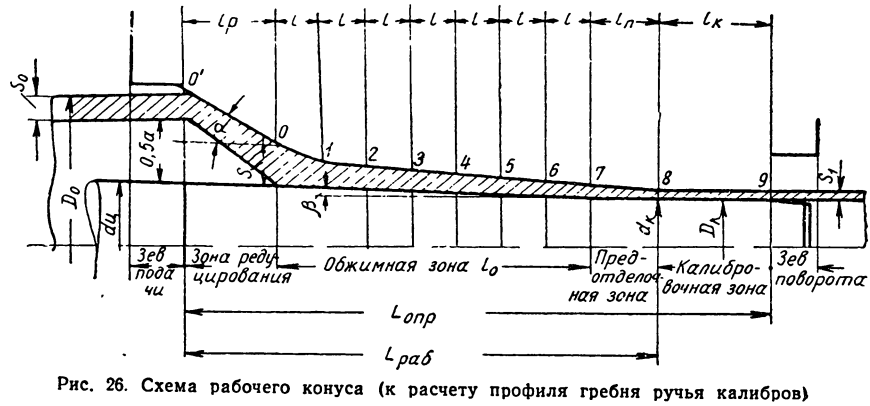


Рис. 26. Схема рабочего конуса (к расчету профиля гребня ручья калибров)

a — зазор между внутренней поверхностью трубной заготовки и цилиндрической частью оправки, равный

$$a = D_0 - 2S_0 - d_{ц} мм ,$$

где D — наружный диаметр заготовки, *мм*;
S_0 — толщина стенки заготовки, *мм*;
$d_ц$ — диаметр цилиндрической части оправки, *мм*.

Для определения величины утолщения стенки заготовки пользуются эмпирической зависимостью

$$\Delta S_0 = (0{,}05 = 0{,}06)\, a.$$

Обжимная зона. Длина обжимной зоны при прокатке труб наготово и при наличии предотделочной зоны равна

$$l_0 = L_{раб} - l_р - l_п - l_к.$$

Длину обжимной зоны l_0 делят на 7 равных контрольных участков l (см. рис. 26).

Расчет профиля гребня ручья обжимной зоны сводится к определению толщины стенки в контрольных сечениях рабочего конуса (см. рис. 26). Для этой цели Ю. Ф. Шевакин предложил [11, 14] формулы:

$$S_x = \frac{S}{\frac{\lambda_{\Sigma c} - 1}{1 + n_1}\left(1 + n_1 \frac{x}{l_0}\right)\frac{x}{l_0} + 1}, \quad (1)$$

$$S_x = \frac{S}{\frac{\lambda_{\Sigma c} - 1}{1 - e^{-n_2}}\left(1 - e^{-n_2 \frac{x}{l_0}}\right) + 1}, \quad (2)$$

где S_x — толщина стенки в искомом сечении, *мм*;
$S = S_0 + \Delta S$ — толщина стенки заготовки с учетом утолщения после редуцирования, *мм*;
$\lambda_{\Sigma_c} = \frac{S}{S_{тр}}$ — суммарная вытяжка по стенке;
$S_{тр}$ — минимальная толщина стенки прокатываемой трубы, *мм*;
x — расстояние расчетного сечения от начала обжимной зоны, *мм*;
l_0 — длина обжимной зоны ручья, *мм*;
$\frac{x}{l_0}$ — текущая координата от начала обжимной зоны ручья (изменяется от 0 до 1);
n_1 — коэффициент 0,1;
n_2 — коэффициент 0,64—0,5.

Формула (1) дает хорошие результаты при прокатке труб на 42-*мм* стане. Формула (2) может быть применена при расчете калибров для всех станов. В случае прокатки труб с толщиной стенки менее 0,8 *мм* или с суммарной вытяжкой по стенке более $\lambda_{\Sigma c} = 4{,}5 \div 5{,}0$ профиль гребня ручья рекомендуется рассчитывать по формуле (2). Для ускоренного расчета по формуле (2) толщины стенки в контрольных сечениях обжимной зоны предлагается номограмма (рис. 27).

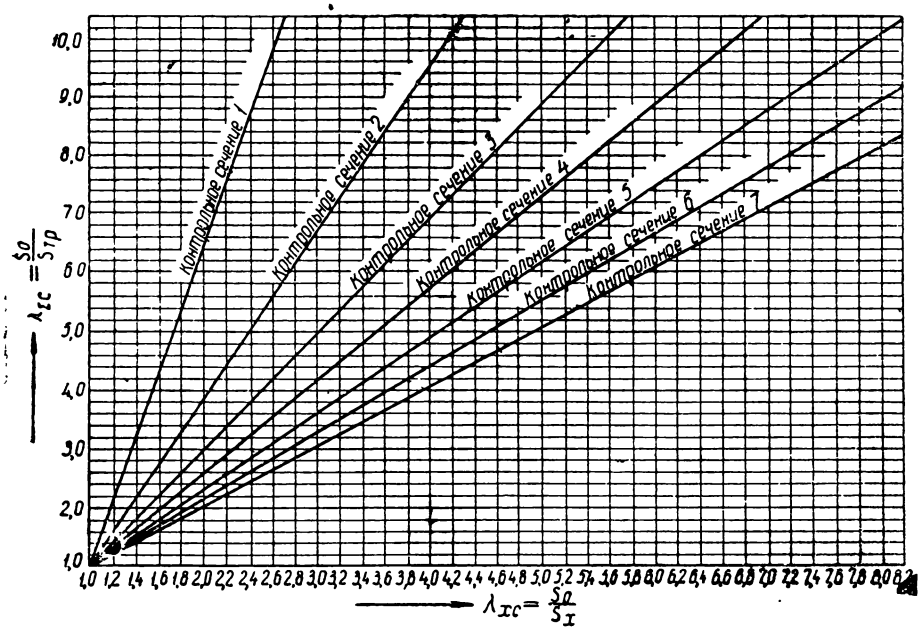


Рис. 27. Номограмма для расчета профиля гребня ручья калибров станов ХПТ (по методу Московского института стали):

S_0 — толщина стенки заготовки после редуцирования; S_x — то же, в данном сечении; S_1 — то же, готовой трубы; λ_{xc} — вытяжка по стенке в данном сечении; $\lambda\Sigma_c$ — суммарная вытяжка по стенке

Предотделочная зона. При расчете гребня ручья для прокатки труб наготово выделяется предотделочная зона для калибровки трубы по толщине стенки. Отсутствие этой зоны приводит к волнистости внутренней поверхности трубы.

Длину предотделочной зоны определяют из расчета однократной калибровки стенки трубы и берут ее не менее линейного смещения металла за рабочий ход:

$$l_{\text{п}} \geqslant \Delta l = t\lambda_{\Sigma}.$$

Для станов ХПТ $1^1/_2''$ и ХПТ $2^1/_2''$ $l_{\text{п}}$ равна соответственно 35—40 и 40—55 *мм*. Конусность ручья в предотделочной зоне равна конусности оправки.

Калибровочная зона. Качество калибровки трубы по диаметру получается тем выше, чем больше коэффициент прогладки K, зависящий от длины калибровочной зоны и величины линейного смещения металла. Но чрезмерное увеличение значения K ведет к нежелательному сокращению длины обжимного участка калибра, где осуществляется основная деформация трубы.

Применение оправок малой конусности позволяет снизить коэффициент прогладки

$$K = \frac{l_{\text{к}}}{(t\lambda_{\Sigma})_{\text{макс}}} \text{ до } 1{,}5 \div 2{,}0.$$

Конусность гребня ручья в калибровочной зоне равна 0, т. е. гребень параллелен оси оправки.

Расчет ширины ручья

Для расчета ширины ручья Ю. Ф. Шевакин [11, 14] предложил формулы:

$$\Delta B_x = K_1 t\,\lambda_x\, 2\,(\operatorname{tg}\alpha_x - \operatorname{tg}\beta) + K_2 t\,\lambda_x 2\operatorname{tg}\beta,$$

где ΔB_x — величина уширения ручья против расчетного диаметра в сечении, *мм*;

α_x — угол наклона касательной к образующей гребня в сечении;

β — угол конусности оправки;

K_1 — коэффициент, учитывает уширение металла; равен 1,15—1,25;

K_2 — коэффициент, равный 1,15—1,30 (коэффициент 1,15 принимается для твердых сплавов).

Другая, упрощенная, формула имеет вид

$$\Delta B_x = Kt\,\lambda_x\, 2\operatorname{tg}\alpha,$$

где K — коэффициент, учитывающий вынужденное уширение металла и износ инструмента; равен 1,1—1,15.

Окончательная ширина ручья

$$B_x = D_x + \Delta B_x,$$

где D_x — диаметр ручья в контрольном участке.

Расчет оправки

Конусность оправок определяют по формуле

$$2\operatorname{tg}\beta = \frac{d_{\text{ц}} - d_{\text{к}}}{L_{\text{раб}}},$$

где β — угол наклона образующей конуса оправки;

$d_{\text{ц}}$ — диаметр цилиндрической части оправки, *мм*;

$d_{\text{к}}$ — диаметр оправки, равный внутреннему диаметру готовой трубы, *мм*;

$L_{\text{раб}}$ — длина рабочей части оправки равная длине конической части оправки $L_{\text{опр}}$ без длины калибровочной зоны, *мм*.

Конусность оправок рекомендуется брать в пределах $2\operatorname{tg}\beta = 0{,}005 \div 0{,}015$. В случае значительной разницы между диаметрами заготовки и прокатываемой трубы конусность может быть увеличена до 0,030.

Малая конусность оправок (около 0,01) благоприятствует получению качественных труб по размерам и чистоте их поверхности При малой конусности уменьшается размер заготовки, что способствует достижению высокой производительности станов.

Пример. Пусть требуется рассчитать калибровку для прокатки на стане ХПТ $2^1/_2''$ труб наготово размером 28×26 *мм* из заготовки - сплава Л68 размером 45×35 *мм*.

Исходные данные стана ХПТ $2^1/_2''$

1. Катающий диаметр валков $D_{\text{в}} = 337{,}9$ *мм*.
2. Диаметр ведущей шестерни $D_{\text{ш}} = 325$ *мм*.
3. Длина хода клети $L_{\text{ход}} = 574{,}46$ *мм*.
4. Угол рабочего хода

$$\alpha = \frac{360 \cdot l_{\text{ход}}}{\pi D_{\text{ш}}} = \frac{360 \cdot 574{,}46}{3{,}14 \cdot 3{,}25} = 202{,}53°.$$

5. Угол зева по ведущей шестерне (из кинематической схемы) $\alpha_{\text{зева}} = 25{,}6°$.
6. Длина рабочего участка калибра (по катающему диаметру)

$$L_{\text{раб}} = \frac{\pi D_{\text{в}} (\alpha - \alpha_{\text{зева}})}{360} = \frac{3{,}14 \cdot 337{,}9 \cdot (202{,}53 - 25{,}6)}{360} = 520{,}36 \text{ мм}.$$

7. То же, по ведущей шестерне:

$$L_{\text{раб}} = \frac{\pi D_{\text{ш}} (\alpha - \alpha_{\text{зева}})}{360} = \frac{3{,}14 \cdot 325 \cdot (202{,}53 - 25{,}6)}{360} = 500{,}55 \text{ мм}.$$

8. Подачу за рабочий ход примем $t = 8$ *мм*.

Расчет гребня ручья

1. Толщина стенки заготовки номинальная $S = 5{,}0$ *мм*; с учетом плюсового допуска $S_0 = 5{,}0 + 0{,}5 = 5{,}5$ *мм*.
2. Толщина стенки готовой трубы номинальная $S_1 = 1{,}0$; с учетом минусового допуска $S_1 = 1{,}0 - 0{,}1 = 0{,}9$ *мм*.
3. Конусность оправки примем $2\operatorname{tg}\beta = 0{,}01$.
4. Диаметр пережима оправки $d_{\text{к}} = D_{\text{к}} - 2S_1 = 28 - 2 \cdot 0{,}9 - 26{,}2$ *мм*.

5. Зазор a между трубной заготовкой и цилиндрической частью оправки примем равным 2 4 *мм*, а конусность ручья в зоне редуцирования — равной 0,18.

6. Длина зоны редуцирования

$$l_p = \frac{a}{2\operatorname{tg}\alpha - 2\operatorname{tg}\beta} = \frac{24}{0{,}18 - 0{,}10} = 30 \text{ мм}.$$

7. Толщина стенки заготовки после редуцирования

$$S = S_0 + \Delta S_0 = 5{,}5 + 0{,}05 \cdot 2{,}4 = 5{,}62 \text{ мм}.$$

8. Суммарная вытяжка по стенке

$$\lambda_{\Sigma c} = \frac{S}{S_1} = \frac{5{,}62}{0{,}9} = 6{,}25.$$

9. Длину предотделочной зоны $l_п$ примем равной 55 *мм*.

10. Длина калибровочной зоны

$$l_к = (1{,}5 \div 2{,}0)\, t\, \lambda_\Sigma,$$

$$l_к = 1{,}59 \cdot 8 \cdot 6{,}25 = 79{,}55.$$

11. Длина обжимной зоны

$$l_0 = 500{,}55 - 30 - 55 - 79{,}55 = 336 \text{ мм}.$$

12. Длина контрольных участков

$$l = \frac{l_0}{7} = \frac{336}{7} = 48 \text{ мм}.$$

13. Длина рабочей конической части оправки

$$L_{опр} = l_p + l_0 + l_п = 30 + 336 + 55 = 421 \text{ мм}.$$

14. Диаметр цилиндрической части оправки

$$d_ц = d_к + 2\operatorname{tg}\beta\, L_{спр} = 26{,}2 + 0{,}01 \times 421 = 30{,}41 \text{ мм}.$$

15. Вытяжки по стенке $\lambda_{xc} = \frac{S}{S_x}$ в контрольных сечениях обжимной зоны находят по номограмме (см рис. 27 и табл. 54).

16. Толщина стенки в контрольных сечениях.

$$S_x = \frac{S}{\lambda_{xc}}$$

$$S_{x1} = \frac{5{,}62}{1} = 5{,}62 \text{ мм};$$

$$S_{x2} = \frac{5{,}62}{2} = 2{,}81 \text{ мм};$$

$$Sx_3 = \frac{5{,}62}{6{,}25} = 0{,}90 \text{ мм (см. табл. 54.)}$$

17. Диаметр оправки в контрольных сечениях:

$$d_x = d_к + 2\operatorname{tg}\beta\, l_x;$$

$d_8 = 26{,}2$ *мм*;

$d_7 = 26{,}2 + 0{,}01 \cdot 55 = 26{,}75$ *мм*;

$d_6 = 26{,}2 + 0{,}01\,(55 + 48) = 27{,}23$ *мм*;

$d_5 = 26{,}2 + 0{,}01\,(103 + 48) = 27{,}71$ *мм*;

. . . . . .

$d_0 = 26{,}2 + 0{,}01\,(343 + 48) = 30{,}4$ *мм*;

$d_{01} = 26{,}2 - 0{,}01\,(391 + 30) = 30{,}41$ *мм* (см. табл. 54).

18. Диаметр ручья в контрольных сечениях

$$D_x = 2S_x + d_x:$$

$D_{01} = 45$ *мм* (диаметр заготовки);

$D_0 = 2 \cdot 5{,}62 + 30{,}11 = 41{,}35$ *мм*;

$D_1 = 2 \cdot 2{,}81 + 29{,}63 = 35{,}25$ *мм*,

. . . . . .

$D_8 = 2 \cdot 0{,}90 + 26{,}2 = 28{,}0$ *мм* (см. табл. 54)

Расчет ширины ручья

19. Вытяжка по площади поперечного сечения в контрольных сечениях

$$\lambda_{xп} = \frac{(D_0 - S_0)\, S_0}{(D_x - S_x)\, S_x};$$

$$\lambda_{01} = 1{,}0;$$

$$\lambda_0 = \frac{(45 - 5{,}5)\, 5{,}5}{(41{,}35 - 5{,}62)\, 5{,}62} = \frac{217{,}25}{200{,}5} = 1{,}085;$$

Таблица 54

Вытяжки, толщина стенки заготовки, диаметр и ширина ручья в контрольных сечениях калибра

λ_{xc}	—	1,0	2,0	2,9	3,7	4,4	5,1	5,7	6,25	6,25
S_x	—	5,62	2,81	1,93	1,52	1,28	1,1	0,99	0,90	0,90
d_x	30,41	30,11	29,63	29,15	28,67	28,19	27,71	27,23	26,75	26,2
D_x	45	41,35	35,25	33,01	31,71	30,75	29,91	29,21	28,55	28,0
$\lambda_{xп}$	1,0	1,08	2,39	3,63	4,76	5,76	6,88	7,78	8,75	8,93
$2\operatorname{tg}\gamma_x$	—	—	0,127	0,047	0,027	0,020	0,017	0,015	0,014	0,010
ΔB_x	2,0	2,68	2,68	1,51	1,13	1,01	1,03	1,03	1,08	0,79
B_x	47,0	44,03	37,93	34,52	32,84	31,76	30,94	30,24	29,64	28,79
D	45	40,55	34,45	32,21	30,91	29,95	29,11	28,41	27,75	27,2
B	47	43,73	37,63	34,32	32,54	31,46	30,64	29,94	29 33	28,49
h_x	23,9	21,67	18,62	17,50	16,85	16,37	15,95	15,60	15,27	15,0

$$\lambda_1 = \frac{(45-5,5)\,5,5}{(35,25-2,81)\,2,81} = \frac{217,25}{91,3} = 2,39;$$

$$\lambda_2 = \frac{(45-5,5)\,5,5}{(33,01-1,93)\,1,93} = \frac{217,25}{60} = 3,63;$$

. . . . . .

$$\lambda_8 = \frac{(45-5,5)\,5,5}{(28-0,\ldots)\,0,9} = \frac{217,25}{24,4} = 8,93 \text{ (см. табл. 54).}$$

20. Конусность ручья калибров в контрольных участках (рис. 28)

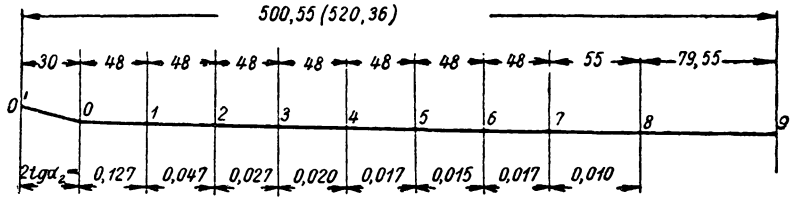


Рис 28. Конусность ручья калибров в контрольных участках

$$2\,\mathrm{tg}\,\alpha_x = \frac{D_x - D_{x+1}}{l_0}$$

участок 0—1 $2\,\mathrm{tg}\,\alpha_1 = \frac{41,35-35,25}{48} = \frac{6,1}{48} = 0,1270;$

участок 1—2 $2\,\mathrm{tg}\,\alpha_2 = \frac{35,25-33,01}{48} = \frac{2,24}{48} = 0,0467;$

участок 7—8 $2\,\mathrm{tg}\,\alpha_8 = \frac{28,55-28}{55} = \frac{0,55}{55} = 0,0100$ (см. табл. 54).

21. Величина развалки в контрольных сечениях

$$\Delta B_x = Kt\,\lambda_x\,2\,\mathrm{tg}\,\alpha_x;$$

примем коэффициент $K = 1,1$, а подачу за ход $t = 8$ *мм*;

ΔB_{01} берется равной 2 *мм*;

$\Delta B_0 = 2,68$ *мм* (берется по первому сечению);

$\Delta B_1 = 1,1 \cdot 8 \cdot 2,39 \cdot 0,127 = 2,68$ *мм*;

$\Delta B_2 = 1,1 \cdot 8 \cdot 3,63 \cdot 0,047 = 1,51$ *мм*

. . . . . .

$\Delta B_8 = 1,1 \cdot 8 \cdot 8,93 - 0,010 = 0,79$ *мм* (см. табл. 54).

22. Ширина ручья в контрольных сечениях

$$B_x = D_x + \Delta B_x;$$

$B_{01} = 45 + 2 = 47$ *мм*;

$B_0 = 41,35 + 2,68 = 44,03$ *мм*;

$B_1 = 35,25 + 2,68 = 37,93$ *мм*;

. . . . . .

$B_8 = 28,0 + 0,79 = 28,79$ *мм* (см. табл. 54).

23. Окончательный диаметр ручья в контрольных сечениях с учетом минусового допуска на диаметр готовой трубы (0,3 *мм*) и допуска на упругую деформацию (0,5 *мм*):

$D_p = D_x - 0,3 - 0,5$ *мм*;

$D_{p01} = 45$ (остается без изменения);

$D_{p0} = 41,35 - 0,3 - 0,5 = 40,55$ *мм*;

$D_{p1} = 35,25 - 0,3 - 0,5 = 34,45$ *мм*;

. . . . . .

$D_{p8} = 28,0 - 0,3 - 0,5 = 27,2$ *мм* (см. табл. 54).

24. Окончательная ширина ручья в контрольных сечениях с учетом минусового допуска на диаметр готовой трубы (0,3 *мм*)

$B_p = B_x - 0,3$ *мм*,

$B_{p01} = 47$ (остается без изменения);

$B_{p0} = 44,03 - 0,3 = 43,73;$

$B_{p1} = 37,93 - 0,3 = 37,63;$

. . . . . .

$B_{p8} = 28,79 - 0,3 = 28,49$ (см. табл. 54).

Расчет копира (рис. 29)

25. Длина участков копира, соответствующих зонам ручья

$$l_{хк} = \frac{l_{зоны}}{0{,}01R_ш},$$

$l_{о.к} : 7 = 207 : 7 = 29{,}6$ *мм*;

предотделочного

$$l_{п.к} = \frac{55}{0{,}01 \cdot 162{,}5} = 33{,}8 \text{ мм};$$

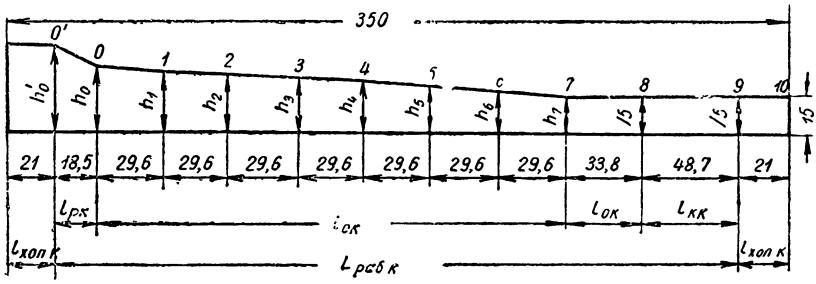


Рис. 29. Основные размеры копира для изготовления калибров 45 × 35—28 × 26 *мм*

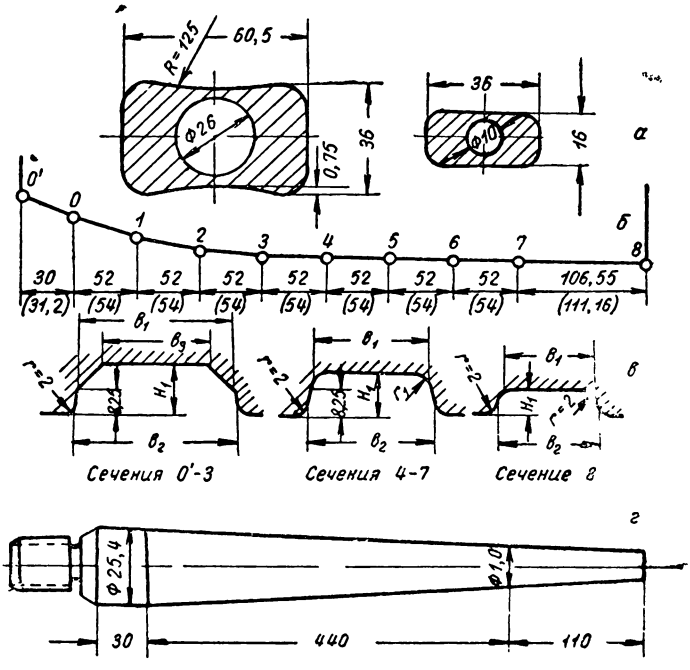


Рис. 30 Калибровка ручья для прокатки медных прямоугольных труб 36 × 16 × 10 *мм*: *а* — форма и размеры заготовки и готовой трубы; *б* — разбивка ручья (в скобках указаны размеры по бочке калибров); *в* — контрольные сечения; *г* — оправка с конусностью $2\operatorname{tg}\alpha = 0{,}035$

где $R_ш$ — радиус ведущей шестерни; для стана ХПТ2 $\frac{1''}{2}$ он равен 162,5 *мм*;

длина участков:
редуцирования

$$l_{р.к} = \frac{30}{0{,}01 \cdot 162{,}5} = 18{,}5 \text{ мм};$$

обжимного

$$l_{о.к} = \frac{336}{0{,}01 \cdot 162{,}5} = 207{,}0 \text{ мм};$$

калибровочного

$$l_{к.к} = \frac{79{,}55}{0{,}01 \cdot 162{,}5} = 48{,}7 \text{ мм};$$

$$L_{раб.к} = 18{,}5 + 207 + 33{,}8 + 48{,}7 = 308 \text{ мм}.$$

Длина холостых участков копира при его общей длине 350 *мм*

$$l_{хол.к} = \frac{350 - 308}{2} = 21 \text{ мм}.$$

26. Вертикальные размеры копира:

$$h_x = h_{x+1} + \frac{D_x - D_{x+1}}{2};$$

$h_8 = 15$ *мм* (конструктивный размер);

$$h_7 = 15 + \frac{27{,}75 - 27{,}20}{2} = 15{,}27 \text{ мм};$$

$$h_6 = 15{,}27 + \frac{28{,}41 - 27{,}75}{2} =$$

$$= 15{,}60 \text{ мм};$$

. . . . . .

$$h_{0'} = 21{,}67 + \frac{45{,}0 - 40{,}55}{2} =$$

$$= 23{,}90 \text{ мм} \text{ (см. табл. 54)}.$$

27. Проверка расчетов:
а) по ручью калибра:

$$\frac{45 - 27{,}2}{2} = 8{,}9 \text{ мм};$$

б) по копиру:

$$23{,}9 - 15 = 8{,}9 \text{ мм}.$$

Принцип расчета калибров и оправок для прокатки профильных труб в основном остается таким же, как и при производстве круглых труб. Форма ручья калибров при этом существенно меняется и в кинематическую схему стана вносят изменения.

На рис. 30 и в табл. 55 приведена характеристика калибров и оправки, примененных при прокатке медных прямоугольных труб с круглым отверстием [35]. Прокатка производилась на стане ХПТ $2\frac{1}{2}''$ с отключенным механизмом поворота заготовки.

Данные по прокатке подобных труб приведены также в работе [17].

§ 4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

1. Нагрев слитков перед прессованием

Для нагрева слитков из тяжелых цветных металлов и сплавов применяют газовые, мазутные и электрические печи. Газовые и мазутные печи применяют преимущественно для нагрева слитков из тяжелых цветных металлов, идущих на горизонтальные прессы. Электрические печи сопротивления применяют главным образом для нагрева слитков всех размеров из легких сплавов, а также из тяжелых цветных металлов, обрабатываемых на вертикальных прессах. В настоящее время со значительным эффектом для нагрева слитков стали применять индукционные нагревательные печи. Основным их преимуществом по сравнению с печами других типов является быстрота нагрева, благодаря чему на слитке образуется весьма незначительный слой окалины, более ритмичная работа печи и пресса, точное соблюдение режима нагрева слитков; простота обслуживания.

Это способствует получению изделий более высокого качества и снижению стоимости продукции.

Слитки из магниевых сплавов, фосфористой бронзы, а при изготовлении сложных профилей и из алюминиевых сплавов, перед прессованием подвергают гомогенизации с целью повышения пластичности сплавов и снижения необходимого давления при прессовании.

Для достижения минимального значения усилия прессования слитки следует нагревать до более высоких температур. Однако необходимо учитывать, что в ряде случаев возможно образование крупнозернистой структуры, что ведет к снижению механических свойств изделий. В табл. 56 приведен режим нагрева слитков из меди, алюминия и их сплавов.

Таблица 55

Размеры ручья калибров в контрольных сечениях для прокатки медных прямоугольных труб (рис. 30) *мм*

Определяемые величины	Сечение									
	0	*0'*	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
H_1	18,1	16,62	15,17	13,83	12,62	11,48	10,37	9,28	8,25	8,2
B_1	62,0	57,3	54,2	51,2	48,1	45,2	42,5	39,8	37,2	37,2
B_2	64,0	59,3	56,0	52,8	49,5	46,2	43,5	40,9	38,3	7,65
B_3	42,2	41,6	41,0	40,3	39,7	—	—	—	—	—

Таблица 56

Температурный режим нагрева слитков из цветных металлов и сплавов перед прессованием

Металл или сплав	Изделие	Сила давления пресса, *т*	Диаметр слитка, *мм*	Температура слитка °С	Продолжительность нагрева час.
Медь	Трубы	600	97	720—760	—
	Прутки	1500	145—175	80 —85	1,5—2
		1500	200—250	820—870	2,2—5
	Трубы	1500	145—175	825—875	1,5—2
		1500	200—250	850—900	2—2,5
	Прутки	2500	200—250	750—800	2 —2,5
		2500	300	780—850	3
	Трубы	2500	200	750—780	2,0
		2500	250—300	840—870	2,5—3,5
		2500	400	900—950	4,0
		2500	200	840—880	2,5
Л62	Трубы	600	97	660—700	—
	Прутки	1500	145—250	700—750	1,5—2,5
	Трубы	1500	145	675—725	1,5
		1500	175	700—750	2,0
		1500	200	780—830	2,0
		1500	250	820—880	2,5
	Прутки	2500	200	650—700	2,0
	Трубы	2500	250—300	680—750	2,5—3,5
	Трубная заготовка	2500	200—250	730—780	2,5—3,0
	Трубы	2500	200—300	680—730	2,0—3,5
Л68	Трубы	600	97	740—780	—
	Трубная заготовка	1500	200	770—820	2,0
	Трубы и прутки	2500	200	750—800	2,0
Л85	Прутки	1500	200	820—870	2,5
	Трубы	2500	200—250	870—920	3,0
Л96	Прутки	1500	200	820—870	2,0
ЛО60-1	Прутки	1500	145	675—725	1,5
		1500	175—250	700—750	2—2,5
		2500	200	650—700	2
		2500	250—300	680—750	2,5—3
ЛО70-1	Трубы	600	97	700—740	—
	Прутки	2500	200	680—730	2
	Трубы	2500	200	740—780	2

Продолжение табл. 56

Металл или сплав	Изделие	Сила давления пресса *т*	Диаметр слитка *мм*	Температура слитка °С	Продолжительность нагрева час.
ЛС59-1	Прутки в бухтах	1000	145—175	700—780	1,5—2
	Прутки и трубы	1500	145—175	650—700	1,5—2
		1500	200—250	680—730	2—2,5
		2500	250—300	680—750	2,5—3
ЛС63-3	Прутки	2500	200—250	620—680	2—2,5
ЛАЖ60-1-1	Прутки	2500	250—300	680—750	2,5—3
ЛЖМц59-1-1	Трубы	1500	145—175	700—750	1,5—2
		2500	200—300	680—730	2—3
		2500	400	700—750	—
ЛМц58-2	Прутки	2500	200—300	600—650	—
Бр.АЖ9-4	Прутки	2500	250	800—875	—
		2500	300	825—900	—
		2500	400	850—920	—
Бр АЖМц10-3-1,5	Прутки и трубы	1500	175	820—870	—
		1500	200—250	850—900	—
		2500	200—400	800—875	—
Бр.АЖН10-4-4	Прутки и трубы	1500	175	850—900	—
Бр Б2	Трубы	600	83	780—820	—
Бр.КН1-3	Прутки	600	83	780—840	—
		2500	200	850—900	—
БрОФ6,5-0,15	Прутки	600	83—97	730—770	—
		2500	200	700—750	—
Бр.ОЦ4-3	Прутки	600	83—97	740—800	—
		2500	200—250	800—870	—
БХЦ и БХО	Прутки	1500	175	900—950	—
Никель	Трубы	600	83	950—1000	—
		2500	200	1120—1200	—
МНЖМц30-0,8-1	Трубы	600	97,5	940—980	—
	Прутки	2500	200	875—940	—

Продолжение табл. 56

Металл или сплав	Изделие	Сила давления пресса *т*	Диаметр слитка *мм*	Температура слитка °С	Продолжительность нагрева час.
МН95-5	Трубы	1500 2500	175 250—300	900—950 850—900	— —
МНЦ15-20	Трубы	600	83	780—840	—
Алюминий	Трубы Трубы и прутки	1500 3000 3000	145—175 200 400	375—425 350—380 450—500	— — —
Д1	Трубы и прутки	600 3000 3000	83—97 200 400	360—380 410—450 420—480	— — —
В95	Трубы и прутки	3000	200	420—480	—
АК6	Трубы и прутки	3000	200—250	440—480	—
Титан	Прутки Прутки Трубы	600 3000 600	83—97 200 83	900—1000 950—1050 900—920	— — —

Таблица 57

Температурный режим нагрева слитков перед прессованием магниевых сплавов [16]

Сплав	Диаметр слитка *мм*	Рекомендуемые при нагреве слитка перед прессованием		Возможный интервал температур прессования, °С		Температура контейнера °С
		температура °С	время час.	максимум	минимум	
МА1	270 360	380—410	6—7 8—9	400	300	300
МА2	270 360	390—410	6—7 8—9	400	280	280
МА3	270 360	360—380	7—8 9—10	370	280	280
МА4	270 360	350—370	7—8 9—10	360	280	280
МА5	270 360	340—360	7—8 9—10	360	280	280
МА8	270 360	380—400	6—7 8—9	410	300	280

При прессовании мельхиоровых труб размером 31×26 и 32×26 *мм* на 600-*т* прессе шашки диам. 97,5 *мм* и длиной от 90 до 140 *мм* нагревают в высокочастотной индукционной установке (см. табл. 149). В индукторе одновременно находится по 7—10 шашек. Выдача их для прессования осуществляется через 35—36 сек., что обеспечивает до 100 прессовок в час. Общее время пребывания каждой шашки в индукторе составляет 3,5—4 мин., в течение которых шашки нагреваются до 940—980°.

Шашки из сплавов ЛО70-1 и Л68 нагревают соответственно до 680—720 и 740—760°.

При прессовании изделий из предварительно прессованной магниевой заготовки время нагрева может быть сокращено на 25—30%.

Предварительная гомогенизация слитков магниевых сплавов позволяет снизить удельное давление прессования на 16—28% [16].

Ниже, а также в табл. 57, приведены рекомендуемые температуры и время выдержки при гомогенизации магниевых сплавов:

	°С	час.
МА1	340—400	3—5
МА2	до 400	3—5
МА3	320—380	4—8
МА4	320—350	4—6
МА5	350—380	3—6
МА8	280—320	2—3

Для других сплавов температуры и время выдержки при гомогенизации составляют:

	°С	час.
Бр.ОФ4 = 0,25	700—750	4—5
Д 16, В 95	440—460	16—24

2. Скорость прессования

В трубопрессовом деле различают две скорости:

1) скорость прессования v *см/сек*, т. е. скорость, с которой движется шплинтон;

2) скорость истечения V *см/сек*, т. е. скорость, с которой металл истекает из очка матрицы.

Между этими скоростями и коэффициентом вытяжки существует зависимость

$$V = v\lambda.$$

Скорость прессования определяется пластичностью металла при температуре обработки и размерами изделия. Как правило, менее нагретые слитки и мелкие изделия прессуют с более высокими скоростями и наоборот.

Высокая скорость прессования способствует разогреву металла, что иногда приводит к растрескиванию изделий. Поэтому при повышенных температурах нагрева слитков скорость прессования снижают.

В табл. 58 и 59 приведены принятые на практике скорости прессования некоторых видов изделий.

Таблица 58

Принятые на практике скорости истечения цветных металлов и сплавов при прессовании их на гидравлических прессах

Металл или сплав	Диаметр контейнера, *мм*	Размер *мм* труб	Размер *мм* прутков	Скорость истечения, *см/сек*
Медь	100	26,5×23	—	170
	155	30×26	—	400
	180	33×26	—	320
	180	48×40	—	200
	200	75×65	—	130
	200	110×100	—	80
	300	162×150	—	70
	400	280×260	—	40
Л96	80	27×23	—	150
Л68	100	30×26	—	200
	200	—	100	25
Л62	100	30×26	—	200
	155	39×35	—	270
	180	48×40	—	190
	180	50×40	—	160
	180	53×40	—	180
	255	—	70	100
ЛС59-1	100	27×20	—	175
	180	36×22	—	200
	180	46×26	—	130
	145	—	5,8	175
	190	—	17	380
	190	—	26	170
	210	—	60	50
	180	—	12	300
	180	—	25	200
	180	—	45	300
	300	—	110	10
ЛО70-1	100	35×30	—	150
МНЖМц30-0,8-1	200	—	88	20
	100	32×26	—	80
ЛЖМц59-1-1	150	40×20	—	100
	180	—	45	100
	200	—	60	60
	306	100×75	—	60
БАЖН10-4-4	180	—	30	50
	210	—	55	25

Таблица 59

Рекомендуемые скорости истечения при прессовании магниевых сплавов [16]

Сплав	Характер заготовки	Диаметр прутка *мм*	Скорость истечения *см/сек*	Минимальные значения вытяжки при прессовании
МА1, МА2, МА8	Литая	150—100 90—50 30 и менее	0,8—1,0 1,1—1,2 до 1,8	5
МА3, МА4, МА5	Литая	150—100 До 50 30 и менее	0,6—0,7 0,8—1,0 до 1,2	5
МА2, МА3	Прессованная	Прутки малого сечения и профили	5—8 3—5	20—30
МА1, МА8	То же	То же	10—25 5—15	25—50 20—30
МА4, МА5	То же	То же	1—2,5	20—30

3. Смазка при прессовании

При прессовании труб и прутков из большинства цветных металлов применяют смазку, состоящую из машинного масла марки С ГОСТ 1707—51 с 20—25% чистого пластинчатого графита. При прессовании мельхиора, куниаля, фосфористой бронзы содержание графита в смазке увеличивают до 30—40%.

В зимнее время в смазку для разжижения добавляют 5—7% керосина, в летнее — канифоль, способствующие удержанию частиц графита во взвешенном состоянии.

При прессовании труб на горизонтальных прессах смазывают только иглу. Контейнер, матрицу и пресс-шайбу не смазывают. При прессовании тяжело прессуемых сплавов (МНЖМц30-0,8-1, Бр.ОФ6,5-0,15, Бр.НА14-3 и в некоторых случаях алюминиевых и магниевых сплавов), смазывают иглу и контейнер.

При прессовании на вертикальных прессах тяжелых цветных металлов смазывают иглу, контейнер и матрицу, а при прессовании легких металлов — только иглу. Для смазки иглы применяют машинное масло, которое также используется для охлаждения иглы после каждого прессования.

4. Режим работы станов холодной прокатки труб (ХПТ)

Производительность станов ХПТ определяется в основном величиной подачи, вытяжки и числом двойных ходов клети в минуту. Величина подачи, кроме того, в значительной мере влияет на качество прокатываемых труб. Чем больше подача, тем заметнее проявляются следы прокатки в виде волнистости. При прокатке промежуточной заготовки, когда волнистость устраняется последующим волочением, целесообразно работать с повышенными подачами. При прокатке труб наготово рекомендуется подачи уменьшать.

Качество прокатанных труб тем выше, чем больше коэффициент прогладки:

$$K = \frac{l_к}{t\,\lambda_\Sigma},$$

где $l_к$ — длина калибровочной зоны калибра, *мм*;

t — величина подачи за один двойной ход клети, *мм*;

λ_Σ — суммарная вытяжка

По данным [27], при прокатке труб наготово рекомендуется брать $K = 2{,}5 \div 3$ и тогда величина подачи

$$t = \frac{l_к}{(2{,}5 \div 3)\,\lambda_\Sigma}.$$

При прокатке промежуточной заготовки коэффициент прогладки уменьшается до 2—2,5.

Равномерное распределение давлений по гребню ручья калибров, как это рекомендуют [14, 15], позволяет работать с более высокими подачами.

Суммарная вытяжка устанавливается на практике в зависимости от механических свойств прокатываемого металла или сплава и прочности инструмента.

В табл. 60 и 61 приведены принятые на практике режимы прокатки труб на станах ХПТ.

Таблица 60

Режим работы на станах холодной прокатки труб при обработке цветных металлов и сплавов

Тип стана	Металл или сплав	Размер заготовки *мм*		Размер трубы *мм*		Вытяжка	Подача *мм*	Число ходов в минуту
		сечение	толщина стенки	сечение	толщина стенки			
ХПТ $1^1/_2''$	Медь	38×32	3	19×17,5	0,75	6,4	6,0	95
		32×26	3	17×15	1	5,45	5,5—6,5	95
		26×22	2	12,5×10,5	1,0	4,18	6,0	95
	Л68	38×31	3,5	25×23	1	5,03	6,5—7	90
		38×31	3,5	25×21	2	2,63	10—12	80
		32×26	3	19×17	1,0	4,83	6,0	95
		32×26	3	16×14	1,0	5,8	6,5	110
		38×31	3,5	24×22	1,0	5,25	7,0	110
	ЛО70-1	32×26	3	19×17	1,0	4,83	8,0	110
	МНЖМц30-0,8-1	32×26	3	19×17	1,0	4,83	6—7	95
	Л62	32×26	3	19,7×18	0,85	5,44	6,0	104
ХПТ 40	Медь	38×32	3	20×18	1,0	5,53	5,0	110
		32×26	3	18×16	1,0	5,12	5,0	115
		32×26	3	20×17	1,5	3,14	7,0	115
	Л62, Л68	32×26	3	18×16	1,0	5,12	4—5,0	110
	МНЖМц30-0,8-1	38×26	6	25×22	1,5	5,47	5—7	110
		32×26	3	20×18	1,0	5,12	4—6,0	110
		32×26	3	20×17	1,5	3,14	5—7,0	110
	Никель	39,5—34	2,75	31,9×29,7	1,1	2,91	2,5—4,5	110
		39×30	4,5	25×18	3,5	2,07	5—6,5	110
ХПТ $2^1/_2''$	Медь	58×50	4,0	38×36	1,0	5,84	6,0	73
		50×30	10,0	25×19	3,0	6,06	8,0	89
		45×35	5,0	25,6×20	2,8	3,14	6,0	73
	Л68	58×45	6,5	28×24	2,0	6,45	6,0	73
		43×35	4,0	28×26	1,0	5,8	6,0	73
	ЛО70-1	57×45	6,0	38×32	3,0	2,92	6,0	73
	Л62	61×55	3,0	42×40	1,0	4,25	5,8	89
	МН95-5	58×45	6,5	45×40	2,5	3,15	6,0	73
	Алюминий	50×26	12	30×20	5,0	3,65	6,0	73
		57×42	7,5	38×34	2,0	5,15	9,0	60
	Титан	40×30	5,0	30×24	3,0	2,16	6,0	73
		32×26	3,0	24×20	2,0	1,97	6,0	73
ХПТ 60	Медь	60×50	5	38×32	3	2,62	5,5—7,5	90
	ЛО70-1	61×49	6	38×32	3	3,15	5—7	80

Таблица 61

Режим работы при однократной и двукратной прокатке латунных труб [13] на станах ХПТ 55 и ХПТ 32

Марка сплава	Размер прессованной заготовки, мм	Первая прокатка на стане ХПТ 55				Состояние труб перед второй прокаткой	Вторая прокатка на стане ХПТ 32			
		размер трубы после прокатки, мм	подача, мм	вытяжка	обжатие, %		размер трубы после прокатки, мм	подача, мм	вытяжка	обжатие, %
Л68	62×50	42×35	10—11	2,5	60	Неотожженные	32×29	8,0	2,95	66,0
	62×50	36×32	8	4,95	80	»	—	—	—	—
	62×50	36×30	10	3,40	71	»	25×21	7,0	2,15	53,6
	62×50	36×30	10	3,40	71	Отожженные	25×23	6,0	4,14	76,0
	62×50	36×30	10	3,40	71	»	23×21	6,0	4,50	78,0
	62×46	36×30	7,5	4,36	78	Неотожженные	25×23	5,0	4,10	75,0
Л62	42×34	36×30	7,5	—	—	В состоянии прессовки	32×29	8,9	3,31	70,0

5. Травление изделий

На поверхности заготовок из меди и ее сплавов по окончании прессования и во время отжига образуется окалина, состоящая из окиси меди CuO и закиси меди Cu_2O. При отжиге мельхиора и других медноникелевых сплавов образуется окалина, состоящая из окислов меди и никеля.

Травлению подвергают заготовки после прессования — медные и латунные прутки и трубы, заготовки после промежуточного отжига, готовую продукцию после отжига (латунные трубы, медные прутки и трубы).

Для травления изделий из меди применяют 8—12%-ный раствор серной кислоты. Кислота взаимодействует с медной окалиной по формулам:

$$CuO + H_2SO_4 \rightarrow CuSO_4 + H_2O,$$

$$Cu_2O + H_2SO_4 \rightarrow Cu + CuSO_4 + H_2O.$$

Травление наиболее интенсивно проходит при температуре 50—60° и заметно снижается ниже 30°. Время травления составляет 10—15 мин.

Изделия из латуней (Л62, Л68) и большинства бронз (Бр.ОЦ4-3, Бр.АМц9-4 и др.) травят также в растворе H_2SO_4. но при соответствующих условиях (концентрация раствора 3—8%, температура раствора 30—40°, время травления 3—5 мин.).

Мельхиоровые трубы и другие изделия из медноникелевых сплавов травят в 10—12%-ном растворе H_2SO_2 с добавкой хромпика ($K_2Cr_2O_7$). Последний растворяют в небольшом количестве воды и затем вводят в травильный раствор из расчета 5—10 *г* на литр раствора. Время травления 1 час.

После травления и промывки в холодной воде все изделия дополнительно промывают водой из шланга и после промывки в горячей воде (60—80°) продувают сжатым воздухом для удаления металлических опилок и пыли. Готовые изделия помещают в сушильный шкаф.

По мере работы травильных ванн содержание свободной H_2SO_4 в растворе уменьшается, а содержание сернокислой меди $CuSO_4$ и цементной меди увеличивается. Высокое содержание в растворе $CuSO_4$ замедляет скорость реакции разложения CuO и Cu_2O и тем самым увеличивает время травления. Когда содержание серной кислоты в растворе достигнет 4—5%, а содержание меди 25—27 *г/л*, раствор заменяют.

Старые отработанные растворы могут быть использованы для получения из них медного купороса $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ и меди или подвергнуты регенерации. Последняя сокращает расход кислоты на травление и позволяет извлекать медь из растворов.

На ленинградском заводе «Красный Выборжец» для регенерации травильного раствора электролизом в торце травильного бака отгорожено (деревянной перегородкой) регенерационное отделение. В верхней и нижней части перегородки сделаны окна для циркуляции раствора. На дне регенерационного отделения уложены свинцовые змеевики для нагрева раствора до 50—60° глухим паром. В качестве анода

применено 11 свинцовых пластин размером 360×900 *мм* и общей действующей площадью 6,5 *м*². Катодом служат 10 медных листов размером 1×500×1000 *мм* и общей действующей площадью 10 *м*². Напряжение на ванне 2 *в*; плотность тока на аноде 230 *а/м*²; плотность тока на катоде 150 *а/м*²; выход по току (от теоретического) 70—80%. Регенерационная установка оборудована вентиляцией; вытяжные колпаки и трубы установки изготовлены из алюминия.

6. Изготовление захваток

Размеры и качество (плотность и прочность) захваток должны обеспечивать возможность использования их не менее двух-трех раз. После одной-двух протяжек деформированные захватки подвергают правке. Длины захваток на трубах, принятые на практике, приведены в табл. 62. Длина захваток на прутках диаметром до 50 *мм* составляет от 100 до 150 *мм*.

Таблица 62

Длина захваток на трубах

Диаметр трубы *мм*	Общая длина захваток *мм*	Диаметр трубы *мм*	Общая длина захваток *мм*
До 15	100	141—200	200
16—40	120	201—250	230
41—70	150	251—300	260
71—100	180	301—400	300
101—140	200		

У труб диаметром до 150 *мм* захватки куют, у более крупных труб делают клинообразные вырезы — ласки. Ласки, загнутые на коническую головку стержня или на «конус» и охваченные обжимным кольцом, образуют достаточно прочную захватку (см. рис. 70). Длина части трубы, нарезаемой для ласки, устанавливается в зависимости от наружного диаметра трубы и может быть в пределах от 200 до 350 *мм*. После нарезки ласок трубы продувают сжатым воздухом или чистят ершом для удаления опилок с их внутренней поверхности.

В большинстве случаев захватки изготовляют в холодном состоянии. Только у прутков диаметром свыше 15 *мм* и у труб различных диаметров с толщиной стенки более 6 *мм*, а также на крупных профилях захватки изготовляют в горячем состоянии. У прямоугольных и широких прутков, а также у профилей захватки изготовляют фрезеровкой или обрезкой ленточными пилами.

Захватки изготовляют на менее качественных концах изделий: на передних разностенных концах прессованных труб и на задних концах прессованных прутков, имеющих прессутяжку. У тянутых труб дефектными бывают передние концы вследствие образования на них забоек (холостых протяжек) и задние концы из-за неравномерной вытяжки их торцов при косой резке.

7. Схемы волочения труб и прутков

Основным фактором, ограничивающим степень деформации при волочении, является величина допустимого рабочего напряжения в конце изделия, выходящем из зоны деформации.

Коэффициент запаса, т. е. степень надежности принятых обжатий по проходам в отношении отсутствия обрывов, определяют по формуле

$$\eta = \frac{F_1 \sigma_b}{P},$$

где η — коэффициент запаса;
F_1 — площадь поперечного сечения протянутого изделия, *мм*²
σ_b — предел прочности протянутого изделия при разрыве, *кг/мм*²;
P — измеренное усилие волочения, *кг*.

На практике приняты следующие коэффициенты запаса при волочении труб:

Из меди	1,20—1,25
Из латуни: ЛО70-1	1,10—1,35
Л68	1,25—1,55
Л62 . . .	1,25—1,55

В процессе волочения пластические свойства металлов и сплавов снижаются и опасность обрывов увеличивается, поэтому коэффициент запаса с каждым последующим волочением должен также увеличиваться, а коэффициент вытяжки уменьшаться. В табл. 63 приведены предельные величины коэффициентов вытяжки, применяемые при волочении труб. На величину коэффициента вытяжки влияет съем по стенке и осадка по диаметру, поэтому важно правильно подобрать их соотношение.

Обычно вытяжка за проход только за счет утонения стенки составляет при волочении труб:

Из меди	1,35—1,20
Из латуни: ЛО70-1	1,42—1,25
Л68	1,33—1,25
Л62	1,33—1,20

Осадку по диаметру берут в пределах 1—8 *мм*; для медных отожженных труб диаметром свыше 200 *мм* осадку увеличивают до 10—12 *мм*.

При волочении прессованной или отожженной заготовки на первом проходе применяют наибольшие вытяжки; на последующих проходах их уменьшают.

Таблица 63

Предельные величины коэффициентов вытяжек, применяемых при волочении труб

Металл или сплав	Размеры готовых труб, *мм*		Коэффициент вытяжки по проходам	
	наружный диаметр	толщина стенки	I	II
Медь	5—9	0,5—1,5	1,48	1,42
	5—9	2—3	1,56	1,50
	5—9	4—5	1,39	1,37
	10—14	1—2	1,56	1,46
	10—14	2,5—3	1,39	1,34
	15—30	1—2	1,55	1,46
	15—30	2,5—4	1,46	1,30
	31—80	1—2	1,48	1,38
	31—80	2—4	1,38	1,30
	81—120	1,5—3,5	1,48	1,38
	71—120	4—5	1,37	1,24
	121—209	2—3	1,38	1,34
	121—209	3,5—5	1,30	1,19
	210—300	3—5	1,17	1,16
Л62	3—9	0,5—2	1,62	1,58
	10—14	0,5—1,5	1,63	1,58
	15—20	2—3	1,54	1,38
	15—20	4—5	1,39	1,30
	21—40	1—2,5	1,47	—
	21—40	3—5	1,36	—
	41—80	1—3	1,47	1,39
	41—80	3,5—5	1,28	—
	81—100	3—4	1,27	1,16
Л68	До 19	0,75—2	1,59	1,53
	Свыше 19	1—1,5	1,71	1,43
ЛО70	До 19	1—2	1,80	1,58
	Свыше 19	1—2	1,72	1,55

Число протяжек трубной заготовки между отжигами составляет:

Для сплавов Л62 и дуралюмина 1—2
Для ЛО70-1 и Л68 . . . . . 2—3
Для Бр ОФ6,5-0,4 . . . . . 3—4
Для медных труб диам. свыше 100—130 *мм* 2—5

Медные трубы диаметром до 100 *мм* и трубы из мельхиора и алюминия обычно тянут без отжига.

При составлении схем волочения труб со свободной оправкой на барабане необходимо учитывать следующие особенности процесса:

1) обжатия могут быть приняты такие же, как и при волочении с обычной оправкой;

2) величина осадки допускается в 1,5—2 раза выше, чем при волочении на цепном стане;

3) величина съема вследствие дополнительных растягивающих напряжений в изгибаемой части трубы должна быть меньше, чем при волочении на цепном стане;

4) с увеличением диаметра барабана напряжения от изгиба трубы уменьшаются;

5) наибольший экономический эффект дает волочение на барабане крупных длинных труб при плавно возрастающей скорости в начальный момент волочения и с большой скоростью при последующем волочении.

Рациональной схемой волочения труб является: волочение на цепных станах с большими вытяжками (1,50—1,70) и интенсивным утонением стенки и волочение на барабанах с умеренными вытяжками (1,30; 1,40) и небольшим утонением стенки [40].

Волочение прутков обычно имеет калибровочный характер, поэтому вытяжки по проходам часто берут ниже, чем допускает пластичность металла. Так, при однократном волочении вытяжки для прутков различных диаметров не превышают:

Диам. прутков *мм*	Вытяжка на прутках медных	латунных
6	1,40	1,20
12	1,25	1,18
22	1,22	1,16
40	1,15	1,10

При многократном волочении прутков суммарную вытяжку между отжигами принимают:

Для сплавов ЛС59-1: ЛО60-1: Бр АЖМц9-2; Бр Б2 1,5
Для сплавов ЛС63-3; НК; Бр О14-3 2,0
Для сплавов Л65, Бр КМц3-1, монель-металл 3,0

В табл. 64, 65, 66 приведены типичные схемы волочения труб из разных сплавов в широком диапазоне размеров.

8. Выбор волочильных станов

При определении усилий волочения, требующихся при волочении труб и прутков из цветных металлов и сплавов, наряду с использованием формул, приведенных в § 3, могут быть применены данные табл. 67. Расчетные усилия определены по формуле Альшевского.

Таблица 64

Типичные схемы волочения труб из меди

№ протяжки	Схема волочения *мм*	Толщина стенки *мм*	Вытяжка
	30×26	2,0	
1	26,1×23	1,55	1,48
2	23,4×21	1,2	1,42
3	20,9×19	0,95	1,41
4	18,5×17	0,75	1,43
5	16,2×15	0,6	1,39
6	14×13	0,5	1,39
7	11,8×11	0,4	1,37
8	9×8*	0,43	1,26
9	7×6*	0,45	1,22
10	5×4*	0,48	1,27
11	4×3*	0,5	1,22
	30×26	2,0	
1	25,2×22	1,6	1,48
2	20,7×18	1,35	1,45
3	17,2×15	1,1	1,48
4	14,8×13	0,9	1,42
5	11×9*	0,93	1,36
6	8×6*	0,97	1,36
7	6×4*	1,0	1,35
	37×35	2,0	
1	35,2×32	1,6	1,38
2	33,6×31	1,3	1,28
3	30×32	1,0	1,26
1	56×50	3,0	
2	49,4×45	2,2	1,48
3	47,4×44	1,7	1,38
4	44,8×42	1,4	1,28
5	42,4×40	1,2	1,23
6	40×38	1,0	1,27
	30×26	2,0	
1	25,2×22	1,6	1,48
2	20,7×18	1,35	1,45
3	14×11*	1,4	1,56
4	10×7*	1,45	1,47
5	8×5*	1,48	1,3
6	6×3*	1,5	1,46
	50×45	2,5	
1	45,6×41	2,3	1,45
2	42,6×39	1,8	1,36
3	40×37	1,5	1,28
	76×70	3,0	
1	70,6×66	2,3	1,38
2	66,6×63	1,8	1,36
3	63×60	1,5	1,26

№ протяжки	Схема волочения *мм*	Толщина стенки *мм*	Вытяжка
	31×26	2,5	
1	23,3×19	2,15	1,56
2	16,9×13	1,95	1,56
3	12×8*	1,97	1,48
4	8×4*	2,0	1,63
	110×110	5	
1	102,2×95	3,6	1,42
2	100×94	3,0	1,29
3	98,2×93²*	2,6	1,17
4	95×91	2,0	1,37
	51×45	3	
1	45×40	2,5	1,36
2	40×36	2,0	1,39
	88×80	4	
1	81,2×75	3,1	1,39
2	74,8×70	2,4	1,39
3	70×66	2,0	1,28
	120×110	5	
1	112,2×105	3,6	1,47
2	108×102	3,0	1,24
3	106,2×101²*	2,6	1,18
4	100×96	2,0	1,37
	130×120	5	
1	122,2×115	3,6	1,47
2	120×114²*	3,0	1,22
3	115,8×111	2,4	1,29
4	114×110	2,0	1,22
	120×110	5	
1	111,2×104	3,6	1,48
2	109×103	3,0	1,22
3	105×100	2,5	1,20
	150×140	5	
1	139,2×132	3,6	1,48
2	131×125	3,0	1,28
	183×170	6,5	
1	172×162	5	1,38
2	160,8×152	4,4	1,21
3	152,2×145²*	3,6	1,29
4	146×140	3,0	1,23
	280×260	10	
1	Раздача= =283×263	10	
2	281×263³*	9	1,12

Продолжение табл. 64

№ протяжки	Схема волочения *мм*	Толщина стенки *мм*	Вытяжка
	Обточка =		
	=280×263[2]*	8,5	
3	265×248	8,5	1,06
4	260×244[2]*	8,13	1,13
5	246×232	7,0	1,16
6	241×228[2]*	6,5	1,13
7	226×215	5,5	1,25
8	222×212[2]*	5,0	1,13
9	209×200	4,5	1,18
10	198×191[2]*	4,0	1,18
11	185×178	3,5	1,22
12	181×175	3,0	1,18
	408×384	12	
1	393×372[3]*	10,5	1,18
2	391×372[3]*	9,5	1,11
	Обточка =		
	=389×372[2]*	8,5	
3	377×361	8,0	1,09
4	367×352[2]*	7,5	1,1
5	353×339	7,0	1,11
6	343×330[2]*	6,5	1,11
7	329×317	6,0	1,12
8	322×311	5,5	1,12
9	310×300	5,0	1,14
10	299×290[2]*	4,5	1,15
11	290×282	4	1,16
12	282×275	3,5	1,17

№ протяжки	Схема волочения *мм*	Толщина стенки *мм*	Вытяжка
	408×384	12	
1	393×372[3]*	10,5	1,18
2	391×372	9,5	1,11
	Обточка =		
	=389×372[2]*	8,5	
3	373×357	8,0	1,11
4	365×350[2]*	7,5	1,09
5	353×339	7,0	1,11
6	343×330[2]*	6,5	1,11
7	332×320	6,0	1,12
8	322×311[2]*	5,5	1,12
9	314×305	4,5	1,25
10	308×300	4,0	1,14
	408×384	12	
1	381×360[3]*	12	
2	379×360[3]*	9,5	1,11
	Обточка =		
	=377×360[2]*	8,5	
3	373×357	8,0	1,08
4	370×355[2]*	7,5	1,11
5	366×353	6,5	1,14
6	364×352[2]*	6,0	1,04
7	360×350	5,0	1,23

* Волочение без оправки; внутренний диаметр показан условно.
[2]* Трубы этого размера отжигаются для последующего волочения.
[3]* Волочение на стержне.

Таблица 65

Типичная схема волочения труб из латуней, мельхиора и медноникелевого сплава марки МН95-5

№ протяжки	Схема волочения *мм*	Толщина стенки *мм*	Вытяжка
	Сплав Л62		
	39×35	2	
1	32×29[2]*	1,5	1,62
2	27,4×25	1,2	1,45
3	25×23[2]*	1,0	1,38
4	22,5×21	0,75	1,45
5	20,3×19[2]*	0,65	1,29
6	18×17	0,5	1,45
7	15,9×15[2]*	0,45	1,39
8	13,8×13	0,4	1,3
9	12×9*,[2]*	0,43	1,26
10	7×6*,[2]*	0,45	1,31
11	5×4*,[2]*	0,48	1,28
12	4×3*	0,5	1,3
	39×35	2	
1	32×29[2]*	1,5	1,62
2	25,4×23	1,2	1,58
3	22×20[2]*	1,0	1,38
4	16,7×15	0,85	1,58
5	13×11*,[2]*	0,88	1,23

№ протяжки	Схема волочения *мм*	Толщина стенки *мм*	Вытяжка
6	10×8*,[2]*	0,9	1,27
7	8×6*,[2]*	0,93	1,25
8	6×4*	0,97	1,37
	39×35	2,0	
1	32×29[2]*	1,5	1,62
2	25,4×23	1,2	1,58
3	22×20[2]*	1,0	1,38
4	15,9×14	0,95	1,48
5	12×10*	1,0	1,29
	39×35	2	
1	32×29[2]*	1,5	1,62
2	25,3×23	1,15	1,63
3	19×17	1,0	1,56
	39×35	2,0	
1	34,2×31[2]*	1,6	1,41
2	31,4×29	1,2	1,43
3	30×28	1,0	1,25

Продолжение табл. 65

№ протяжки	Схема волочения *мм*	Толщина стенки *мм*	Вытяжка
	51×45	3,0	
1	46,2×42	2,1	1,56
2	44,6×41[2*]	1,8	1,2
3	41,5×39	1,25	1,57
4	40×38	1,0	1,29
	61×55	3,0	
1	54,5×50[2*]	2,3	1,44
2	47,2×44[2*]	1,6	1,55
3	43,4×41	1,2	1,44
4	42×40	1,0	1,23
	39×35	2,0	
1	32,2×29	1,6	1,51
2	25×22[2*]	1,5	1,39
3	18,8×16	1,4	1,44
4	14,7×12[2*]	1,35	1,35
5	11×8*	1,4	1,37
6	8×5*,[2*]	1,45	1,41
7	6×3*	1,5	1,39
	31×26	2,5	
1	24,2×20[2*]	2,1	1,54
2	18,7×15	1,85	1,48
3	14×10*,[2*]	1,90	1,38
4	10×6*	1,95	1,46
5	8×4*	2,0	1,29
	77×70	3,5	
1	71,4×66[2*]	2,7	1,40
2	67,4×63	2,2	1,3
3	65×61	2,0	1,13
	33×26	3,5	
1	26,4×20	3,2	1,4
2	21,9×16[2*]	2,95	1,32
3	16×10*,[2*]	3,0	1,43
4	12×6*	3,05	1,45
	Сплав Л62		
	98×90	4,0	
1	92,8×86	3,4	1,23
2	90×84	3,0	1,16
	Сплав Л68		
	30×26	2,0	
1	25×22	1,5	1,59
2	20,4×18	1,2	1,53
3	16×14	1,0	1,53
	34×30	2,0	
1	30,2×27	1,6	1,40
2	27,4×25	1,2	1,4
3	25×23	1,0	1,3
	39×35	2,0	
1	35,2×32	1,6	1,37
2	31,5×29	1,25	1,4
3	30×28	1,0	1,3

№ протяжки	Схема волочения *мм*	Толщина стенки *мм*	Вытяжка
	Сплав Л070-1		
	32×26	3,0	
1	26,2×22	2,1	1,71
2	23,4×20[2*]	1,7	1,37
3	18,4×16	1,2	1,78
4	16×14	1,0	1,38
	35×30	2,5	
1	30,2×27[2*]	1,6	1,72
2	27,5×25	1,25	1,4
3	25×27	1,0	1,36
	Мельхиор МНЖМц30-0,8-1		
	32×26	3,0	
1	29×24	2,5	1,31
2	27,2×23	2,1	1,26
3	25,6×22	1,8	1,23
4	24,1×21	1,55	1,23
5	22,7×20	1,35	1,22
6	20,4×18	1,2	1,25
7	18,2×16	1,1	1,22
8	16×14	1,0	1,25
	32×26		
1	29×24	2,5	1,31
2	27,2×23	2,1	1,26
3	25,6×22	1,8	1,23
4	21,4×18	1,7	1,28
5	19,2×16	1,6	1,19
6	16×13	1,5	1,29
	Медноникелевый сплав МН95-5		
	40×30	5,0	
1	35×27	4,0	1,41
2	30,4×24	3,2	1,42
3	26,2×21	2,6	1,41
4	23,2×19	2,1	1,38
5	20,5×17	1,75	1,35
6	18×15	1,5	1,33
7	14×11	1,5	1,32
8	11×8*	1,55	1,32
9	9,5×8*	1,6	1,27
	90×80	5,0	
1	84×76	4,0	1,32
2	81,4×75	3,2	1,27
3	79,4×74	2,7	1,21
4	77,6×73	2,3	1,2
5	75×71	2,0	1,19
	124×110	7,0	
1	117,6×106	5,8	1,27
2	114,8×105	4,9	1,2
3	112,4×104[2*]	4,2	1,18
4	108,8×102	3,4	1,27
5	106,8×101	2,9	1,2
6	105×100	2,5	1,17

* Волочение без оправки, внутренний диаметр показан условно.
[2*] Трубы этого размера отжигаются для последующего волочения.

Таблица 66

Типичные схемы волочения труб из алюминия и его сплавов

№ протяжки	Схема волочения	Толщина стенки *мм*	Вытяжка
	Алюминий		
	32×28	2,0	
1	28,7×25	1,85	1,21
2	25,1×22	1,55	1,36
3	22,6×20	1,3	1,32
4	20,2×18	1,1	1,32
5	17,9×16	0,95	1,31
6	16,2×14,5	0,85	1,31
7	14,6×13	0,8	1,24
8	12×10*	0,85	1,18
9	10,5×8,5*	0,9	1,09
10	9×7*	0,95	1,12
11	8×6*	1,0	1,09
	32×28	2,0	
1	29,8×26	1,9	1,13
2	27,2×24	1,6	1,3
3	25,7×23	1,35	1,24
4	24,3×22	1,15	1,23
5	23×21	1,0	1,21
6	22×20	1,0	1,05
	47×40	3,5	
1	43,8×38	2,9	1,28
2	40,8×36	2,4	1,29
3	38×34	2,0	1,28
	Сплав Д1 и Д6		
	32×28[2*]	2,0	
1	30×26	2,0	1,07
2	28,5×25	1,75	1,20
3	27,2×24[2*]	1,6	1,14
4	25,7×23	1,35	1,20
5	24,4×22	1,2	1,23
6	23,2×21[2*]	1,1	1,15
7	21×19	1,0	1,22
8	19,9×18	0,95	1,11
9	17,8×16[2*]	0,9	1,19
10	16,72×15	0,86	1,12
11	15,64×14	0,82	1,10
12	14,6×13[3*]	0,8	1,10
13	13×11*	0,85	1,08
14	10×12*	0,9	1,09
15	10,5×8,5[3*]	0,95	1,16
16	8×6*	1,0	1,28
	93×84	4,5	
1	90,8×82	4,4	1,05
2	89,4×81[2*]	4,2	1,07
3	86,8×79	3,9	1,11
4	85,4×78[2*]	3,7	1,07
5	82,9×76	3,45	1,10
6	80,5×74[2*]	3,25	1,09
7	78,1×72	3,05	1,10
8	76,8×71[2*]	2,9	1,07
9	75,4×70	2,7	1,09
10	74×69[2*]	2,5	1,10
11	72,4×68	2,2	1,16
12	71×67[3*]	2,0	1,12
13	70×66	2,0	1,02
	Сплав АМг		
	64×60[2*]	2,0	
1	62×58	2,0	1,03
2	59,5×56	1,75	1,23
3	57×54[2*]	1,5	1,17
4	54,5×52	1,25	1,25
5	52,2×50	1,1	1,18
6	50,5×48,5[2*]	1,0	1,14
7	50×48	1,0	1,01

* Волочение без оправки, внутренний диаметр показан условно.
[2*] Трубы этого размера отжигаются для последующего волочения.
[3*] Перед последней калибровочной протяжкой трубы закаливаются.

Таблица 67

Расчетные и фактические усилия, требующиеся при волочении труб и прутков из цветных металлов и сплавов

Металл или сплав	Размеры изделий, *мм*				Вытяжка	Усилие волочения *кг*	
	до волочения		после волочения				
	диаметр	толщина стенки	диаметр	толщина стенки		расчетное при $f=0,1$	фактическое
			Трубы				
Медь	14,8×13	0,9	10,9×9*	0,95	1,33	435	—
	17,2×15	1,1	14,8×13	0,9	1,41	1350	—
	30×26	2	25,2×22	1,6	1,48	2520	2960
	34×30	2	29,2×26	1,6	1,45	3560	—
	36×30	3	31×26	2 5	1,38	4000	4400
	39×35	2	34,2×31	1,6	1,42	3900	—
	41×35	3	35,4×30	2,7	1,3	4050	4200
	46×40	3	41,4×37	2,2	1,49	7260	—
	51×45	3	46,2×42	2,2	1,48	8150	—
	56×50	3	50×45	2,5	1,37	6400	6800
	61×55	3	54,6×50	2,3	1,44	9600	—
	66×60	3	59,6×55	2,3	1,44	10200	—
	76×70	3	68,6×64	2,3	1,43	11800	—
	88×80	4	83×76	3,5	1,20	9060	9400
	100×90	5	93,2×86	3,6	1,47	2650	—
	120×110	5	112,2×105	3,6	1,47	25600	27400
	130×120,2	4,9	122×114,8	3,6	1,43	25600	25100
	150×140	5	141,2×134	3,6	1,47	40500	—
	183×170	6,5	174×164	5,0	1,36	55500	—
	280×263	8,5	265×250	7,5	1,19	73000	—
	388,4×372	8,2	379×364	7,5	1,12	51000	60000
Л	13,9×12	0,95	10×8*	1,0	1,36	5800	—
	19,4×17	1,2	16.1×14	1,05	1.38	1440	—
	29,5×25 4	2,05	25,2×22	1,6	1,49	3520	4600
	32×26	3,0	26,6×22	2,3	1,55	5750	6880
	39×35	2,0	33,4×31	1,2	1,8	5570	6500
	41×35	2,17	35,2×31	2,1	1,71	8600	8800
	51×45	3,0	45,4×41	2,2	1,51	11500	—
	56×50	3,0	48,6×44	2,3	1,49	12600	—
	61×55	3,0	54,6×50	2,3	1,44	12510	—
	71×65	3,0	65,4×61	2,2	1,47	15400	—
	88×80	4,0	81,4×75	3,2	1,35	21000	—
	100×90	5,0	93,4×85	4,2	1,23	25300	—
Л68	29,5×25,5	2,0	25,2×22	1,6	1,46	3220	3360
	34×30	2,0	30,2×27	1,6	1,4	4340	—
	39×35	2,0	35,2×32	1.6	1,37	4850	—
ЛО70-1	32×26	3,0	25,6×21	2,3	1,64	6050	5620
	35×30	2.5	29,7×28	1,35	1,73	5950	—
	40×35	2,5	33,6×30	1,8	1,64	6500	—
МНЖМц30-0,8-1	32×26	3,0	29×24	2,5	1,31	5920	—
			Прутки				
ЛС59-1	23	—	22	—	1,09	1720	—
	36	—	35	—	1,06	3480	—
	36,3	—	35	—	1,08	4650	—

* Волочение без оправки, внутренний диаметр указан условно.

Таблица 68

Скорость волочения цепных волочильных станов

Максимальная сила тяги *т*	Размеры изделия после волочения, *мм*		Скорость движения цепи *м/мин*
	длина	диаметр	
0.2	6	4—10	45
0,5	7	6—15	45
1,0	7	10—20	45
2,5	10	15—25	36
5,0	10	20—30	36
10	10	25—45	27
15	10	35—50	22,5
25	10	45—80	21
50	10	50—200	28
75	10	>150	15

В табл. 68 приведены скорости волочения, обычно применяемые на практике. Рывок, испытываемой трубой или прутком в момент включения тянущего устройства, и относительно небольшая длина цепных станов (6—10 *м*) ограничивают возможность применения более высоких скоростей волочения.

Современные цепные станы длиной до 50 *м*, снабженные регуляторами скорости движения цепи и предназначенные для работы со свободными оправками (без болта), позволяют тянуть медные трубы со скоростями до 100—150 *м/мин*. Волочильные барабаны, применяемые для протяжки медных труб в бухтах, развивают скорости до 550 *м/мин* [19].

9. Смазка при волочении и прокатке

Основное назначение смазки при волочении труб и прутков заключается в уменьшении сил трения между изделием и инструментом и предохранении их от взаимного истирания и порчи. В качестве смазки при волочении применяют минеральные и растительные масла, эмульсии и различные смеси. В табл. 69 приводится состав волочильных смазок и области их применения.

Из растительных масел для приготовления эмульсий применяют льняное, хлопковое и другие масла. Эти эмульсии можно применять также для волочения латунных прутков.

Таблица 69

Смазки, применяемые при волочении труб и прутков из цветных металлов и сплавов

Наименование и материал протягиваемых изделий	Состав, %[1]						
	мыло хозяйственное	масло машинное	масло растительное	кислота олеиновая	сода кальцинированная	серный цвет	мазут
Трубы							
Медные и латунные, диаметром до 150 *мм*	1,6	0,8	—	0,4	—	—	—
То же, диаметром свыше 150 *мм*	1,6	1,2	—	2,0	—	—	—
Медные и латунные с зеркально-чистой поверхностью	8—10	2—3	—	1—2	0,2	—	—
Мельхиоровые	2	1	—	0,5	—	—	—
Радиаторные, из сплава Л96	0,3—0,8	—	0,1—0,4	0,1—0,4	0,01—0,04	—	—
Мельхиоровые, марки МН95-5	—	100+древесные опилки	—	—	—	—	—
Алюминиевые и дуралюминиевые	—	—	—	—	—	—	100
Прутки							
Медные, латунные Л62, ЛС59-1	1,6	0,8	—	0,4	—	—	—
ЛЖМц59-1; ЛС63-3; Бр ОЦ4-3; Бр КМц3-1	—	80	20	—	—	—	—
Никелевые: НК, НМЖМц28-2,5-1,5; НМц65-20	—	80	10	—	—	10	—
Бр Б2	—	—	90	—	—	10	—
Из меди кадмиевой	—	—	100	—	—	—	—
Алюминиевые и дуралюминиевые	—	—	—	—	—	—	100

[1] Остальное сода.

Для изготовления эмульсии применяют: мыло хозяйственное или жидкое, ГОСТ 7696—55 и ГОСТ 1830—49, масло машинное марки «45» («С»), ГОСТ 1707—51, масло цилиндровое марки «11» («Г»), ГОСТ 1841—51, или масло турбинное марки «22» («Л»), ГОСТ 32—53, а также кислоту олеиновую техническую, ГОСТ 7580—55.

При изготовлении эмульсии можно руководствоваться следующим порядком. В чистый бак, наполненный на 0,2—0,3 его высоты водой, подогретой до 70—80°, помещают мелко нарезанное мыло и кипятят воду до полного растворения мыла. После растворения мыла в бак заливают предварительно смешанные растительное масло и олеиновую кислоту и полностью заполняют бак водой при непрерывном подогреве эмульсии паром. После того как эмульсия нагреется до 50—60° подачу пара прекращают. При введении в воду мыла, масла и олеиновой кислоты необходимо состав хорошо перемешивать деревянной мешалкой.

Отработанная эмульсия со станов, на которых производилось волочение медных, латунных и мельхиоровых труб и прутков, сливается по трубам в общий бак-отстойник. Отстоявшуюся и очищенную от грязи эмульсию перекачивают в бак и вновь возвращают для подачи на волочильные станы.

В тех случаях, когда при волочении образуются надиры и крупные риски, что чаще наблюдается при производстве прутков и профилей из никелевых сплавов, в качестве смазки применяют столярный клей, разведенный в воде (1,5 *кг* клея на ведро воды). Прутки, смазанные клеем, сушат в течение 30—60 мин. в печи при 60—90°, на них образуется плотный слой клея. Затем прутки протягивают с применением жидкой смазки (см. табл. 69). Клей с поверхности протянутых прутков смывают горячей водой или он сгорает при отжиге.

Прокатка труб на станах ХПТ сопровождается значительным расходом энергии на трение и разогрев металла и инструмента. Для охлаждения инструмента и металла и уменьшения сил трения при прокатке применяют смазки. Для смазки внутренней поверхности медных, латунных и мельхиоровых труб при прокатке применяют эмульсол ГОСТ 1975—43. Наружную поверхность труб и калибры смазывают и охлаждают 10—15%-ным водным раствором эмульсола. Для смазки внутренней поверхности никелевых и титановых труб применяют смесь машинного масла или солидола с графитом, взятыми в соотношении 1 : 1. Прокатку титановых труб ведут без охлаждения.

Рекомендуемое [26] количество эмульсии, подаваемое на стан, должно быть

не менее:	*л/мин*
на стане 32	60
» » 55	85
» » 80	100

10. Термическая обработка труб и прутков

Медь и ее сплавы

В производстве труб и прутков из меди и ее сплавов применяют следующие виды термической обработки:

Полный (промежуточный) отжиг наклепанной заготовки, к которому прибегают при волочении или прокатке, с целью восстановления первоначальных пластических свойств, необходимых для последующей обработки давлением в холодном состоянии. Иногда полный отжиг применяют для уменьшения усилий волочения или прокатки, что необходимо при обработке крупных труб.

Режимы полного отжига изделий в электрических камерных печах приведены в табл. 70, 71 и 72.

Режимы отжига трубной заготовки из латуни марок Л62, Л68 и ЛО70-1 Таблица 70

Размер труб, *мм*		Температура в печи, °С	Вес садки, *кг*					
			до 1500	1501—2000	2001—3000	до 1500	1501—2000	2001—3000
наружный диаметр	толщина стенки		Общее время нахождения металла в печи, час.—мин.			Время выдержки при установившейся температуре (не менее) час.—мин.		
До 19	0,5—0,9	450—470	2—40	—	—	0—40	—	—
20—29	1,0—1,5	570—590	1—50	2—30	3—00	0—20	0—40	1—00
До 29	1,6—2,5	590—610	2—00	2—20	3—00	0—30	0—40	1—00
30—35	2,6 и более	590—610	1—50	2—00	3—00	0—30	0—40	1—00
36—60	2,6 » »	590—610	1—50	2—30	—	0—40	0—50	—
61—110	2,6 » »	590—610	1—40	2—30	—	0—30	0—40	—

Таблица 71

Режимы отжига медных заготовок и готовых изделий

Наименование изделий	Толщина стенки *мм*	Температура в печи °С	Вес садки, *кг*		
			до 1500	1501—2000	2001—3000
			Время выдержки при установившейся температуре (не менее), час.—мин.		
Заготовка трубная диам. 80 *мм* и более	2—2,5	550—580	1—10	1—30	—
	2,6—5,0	550—580	1—20	1—50	—
	5,1—6,0	590—610	1—30	2—00	—
	6,1 и более	590—610	1—30	2—10	—
Готовые трубы всех размеров	—	590—610	1—20	1—40	—
Прутки всех размеров	—	590—610	1—40	2—00	2—20
Профили	—	600—650	1—30	2—00	2—20

Таблица 72

Температура полного (промежуточного) отжига заготовки из цветных металлов и сплавов

Сплав	Наружный диаметр *мм*	Толщина стенки *мм*	Температура отжига °С
	Прутки в бухтах		
Л62; Л68; ЛО70-1; ЛО62-1	Все размеры	—	600—630
ЛС59-1; ЛЖМц59-1-1; ЛМц58-2	То же	—	500—550
ЛС63-3	» »	—	580—630
	Прутки		
Бр ОЦ4-3	Все размеры	—	580—630
МН95-5	То же	—	650—700
	Трубы		
Л85	Все размеры	1—1,3	500—550
Л85	То же	1,8—5,0	580—630
ЛЖМц59-1-1	» »	До 4,0	500—550
Никель	До 40	Все размеры	650—700
Бр.А5	Все размеры	То же	650—700

Отжиг готовых изделий, который применяют для придания металлу механических и других свойств, обусловленных требованиями ГОСТов и ТУ.

Низкотемпературный отжиг готовых изделий, который используют, как правило, при производстве латунных изделий для снятия внутренних напряжений после холодного деформирования. Это предохраняет латунные изделия от коррозионного растрескивания.

Режимы отжига готовых изделий в электрических печах приведены в табл. 73 и 74.

Для некоторых изделий из сплавов Л62, ЛО62-1, ЛС59-1, ЛС63-3, ЛЖМц59-1-1, ЛМц59-1 при некоторой степени деформа-

Таблица 73

Режимы низкотемпературного отжига готовых латунных прутков

Сплав	Наружный диаметр *мм*	Температура в печи °С	Вес садки, *кг*				
			до 550	551—1100	1101—2000	2001—3000	3001—4000
			Время выдержки при установившейся температуре (не менее), час.—мин.				
ЛС59-1	До 12	430	0—40	1—00	1—30	1—40	1—50
	13 и более	420	0—35	0—55	1—25	1—30	1—40
Л62	До 12	420	0—25	0—45	1—20	1—30	1—40
	13 и более	420	0—20	0—40	1—10	1—30	1—40
ЛО62-1	До 14	390	0—30	0—50	1—10	1—30	1—40
	15 и более	390	0—25	0—45	0—55	1—20	1—30
ЛЖМц59-1-1	До 14	390	0—25	0—45	1—20	1—30	1—40
	15 и более	390	0—20	0—40	1—10	1—20	1—30

Таблица 74

Режимы отжига готовых латунных труб

Сплав	Размер труб, *мм*		Температура в печи °С	Вес садки, *кг*							
	наружный диаметр	толщина стенки		до 550	551—1100	1101—1650	1651—2000	до 550	551—1100	1101—1650	1651—2000
				Общее время нахождения металла в печи, час.—мин.				Время выдержки при установившейся температуре (не менее), час.—мин.			
Л68	До 35 включительно	0,5—1,0	440—460	1—40	2—30	2—50	—	0—30	1—00	1—10	—
	До 38 включительно	1,1 и более	480—500	2—00	2—50	3—10	3—30	0—40	1—10	1—20	1—30
ЛО70-1	До 35 включительно	До 1,5	460—480	1—30	2—20	2—40	3—00	0—30	0—50	1—00	1—20
	До 38 включительно	1,5 и более	480—500	1—50	2—40	3—00	3—20	0—30	1—00	1—10	1—20
Л62	До 19 включительно	0,5—0,9	440—470	1—40	2—20	—	—	0—30	0—40	—	—
	До 19 включительно	1,0—1,4	460—490	2—00	2—40	—	—	0—25	0—35	—	—
	До 19 включительно	1,5—1,9	480—510	2—20	3—00	—	—	0—40	0—50	—	—
	До 19 включительно	2,0—2,4	490—520	2—30	3—10	3—10	3—40	0—35	0—55	1—10	1—20
	До 19 включительно	2,5 и более	490—520	2—50	3—20	3—30	3—50	0—45	1—05	1—30	1—40
	20 и более	1,0—1,4	440—460	1—40	2—20	—	—	0—25	0—45	—	—
	20 » »	1,5—1,9	460—490	2—00	2—40	3—30	—	0—30	0—50	1—00	—
	20 » »	2,0—2,4	490—520	2—20	3—00	3—40	—	0—35	0—55	1—10	—
	20 » »	2,5 и более	490—520	2—50	3—30	3—40	3—50	0—45	1—10	1—20	1—30
	40×42	1,0	390—420	2—10	2—40	—	—	0—50	1—00	—	—

ции, устанавливаемой опытным путем при правке готовых изделий на правильно-отрезных станках, низкотемпературный отжиг можно упразднить [38].

Наряду с электрическими камерными печами для отжига готовых труб из мельхиора и латуней марок Л68 и ЛО70-1, применяют также электронагревательные аппараты. В последнем случае изделия нагреваются проходящим через них электрическим током напряжением 24—36 *в*. Степень нагрева труб определяется величиной их линейного расширения (табл. 75).

Величина устанавливаемого линейного расширения при отжиге труб из латуни и медноникелевого сплава на электронагревательном аппарате Таблица 75

Сплав	Размеры труб, *мм*	Устанавливаемое линейное расширение, *мм*	Состояние труб после отжига
Л68	28×26×9200	91	Мягкие
МНЖМц30-0,8-1	16×13×5400	60	Полутвердые
	16×13×5800	65	»
	16×14×1500	17	»
	16×14×3000	33	»
	16×14×5800	64	»
	19×16,5×4300	49	»
	24×22×6100	70	»
	13×10×5500	70	Мягкие
	16×13×5500	82	»
	16×14×4100	61	»
	19×16×3120	48	»

Условия охлаждения изделий из меди и мельхиора и большинства латуней не оказывают заметного влияния на их механические свойства. Поэтому на практике применяют охлаждение как на воздухе, так и в воде. Исключение составляют латунные двухфазные сплавы с содержанием меди менее 65%, которые не рекомендуется охлаждать в воде из-за возможной закалки.

Охлаждением горячей заготовки в воде достигают отделения от нее значительной части окалины. Благодаря этому уменьшается загрязнение травильного бака и сокращается расход серной кислоты.

Алюминий и его сплавы [*18*]

Температура отжига изделий из алюминия составляет 400—450°.

Термическая обработка алюминиевых деформируемых сплавов включает отжиг, закалку и старение.

Отжиг производят для придания материалу пластических свойств, необходимых для последующей обработки давлением в холодном состоянии. В зависимости от свойств сплавов отжиг полуфабрикатов осуществляют по режимам, указанным в табл. 76 и 77.

Полуфабрикаты марок Д1Т, Д6Т, Д16Т и Д7Т, отожженные по первому режиму, обладают высокой пластичностью. Например, при отжиге полуфабрикатов по первому режиму σ_b не выше 22 *кг/мм*^{2}, δ не ниже 16%; по второму режиму σ_b не выше 27 *кг/мм*^{2} и δ не ниже 12%.

Нагартованные полуфабрикаты из сплавов, упрочняемых термической обработкой, следует отжигать только по второму режиму (табл. 77).

Таблица 76

Режимы отжига полуфабрикатов из алюминиевых сплавов, упрочняемых нагартовкой и не упрочняемых при термической обработке [18]

Сплав	Температура отжига, °С		Толщина материала *мм*	Время выдержки при температурах отжига, мин.		
	селитровая ванна	воздушная печь		селитровая ванна	воздушная печь с принудительной циркуляцией воздуха	воздушная печь без принудительной циркуляции воздуха
АМг	350—420	350—420	0,3—3,0	30	50	60
			3,1—6,0	40	60	80
			6,1—10	50	80	100
АД АД1 АМц	350—500	350—420	0,3—3,0	30—7	50	60
			3,1—6,0	40—10	60	80
			6,1—10	50—15	80	100

Примечание. Скорость охлаждения с температуры отжига не оказывает существенного влияния на свойства материала.

Режим отжига полуфабрикатов из алюминиевых сплавов, упрочняемых термической обработкой [18] Таблица 77

Режим	Сплав	Температура отжига °С	Толщина материала *мм*	Время выдержки при температурах отжига, мин.			Условия охлаждения
				селитровая ванна	воздушная печь с принудительной циркуляцией воздуха	воздушная печь без принудительной циркуляции воздуха	
Первый	Д1 Д6 Д16	390—430	0,3—2,0 2,1—4,0 4,1—6,0 6,1—10	— — — —	40 50 60 90	60 80 90 120	Охлаждение до 250—270°, скорость не выше 30° в час Далее охлаждение на воздухе
Второй	Д1 Д6 Д16	350—370	0,3—2,0 2,1—4,0 4,1—6,0 6,1—10	30 40 50 60	40 50 60 90	60 80 90 120	Охлаждение на воздухе. При отжиге в селитровой ванне охлаждение на воздухе вести до температуры не выше 200°, а затем для лучшей промывки от селитры — в воде с последующей протиркой

Пластические свойства полуфабрикатов из сплавов Д1М, Д6М, Д7М и Д16М могут быть улучшены повторным отжигом по первому режиму или отжигом по второму режиму после предварительной закалки. Для сплава Д16 лучший результат получается в первом случае.

Закалку и последующее естественное или искусственное старение деформируемых алюминиевых сплавов производят с целью их упрочнения. Операция закалки включает нагрев изделий до определенной температуры, выдержку при этой температуре и резкое охлаждение в воде с целью фиксации при комнатной температуре твердого раствора, устойчивого при высоких температурах.

Таблица 78

Температура нагрева алюминиевых сплавов под закалку (18)

Марка сплава	Температура начала отсчета продолжительности нагрева °С	Допустимый интервал температуры закалки °С
Д1	490	505^{+5}_{-10}
Д16, АК8, ВД17	490	500 ± 5
Д6	495	500 ± 3
АК4, АК4-1	520	535^{+5}_{-10}
АВ	505	520 ± 10
АК6	500	510^{+10}_{-5}
В95	460	470 ± 5

Таблица 79

Продолжительность выдержки при нагреве под закалку (18)

Вид полуфабриката	Толщина	Продолжительность выдержки, мин.	
		в селитровых ваннах	в электропечах с принудительной циркуляцией воздуха
Трубы холоднодеформированные	До 1,0	15	20
Трубы отожженные	1,1—2	15	30
	Более 2	15	40
Прутки, полосы и втулки горячепрессованные	5—10	20	60
	10,1—15	25	75
	15,1—30	30	90
	31—50	40	120
	51—75	50	150
	76—100	70	180
	101—150	80	210

Температура нагрева и продолжительность выдержки при нагреве под закалку приведены в табл. 78 и 79. Температура воды в закалочном баке должна быть в пределах 10—30°, а после погружения садки

температура не должна превышать 40°. Только при охлаждении крупных изделий сложной формы для уменьшения коробления и предотвращения закалочных трещин рекомендуется температуру воды поддерживать в пределах 30—50°, причем в процессе закалки температура не должна превышать 55°.

Для удаления следов селитры изделия промывают в воде при 40—60° в течение 1—2 мин.

Достаточно высокая пластичность сплавов в свежезакаленном состоянии позволяет осуществлять деформирование изделий (калибровочное волочение) в холодном состоянии. Период времени с момента закалки до деформирования не должен превышать для сплавов Д6 и Д16 — 1,5 час. и для сплавов Д1, АВ, АК6, АК8, АК4—2—3 час. При более длительном времени вылеживания после закалки упругость сплавов заметно возрастает и способность к деформированию снижается.

Режимы старения закаленных алюминиевых сплавов приведены в табл. 80.

Таблица 80

Режимы старения алюминиевых сплавов [18]

Марка сплава	Температура старения, °С	Продолжительность старения час.
Д1, Д6, Д16 (естественное старение)	Комнатная	96
АВ, АК6, АК8 (естественное старение)	»	96
АВ (искусственное старение)	150—165	12—15
АК6, АК8 (искусственное старение)	150—165	15—6
АК4 (искусственное старение)	165—175	16
АК4-1 (искусственное старение)	180—190	10

11. Правка готовых изделий

Готовые трубы, прутки и трубную заготовку, поступающую на станы холодной прокатки, подвергают правке. Захватки у труб и прутков перед правкой их на станках обязательно отрезают.

Правку на станках с гиперболоидальными роликами обычно осуществляют с использованием керосина.

Кривизна большинства выправленных изделий не должна превышать следующих норм:

	мм/ *пог.м*
У труб из меди и ее сплавов	5
У труб дуралюминовых . .	1
У прутков тянутых диаметром, *мм*:	
до 18	1,25
свыше 18	1,0
У прутков прессованных . .	6

Более подробные сведения о допустимой кривизне различных труб и прутков были приведены в § 1.

12. Резка труб и прутков

При изготовлении труб и прутков возникает необходимость резки изделий на части с целью удаления захваток, надрезывания концов перед ломкой и сплющиванием и т. д.

Для резки применяют ленточные и дисковые пилы.

Ленточные полотна имеют ширину 35 *мм*, толщину 0,75—1,25 *мм*, число зубьев от 15 до 30 на 100 *мм* длины полотна. Для пайки ленточных полотен применяют латунный припой. Крупность зубьев ленточных пил согласуется с размером изделий (табл. 81).

Таблица 81

Данные для выбора ленточных пил

Толщина стенки труб, *мм*	Диаметр прутко	Число зубьев на 100 *мм*
До 1,5	—	30
1,6—3.0	До 8	24
3,0—10,0	Свыше 8	15—18

На ленточных пилах можно резать медь, латуни, мельхиор, алюминий, магний; резать высокопрочные сплавы (БрАЖ9-4, БрАЖМц10-3-1,5, БрАЖН-10-4-4, В95 и т. п.) не рекомендуется.

Дисковые пилы пригодны для резки изделий из всех сплавов и всех размеров.

Для резки тонкостенных труб диаметром до 30 *мм* и прутков диаметром до 15—20 *мм* рекомендуется применять диски диаметром от 100 до 250 *мм* и толщиной 0,5—2,0 *мм* с шагом зубьев от 1,5 до 3 *мм*. Число оборотов диска доходит до 5000 в минуту. Изделия во время резки прижимают к столу.

Резку более крупных изделий осуществляют дисками диаметром от 250 до 700 *мм* и толщиной от 3 до 7 *мм*. Зубья таких дисков (сегменты) изготовляются вставными из быстрорежущей стали. Диски совершают от 300 до 650 об/мин; подача изменяется от 2,5 до 14 *мм* за один оборот диска, а скорость резания — от 12 до 28 *м/мин*.

Для охлаждения и смазки дисков применяют водную эмульсию, состоящую из 0,8% мыла, 0,3% олеиновой кислоты и 0,3% кальцинированной соды. На мелких пилах вместо эмульсии применяют иногда мыло, периодически наносимое на режущую часть диска.

13. Испытание труб на внутреннее давление

Испытание имеет целью проверку герметичности и прочности труб. Основные условия испытания приведены в табл. 82.

Таблица 82

Условия испытания труб на внутреннее давление

Тип труб	Сплав	ГОСТ	Давление *ат*	Выдержка сек.	Испытывается
Работающие под давлением	Медь	617—53	$P = \frac{1100\,S}{D_3}$	—	Водой
Конденсаторные	Л68, ЛО70-1	494—52	50	10	Водой
	МНЖМц 30-0,8-1	2202—43	70	10	Водой
Капиллярные	Л96	2624—41	40—50	—	Азотом
Радиаторные:					
плоско-овальные	Л96	2936—56	0,5	—	Воздухом
шестигранные	Л96	2644—44	7	1	Воздухом
		529—41	10	1	Воздухом

14. Шабровка и зенковка

Шабровка применяется для удаления с наружной поверхности изделий плен, пузырей, раковин, запрессованной окалины и задиров, обычно вскрывающихся в процессе волочения после 2—3 проходов.

Мелкие дефекты удаляют ручным шабером, более крупные пневматической фрезой, чисткой на проволочных щетках или строжкой специальной матрицей на волочильном стане. Для удаления заусенцев, образующихся на торцах изделий при резке, применяют воронкообразные и конические шарошки или фрезы, устанавливаемые на валу двигателя.

15. Испытание труб на сплющивание

Для проверки качества материала у конденсаторных труб, изготовляемых из сплавов Л68, ЛО70-1 и МНЖМц30-0,8-1, применяют пробу на сплющивание. Для этого на расстоянии 25 *мм* от конца трубы делают надрез на глубину 65% от диаметра. Затем надрезанный конец трубы сплющивают до соприкосновения стенок. По наличию или отсутствию трещин в местах надрезанного конца судят о качестве материала трубы.

16. Отходы и брак при прессовании и волочении

Отходами металла при прессовании являются пресс-остатки, пробки от прошивки труб, рубашки (наружные слои слитков), стружка от резки, сверловки и обточки шашек и окалина. В табл. 83 приведены величины пресс-остатков, принятые на практике. При работе на вертикальных прессах толщина пресс-остатка составляет 1—3 *мм*.

Таблица 83

Величина пресс-остатка при работе на горизонтальных прессах, *мм*

Металлы и сплавы	Диаметр контейнера, *мм*					
	155	180	205	255	306	408
Медь, Л96, Л85, Бр.ОФ6,5-0,4, БрОЦ4-3, Бр.КН1-3, алюминиевые и магниевые сплавы	30—35	30—35	30—35	30—35	35—40	35—40
Л68, Л62, ЛС63-3, ЛС59-1, ЛО62-1, ЛАЖ60-1-1, ЛЖМц59-1-1, МНА13-3	40—45	45—50	45—50	55—60	65—70	—
ЛАН59-3-2, ЛМц58-2, ЛО70-1, ЛН65-5	35—40	35—40	35—40	35—40	35—40	—
Бр.АЖ9-4, Бр.АЖМц10-3-1,5, Бр.АЖН10-4-4	40—45	50—55	50—55	55—60	55—60	70—75
Никель, медноникелевый сплав МН5	—	—	35—40	—	—	—
Бронзы хромистые	—	—	20—30	—	—	—

Примечание. Пресс-остаток при прессовании труб берут по нижнему пределу, а при прессовании прутков — по верхнему.

Величина отходов на прошивку определяется размерами прессуемых труб. В целях повышения выхода годного отходы в виде прошивки используют для прессования из них прутков (табл. 84).

Толщину стенки рубашки при прессовании прутков из сплавов Л62, ЛС59-1, ЛЖМц59-1-1, Бр.АЖМц10-3-1,5 и Бр.АЖН10-4-4 принимают равной, *мм*:

Для контейнера *мм*:

125—150	1
180—255	1,5
300—400	2,0
500	2,5

Таблица 84

Размеры прошивок и прессуемых из них прутков, *мм*

Диаметр прошивки	Длина прошивки	Диаметр контейнера	Диаметры прутков			Матрицы
			медных	из Л62	из ЛЖМц59-1-1, ЛАЖ60-1-1, Бр.АЖМц-10-3-1,5	
120—145	220—350	180	12—20	10—20	16—20	Одно-двухочковая
150—175	220—350	180	22—26	22—26	22—26	
180—200	280—400	205	30—60	30—60	30—60	Одноочковая
208—250	280—400	255	60—80	60—80	60—80	Одно-двухочковая
252—300	300—400	306	60—100	—	—	

Таблица 85

Длина задних концов, отрезаемых от труб и прутков с целью устранения прессутяжки

Наименование сплава	Размер слитка *мм*		Изделие			Число прутков	Вытяжка	Длина концов с утяжкой	
	диаметр	длина	наименование	диаметр *мм*	лина *мм*			*мм*	%
ЛС 59-1	200	600	Пруток	12	129 500	1	292	—	1,6
	200	600	»	22	17 400	2	43	—	2,0
	200	600	»	35	17 200	1	34,3	300	1,9
	250	650	»	50	9 000	1	26,7	450	4,1
	300	750	»	80	9 500	1	15	350	3,4
	400	650	»	120	6 420	1	11,1	430	6,0
	200	400	Труба	65×45	6 350	—	19	350	4,7
Л 62	300	750	Пруток	80	9 500	1	15	375	3,2
ЛО 62-1	300	750	Пруток	80	9 500	1	15	375	3,2
ЛЖМц 59-1-1	200	600	Пруток	22	17 500	2	43	—	2,4
	300	750	»	80	9 500	1	15	460	4,5
	200	400	Труба	65×45	6 350	—	19	400	5,5
БрАЖМц 10-3-1,5	200	650	Пруток	60	6 230	1	12	400	—
	300	600	»	120	3 180	1	6,7	430	11,6
	200	400	Труба	65×45	6 050	—	19	600	9,9
БХ, БХЦ, БХБ	300	500	Пруток	85	5 300	1	13,3	850	12,9

Отходы металла в этом случае достигают 2—4%.

Трубы всех сплавов, заготовку для вертикальных прессов и изделий из алюминия и его сплавов прессуют без рубашки.

Отходы в виде стружки при механической обработке шашки составляют, %:

При резке прутков на шашки	1,5—3
При сверловке шашек	6—10
При обточке шашек	5—12

Потери металла вследствие угара при нагреве слитков в камерных печах с окислительной атмосферой достигают 0,25—0,5%. Особенно велики потери металла на угар при нагреве слитков из меди, мельхиора и фосфористой бронзы. При нагреве латуней и алюминиевых бронз потери на угар незначительны. Применение для нагрева индукционных печей резко снижает потери металла на угар.

Обычными видами брака при прессовании прутков и труб являются следующие:

1. Прессутяжка. Неравномерное течение металла при прессовании по прямому методу приводит к образованию утяжки в заднем конце изделия. Средством ее уменьшения служит прессование с полной рубашкой из нагретого контейнера и понижение температуры прессования. Увеличение длины слитка и применение больших обжатий уменьшает относительную величину отходов в виде прессутяжек.

Для обнаружения утяжки на заднем конце изделия делается надрез на глубину 30—35% от величины диаметра. Затем по линии надреза пруток ломают на прессе, обнаруживая таким образом наличие или отсутствие утяжки. Данные о величине отходов при вырезке утяжки у изделий приведены в табл. 85. Применение ультразвукового дефектоскопа УЗД-37 конструкции КБ Цветметавтоматика [36] дает некоторую экономию металла за счет более точного определения места окончания утяжки.

2. Трещины. Чрезмерно высокие температуры и скорости прессования вызывают образование на изделиях поперечных трещин. Продольные трещины чаще образуются при прессовании толстостенных труб из недостаточно нагретых шашек сплавов ЛО70-1 и Л68, а также при работе с вытянутой иглой.

3. Запрессовка окалины и смазки. Брак по запрессовке окалины чаще наблюдается на медных и мельхиоровых трубах и прутках, когда слитки подвергаются длительному нагреву при высоких температурах. Смазка запрессовывается в изделия при обильном ее применении.

4. Разностенность труб. Различная толщина стенки по сечению трубы чаще всего является следствием неправильной настройки пресса и использования в работе эксцентрично просверленных слитков. Недопустимая разностенность по длине трубы возникает при работе на вытянутой игле.

5. Пузыри. Образование пузырей на прессованных изделиях из латуней и алюминиевых сплавов вызывается перегревом и передержкой слитков в печи, а также запрессовкой смазки и воды, применяемых для охлаждения инструмента.

Отходами волочильного производства являются:

1. Захватки, отрезаемые от изделий в процессе волочения и по окончании его; количество таких отходов зависит от размера заготовки и числа волочений. При средней длине заготовки 3—3,5 *м*, поступающей на первое волочение, отходы после каждой отрезки захваток составляют: для труб диаметром до 40 *мм* — 4%, от 41 до 70 *мм* — 5% и от 71 до 100 *мм* — 7%.

При волочении крупных труб с ласками отходы на захватки составляют для труб диаметром от 101 до 140 *мм* — 5%, от 200 до 250 *мм* — 6,5% и от 301 до 400 *мм* — 10%.

2. Задние концы, отрезаемые от каждого изделия по окончании волочения. При изготовлении труб торговой длины эти отходы составляют 1—1,5%, а при выпуске изделий мерной длины они увеличиваются до 3—6%.

3. Опилки, образующиеся при резке изделий, которые составляют 0,02—0,03%.

4. Угар, т. е. потери металла в виде окалины при каждом отжиге, которые принимаются равными 0,02%.

5. Трубы и прутки, расходуемые при настройке станов.

Типичными видами брака волочильного производства являются:

1. Риски и задиры на трубах и прутках, образующиеся в результате работы с недоброкачественным инструментом или смазкой.

2. Забойки и холостые трубы, получающиеся при выходе оправки из зоны деформации.

3. Кольцеватость, которая образуется в результате дребезжания при волочении плохо протравленных и промытых труб, а также при работе с чрезмерно тонким волочильным болтом.

4. Пережог, неполная закалка и другие виды брака, получающиеся при нарушении режима термической обработки.

17. Технологические карты

Основным документом, определяющим характер и последовательность операции при изготовлении продукции, является технологическая карта, которой пользуются также при технико-экономических расчетах.

В качестве примера приводятся технологические карты на изготовление труб по схемам:

а) прессования (табл. 86);

б) прессования — волочения (табл. 87);

в) прессования — прокатки (табл. 88).

Таблица 86

Технологическая карта

Изделие: трубы прессованные 65×45, ГОСТ 494—52, сплав ЛЖМц59-1-1, ГОСТ 1019—47

Заготовка: слиток диаметром 200×400 *мм* весом 106,8 *кг*
Норма расхода заготовки на 1 *т* готовых изделий 1613 *кг*

Выход годного от слитка 62%.

Наименование операции	Механизм или рабочее место	Технологическая характеристика операции	Размер изделия после операции, *мм*			Вес 1 шт. *кг*	Норма потерь металла на операции, % к брутто					Заправочный коэффициент
			диаметр		длина		геометрические отходы	технологические отходы	угар или потери в растворе	всего по отношению к начальной заготовке	всего с начала операции до данной	
			наружный	внутренний								
Нагрев слитков	Газовая печь	Температура 680—730°	200	—	400	106,8	—	—	0,2	0,2	—	1,613
Прессование	Пресс 2500-*т*	Прошивка 65×100 *мм*, пресс-остаток 210×65×40 *мм*, вес 1 *пог. м* 14,68 *кг*	65	45	6 350	93,3	12,6	6,0	—	18,6	0,2	1,610
Обрезка переднего конца	Дисковая пила диаметром 1430 *мм*	Длина конца 250 *мм*	65	45	2 850 и 3 250	41,9	—	—	—	—	—	—
Резка по части	То же	2 части	65	45	3 250 и 2 850	47,7	3,4	—	—	3,4	18,8	1,310
Правка	Правильный станок	—	65	45	2 850 и 3 250	47,7	3,4	0,5	—	0,5	22,2	1,255
Просмотр прессутяжки	Дефектоскоп	—	65	45	2 850 и 3 250	47,7	—	—	—	—	22,7	1,245
Надрезка заднего конца	Дисковая пила диаметром 710 *мм*	Длина конца 400 *мм*	65	45	2 850	41,9	—	—	—	—	22,7	1,245
Ломка заднего конца	Пресс 200-*т*	—	65	45	2 850	41,9	5,5	—	—	5,5	22,7	1,245
Просмотр ОТК	—	—	65	45	2 850	41,9	—	5,0	—	5,0	28,2	1,157
Приемка ОТК	—	—	65	45	2 850	41,9	—	4,8	—	4,8	33,2	1,075
Сдача на склад	—	—	65	45	2 850	41,9	—	—	—	—	38,0	1,000

Таблица 87

Технологическая карта

Изделие: трубы тянутые 6×4, ГОСТ 494—52, сплав Л62, ГОСТ 1019—47

Заготовка: слиток диаметром 150×200 *мм* и весом 30,05 *кг*. Выход годного от слитка 53,0 %

Норма расхода заготовки на 1 *т* готовых изделий 1826 *кг*.

Наименование операции	Механизм или рабочее место	Технологическая характеристика операции	Размер изделия после операции, *мм*			Вес 1 шт., *кг*	Норма потерь металла на операции, % к брутто					Заправочный коэффициент
			диаметр		длина		геометрические отходы	технологические отходы	угар или потери в растворе	всего по отношению к начальной заготовке	всего с начала операции до данной	
			наружный	внутренний								
Нагрев слитков	Индукционная печь	Температура 700—750°	150	—	200	30,05	—	—	0,2	0,2	—	1,887
Прессование	Пресс 1500-*т*	Прошивка 30×50, прессостаток 155×30×35 *мм*; вес 1 *пог/м* 1,495 *кг*	30	26	16 250	24,3	19,0	2,0	—	21,0	0,2	1,882
Обрезка концов и резка на части	Летучая пила	Длина концов 650 *мм*, 3 части	30	26	5 200	7,77	3,3	—	—	3,3	21,2	1,485
Травление	Травильная ванна	5—12% H_2SO_4	30	26	5 200	7,77	—	—	0,2	0,2	24,5	1,425
Просмотр ОТК	—	—	30	26	5 200	7,77	—	2,0	—	2,0	24,7	1,420
Ковка захваток	Электромолот 75-*кг*	Длина 100 *мм*	30	26	5 100	7,77	—	—	—	—	26,7	1,381
Волочение 1-е	Цепной стан 8-*т*	Вытяжка 1,48, 2 части, вес 1 *пог. м* 1,01 *кг*	25,2	22	7 540	7,77	—	0,2	—	0,2	26,7	1,381
Отрезка захваток и резка на части	Ленточная пила		25,2	22	3 750	3,78	2,2	—	—	2,2	26,9	1,379
Отжиг	Электрическая печь	Температура 550—600°	25,2	22	3 750	3,78	—	—	—	—	29,1	1,338
Травление	Травильная ванна	5—12% H_2SO_4	25,2	22	3 750	3,78	—	—	0,2	0,2	29,1	1,338
Ковка захваток	Электромолот 75-*кг*	Длина 100 *мм*	25,2	22	3 650	3,78	—	—	—	—	29,3	1,325
Волочение 2-е	Цепной стан 8-*т*	Вытяжка 1,45	20,7	18	5 150	3,78	—	0,5	—	0,5	29,3	1,325
Волочение 3-е	Цепной стан 3-*т*	Вытяжка 1,48	17,2	15	7 610	3,78	—	0,5	—	0,5	29,8	1,322
Отрезка захваток и резка на части	Ленточная пила	2 части, вес 1 *пог. м* 0,472 *кг*	17,2	15	3 750	1,77	4,8	—	—	4,8	30,3	1,315
Отжиг	Электрическая печь	Температура 500—550°	17,2	15	3 750	1,77	—	—	—	—	35,1	1,222

Продолжение табл. 87

Наименование операции	Механизм или рабочее место	Технологическая характеристика операции	Размер изделия после операции, *мм*			Вес 1 шт., *кг*	Норма потерь металла на операции, % к брутто					Заправочный коэффициент
			диаметр		длина		геометрические отходы	технологические отходы	угар или потери в растворе	всего по отношению к начальной заготовке	всего с начала операции до данной	
			наружный	внутренний								
Травление	Травильная ванна	5—12% H_2SO_4	17,2	15	3 750	1,77	—	—	0,2	0,2	35,1	1,222
Ковка захваток	Эксцентриковый пресс	Длина 100 *мм*	17,2	15	3 650	1,77	—	—	—	—	35,3	1,221
Волочение 4-е	Цепной стан 3-*т*	Вытяжка 1,410	14,8	13	5 150	1,77	—	0,5	—	0,5	35,3	1,221
Волочение 5-е	Барабан диаметром 750 *мм*	Вытяжка 1,39	10	8	7 170	1,77	—	0,5	—	0,5	35,8	1,210
Отжиг	Шахтная печь	Температура 500—550°	10	8	7 170	1,77	—	—	—	—	36,3	1,200
Травление	Травильная ванна	5—12% H_2SO_4	10	8	7 170	1,77	—	—	0,2	0,2	36,3	1,200
Волочение 6-е	Барабан диаметром 650 *мм*	Вытяжка 1,29	8	6	9 250	1,77	—	0,5	—	0,5	36,5	1,198
Волочение 7-е	Барабан диаметром 650 *мм*	Вытяжка 1,40	6	4	12 900	1,77	—	0,5	—	0,5	37,0	1,190
Обрезка концов	Дисковая пила	Вес 1 *пог. м* 0,134 *кг*	6	4	12 000	1,6	6,8	—	—	6,8	37,5	1,180
Зачистка заусенцев	Ручная	—	6	4	12 000	1,6	—	—	—	—	44,3	1,162
Правка и резка на части	Правильно-отрезной станок	—	6	4	6 000	0,8	—	0,5	—	0,5	44,3	1,162
Нормализация	Проходная печь	Температура 300—400°	6	4	6 000	0,8	—	—	—	—	44,8	1,152
Травление и сушка	Травильная ванна	5—12% H_2SO_4	6	4	6 000	0,8	—	—	0,2	0,2	44,8	1,152
Просмотр ОТК	—	—	6	4	6 000	0,8	—	2,0	—	2,0	45,0	1,036
Вязка в пучки	Ручная	—	6	4	6 000	0,8	—	—	—	—	47,0	1,000
Сдача на склад	—	—	6	4	6 000	0,8	—	—	—	—	47,0	1,000

Таблица 88

Технологическая карта

Изделие: трубы катаные 16×14, ГОСТ 2203—43, сплав МНЖМц30-0,8-1, МПТУ 4214—53

Заготовка: слиток диаметром 200×750 *мм* и весом 209,6 *кг*. Выход годного от слитка 44,0%.
Норма расхода заготовки на 1 *т* готовых изделий 2273 *кг*.

Наименование операции	Механизм или рабочее место	Технологическая характеристика операции	Размеры изделия после операции, *мм*			Вес 1 шт., *кг*	Норма потерь металла на операции, % к брутто					Заправочный коэффициент
			диаметр		длина		геометрические отходы	технологические отходы	угар или потери в растворе	всего по отношению к начальной заготовке	всего с начала операции до данной	
			наружный	внутренний								
Нагрев слитков	Газовая печь	Температура 875—940°	200	—	750	209,2	—	—	0,2	0,2	—	2,273
Прессование	Пресс 2500-*т*	Прессостаток 210××40 *мм*, вес 1 *пог.м* 54,1 *кг*	88	—	3 760	203,3	5,9	2,0	—	7,9	0,2	2,263
Правка	Правильный стан	—	88	—	3 760	203,3	—	0,5	—	0,5	8,1	2,090
Резка, обточка и сверловка шашек	Токарный автомат	29 шт., толщина реза 5 *мм*	83	26	120	5,21	24,5	—	—	24,5	8,6	2,075
Нагрев шашек	Индукционная печь	Температура 850—900°	83	26	120	5,21	—	—	—	—	33,1	1,520
Прессование	Пресс 600-*т*	Прессостаток 85×26××4 *мм*, вес 1 *пог. м* 2,431 *кг*	32	26	2 070	5,03	2,4	1,0	—	3,4	33,1	1,520
Обрезка концов	Дисковая пила диаметром 750 *мм*	Общая длина 170 *мм*	32	26	1 900	4,62	5,5	—	—	5,5	36,5	1,442
Просмотр ОТК	—	—	32	26	1 900	4,62	—	3,0	—	3,0	42,0	1,318
Травление	Травильная ванна	12% H_2SO_4 + 0,4% $K_2Cr_2O_7$	32	26	1 900	4,62	—	—	0,2	0,2	45,0	1,250

Продолжение табл. 88

Наименование операции	Механизм или рабочее место	Технологическая характеристика операции	Размеры изделия после операции, *мм*			Вес 1 шт., *кг*	Норма потерь металла на операции, % к брутто					Заправочный коэффициент
			диаметр		длина		геометрические отходы	технологические отходы	угар или потери в растворе	всего по отношению к начальной заготовке	всего с начала операции до данной	
			наружный	внутренний								
Шабровка, зачистка заусенцев	—	—	32	26	1 900	4,62	—	—	—	—	45,2	1,250
Правка	Правильный стан	—	32	26	1 900	4,62	—	0,5	—	0,5	45,2	1,250
Прокатка и резка на части	Стан ХПТ $1^1/_2$″	Вытяжка 5,8, 3 части, вес 1 *пог. м* 0,419 *кг*	16	14	3 500	1,47	3,0	5,5	—	5,5	45,7	1,232
Отжиг	Электронагревательный аппарат	—	16	14	3 500	1,47	—	—	—	—	51,2	1,177
Гидравлическое испытание	Насос	Давление 70 *ат*; 10 сек.	16	14	3 500	1,47	—	1,2	—	1,2	51,2	1,177
Контроль	—	—	16	14	3 500	1,47	—	2,0	—	2,0	52,4	1,080
Удаление дефектов	—	—	16	14	3 500	1,47	—	—	—	—	54,4	1,035
Контроль и приемка	—	—	16	14	3 500	1,47	—	1,6	—	1,6	54,4	1,035
Вязка в пучки	—	—	16	14	3 500	1,47	—	—	—	—	56,0	1,000
Сдача на склад	—	—	16	14	3 500	1,47	—	—	—	—	56,0	1,000

§ 5. ОСНОВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

1. Гидравлические прессы

Гидравлические прессы разделяют по направлению прессования на вертикальные с силой давления до 600—800 *т* и горизонтальные с силой давления 1000—5000 *т*. За последнее время давление горизонтальных прессов увеличивают до 10 000—20 000 *т*.

Вертикальные прессы применяют преимущественно для прессования труб, а горизонтальные — для производства труб, прутков и профилей.

По направлению истечения металла прессы делят на прессы прямого метода прессования (горизонтальные и вертикальные)

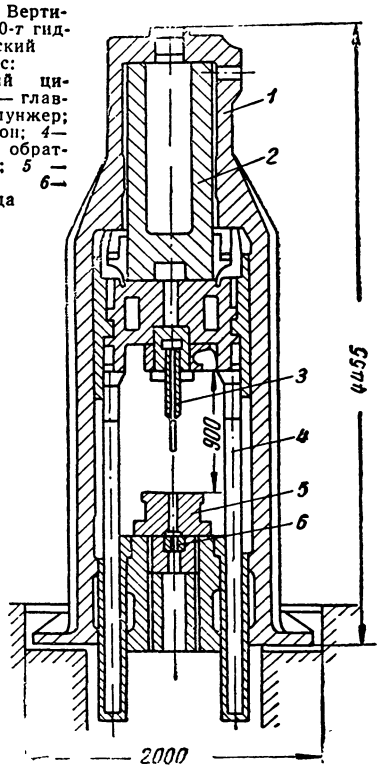


Рис. 31. Вертикальный 600-*т* гидравлический пресс: *1* — главный цилиндр; *2* — главный плунжер; *3* —шплинтон; *4*— плунжер обратного хода; *5* — контейнер; *6*— матрица

и на прессы прямого и обратного действия (только горизонтальные).

Вертикальные прессы бывают двух типов: прессы с иглой, укрепленной в шплинтоне, а потому не имеющей самостоятельного движения, и прессы с иглой, имеющей независимое от шплинтона движение.

Прессы первого типа часто работают с использованием заранее просверленных и обточенных слитков, что снижает разностенность труб и повышает качество их внутренней поверхности. На прессах второго типа прессуют сплошные слитки с предварительным их обжатием в контейнере и прошивкой иглой.

Прессы без самостоятельного движения иглы более быстроходны, а поэтому и более производительны; они также просты в эксплуатации. По этим соображениям прессы первого типа пользуются преимущественным распространением. На рис. 31 изображен вертикальный пресс такого типа, работающий на воде давлением 200 *кг/см*^{2}.

С целью частичной автоматизации процесса прессования и увеличения почти в два раза производительности вертикальных прессов у них вместо одного шплинтона устанавливается револьверная головка с двумя шплинтонами и с двумя отрезными пуансонами (рис. 32). В этом случае прессование происходит в следующем порядке:

1. Загрузка шашки в контейнер и опускание револьверной головки.

2. Прессование при помощи первого шплинтона, одновременно с прессованием снимается пресс-остаток с отрезного пуансона, охлаждается второй шплинтон в бачке

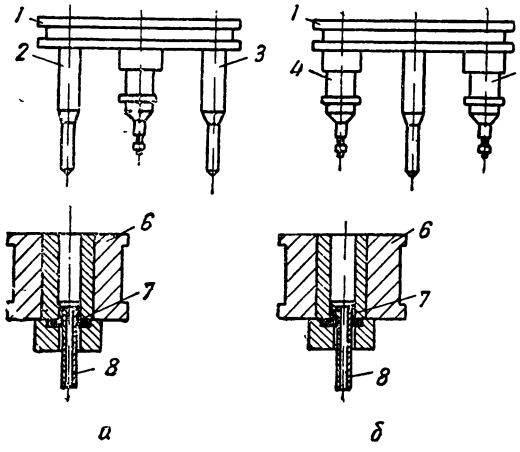


Рис. 32. Порядок работы револьверной головки 600-*т* вертикального пресса:

а — подъем револьверной головки; *б* — поворот револьверной головки: *1* — револьверная головка; *2* — рабочий пуансон № 1; *3* — рабочий пуансон № 2; *4* — отрезной пуансон № 2; *5* — отрезной пуансон № 1; *6* — контейнер; *7* — матрица; *8* — труба

с маслом и смазывается маслом отрезной пуансон № 2.

3. Подъем револьверной головки и поворот ее на 90° так, что против отверстия контейнера устанавливается отрезной пуансон № 2.

4. Отделение пуансоном № 2 пресс-остатка и смазывание находящейся на пуансоне манжетой отверстия контейнера.

5. Извлечение пресс-остатка из контейнера и поворот револьверной головки на 90° так, что против отверстия контейнера устанавливается второй шплинтон.

6. Прессование при помощи второго шплинтона и т. д.

Горизонтальные прессы бывают двух типов:

а) прессы прямого действия, предназначаемые для получения труб, прутков и профилей по прямому методу; на этих прессах можно работать по обратному и совмещенному методам, изображенным на схемах (*в*—*е* на рис. 3);

б) прессы комбинированные, допускающие получение на них тех же изделий как по прямому, так и по обратному методу.

На рис. 33 приведена конструктивная схема 2500-*т* пресса прямого действия, предназначенного для прессования труб и прутков. Передняя и задняя станины пресса связаны между собой тремя колоннами. Задняя станина отлита заодно с главным цилиндром. Прошивное устройство расположено в задней части пресса. Матрицедержатель *20* с вставленной в него матрицей *19* прижимается к контейнеру *18* клиновым затвором *21*, действующим от гидравлических цилиндров 22.

Рабочий ход шплинтона *12*, укрепленного в передней части главного плунжера *6*, совершается под действием воды высокого давления (200 *кг/см*^{2}), поступающей в главный цилиндр *5*. Обратный ход шплинтона осуществляется двумя гидроприводами *7*, связанными траверсой *10*. Прямой ход игле *13* сообщается плунжером прошивного устройства через иглодержатель *8* и шток *4*. Обратный ход игла получает от двух гидроприводов *2*, связанных траверсой *3*.

Слиток поступает с механизма подачи на подъемный столик *16*, действующий от гидравлического привода. Столик автоматически поднимается и разворачивается так, что слиток размещается по оси контейнера. Движением шплинтона под действием воды низкого давления слиток вводится в контейнер.

Процесс прессования происходит в следующем порядке:

1) подача пресс-шайбы в контейнер и обжатие слитка до соприкосновения его цилиндрической поверхности с внутренней поверхностью контейнера;

2) прошивка слитка иглой, в результате чего из слитка выпрессовывается металл — «пробка»;

3) прессование трубы с оставлением пресс-остатка заданной величины;

4) открытие клинового затвора и выталкивание из контейнера матрицедержателя с пресс-остатком;

5) отвод шплинтона и иглы назад;

6) проталкивание через контейнер контрольной пресс-шайбы и отвод шплинтона в исходное положение;

7) обрезка пресс-остатка гидравлическим ножом и выталкивание изделия из матрицы движением матрицедержателя;

8) подача матрицедержателя к контейнеру и опускание клинового затвора;

9) отделение пресс-остатка от пресс-шайбы и подача ее к подъемному столику;

10) охлаждение и смазка иглы и отвод ее в шплинтон.

На рис. 34 показана конструктивная схема 5000-*т* прутково́го пресса. В табл. 89 и 90 приведены технические характеристики современных гидравлических прессов.

Необходимая для работы прессов вода высокого давления, обычно с добавкой до 4% эмульсола (для предохранения плунжеров от коррозии и их смазки) поступает или от типовой насосно-аккумуляторной станции

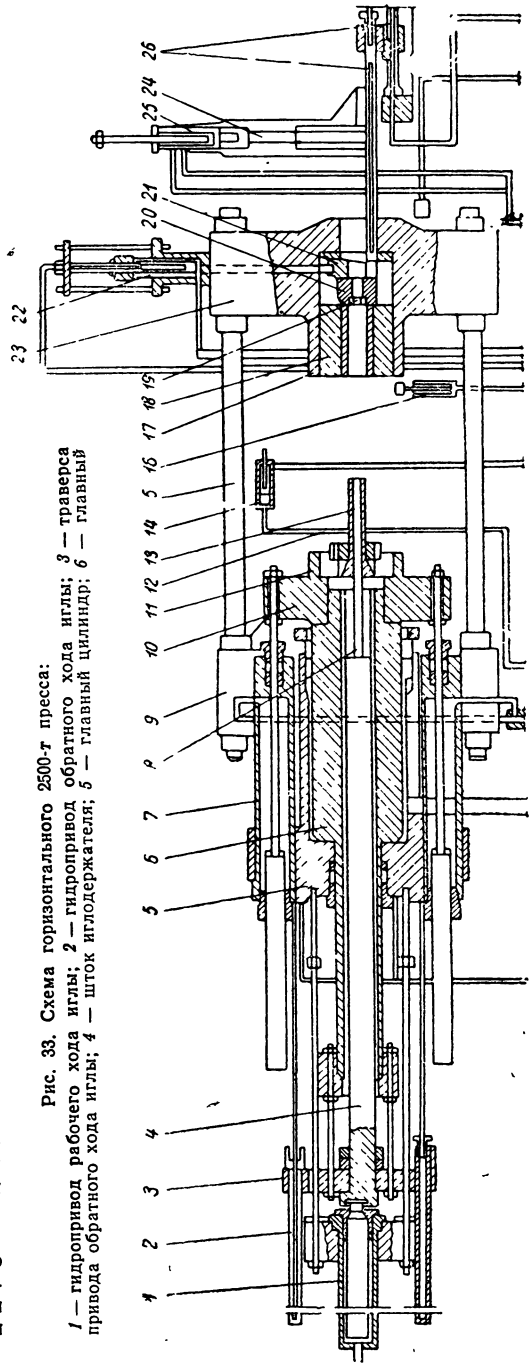


Рис. 33. Схема горизонтального 2500-*т* пресса:
1 — гидропривод рабочего хода иглы; *2* — гидропривод обратного хода иглы; *3* — траверса привода обратного хода иглы; *4* — шток иглодержателя; *5* — главный цилиндр; *6* — главный плунжер; *7* — гидропривод обратного хода главного плунжера; *8* — иглодержатель; *9* — задняя станина; *10* — траверса гидропривода обратного хода главного плунжера; *11* — шплинтонодержатель; *12* — шплинтон; *13* — игла; *14* — толкатель механизма подачи слитка; *15* — колонна; *16* — подъемный столик для слитка; *17* — контейнеродержатель; *18* — контейнер; *19* — матрица; *20*—матрицедержатель; *21* — клиновой затвор; *22* — гидропривод клинового затвора; *23* — передняя станина; *24* — гидравлический нож; *25* — гидропривод ножа; *26* — гидропривод матрицедержателя

Таблица 89

Техническая характеристика гидравлических прессов

Наименование	Сила давления пресса, *т*					
	5000	3500	2000	1500	1200	600
Модель пресса	—	—	П648	П664	П646	П652А
Назначение пресса: прессование	Прутки и профили	Трубы и профили	Профили	Трубы и профили	Профили	—
Рабочее давление жидкости *кг/см²*:						
от насосно-аккумуляторной станции	300	320	320	320	320	320
в линии наполнения	11	12—14	—	8	—	4—6
Усилие рабочего цилиндра, *т*	5 000	3 500	2 000	1 500	1 200	600
Диаметр главного цилиндра, *мм*	1 480	1 250	900	—	—	530
Наибольший ход главного плунжера, *мм*	1 520	2 100	—	1 700	—	900
Скорость холостого хода главного плунжера, *см/сек*	8,0	20	—	—	—	—
Скорость передвижения главного плунжера при прессовании, *см/сек*	0,18—0,6	2,0	0—10	0—10	0—10	—
Скорость обратного хода главного плунжера, *см/сек*	—	—	40	40	40	—
Усилие цилиндров обратного хода главного плунжера, *т*	217	—	112	117	144	—
Диаметр плунжера обратного хода главного плунжера, *мм*	280/180	—	—	—	—	130
Число цилиндров обратного хода главного плунжера, шт.	2	—	—	—	—	—
Суммарное усилие цилиндров прошивного устройства, *т*	—	400	—	310	—	—
Наибольший ход прошивного устройства, *мм*	—	1 100	—	1 720	—	—
Наибольшая скорость прошивки, *см/сек*	—	15	—	—	—	—
Усилие цилиндров обратного хода прошивного устройства, *т*	—	80	—	43	—	—
Диаметр втулок контейнеров, *мм*	300	—	—	—	130	75,85
	380	200	170	—	150	100
	430	280	200	—	—	120
	520	370	225	—	—	135
Длина контейнера, *мм*	1 200	—	—	815	715	—
Цилиндр передвижения контейнера:						
диаметр, *мм*	2 шт. 280/180	260/140	—	—	—	—
усилие двух цилиндров при прижиме, *т*	370	230	113	—	68	—
усилие двух цилиндров при обратном ходе, *т*	217	300	60	—	32	—
ход контейнера, *мм*	—	—	300	300	250	—
Индукционный обогреватель контейнера от трансформатора мощностью, *ква*	180	180	80	80	80	35
Цилиндр передвижения мундштука со столом:						
диаметр	—	180/110	—	—	—	—
усилие передвижения стола к прессу, *т*	76,2	35	9	9	9	—

Продолжение табл. 89

Наименование	Сила давления пресса, *т*					
	5000	3500	2000	1500	1200	600
усилие передвижения стола к ножницам, *т*	47,7	22	9	9	9	—
скорость движения стола, *см/сек*	—	30	—	—	—	—
ход мундштука, *мм*	—	—	2 735	2 735	2 460	—
Цилиндр затвора мундштука:						
диаметр, *мм*	100	100/80	—	—	—	—
усилие подъема затвора, *т*	23,5	8	30	30	18,1	—
усилие опускания затвора, *т*	Собственный вес	Собственный вес	5	5	3	—
Максимальное расчетное число прессовок в час, шт.	—	30	—	—	—	—
Габаритные размеры пресса, *мм*:						
длина	21 400	44 200	24 200	30 640	22 360	6 960
ширина	3 950	12 300	8 035	8 500	7 540	4 020
высота над полом	5 680	5 200	3 425	5 300	3 670	5 540
глубина под уровнем пола	1 260	—	—	—	—	—
Высота от уровня пола до оси прессования, *мм*	850	850	800	—	—	—
Общий вес пресса, *т*	521,5	544,5	124,25	190,05	77,14	41,595

Таблица 90

Техническая характеристика вспомогательных механизмов гидравлических прессов

Наименование	Сила давления пресса, *т*				
	5000	3500	2000	1500	1200
Подъемник пресс-шайбы					
Тип	—	—	ПП1	ППА-1	ППА-1
Ход тележки, *мм*	—	—	2 000	2 000	2 000
Усилие подъема, *кг*	—	—	65	65	65
Скорость подъема, *см/сек*	—	—	50	50	50
Ход плунжера, *мм*	—	—	500	500	500
Усилие на плунжере, *кг*	—	—	1 600	1 600	1 800
Максимальный вес пресс-шайбы, *кг*	—	—	22	22	22
Вес подъемника, *кг*	—	—	612	—	650
Податчик слитков					
Тип	—	—	ПС-1А	ПС-1	ПС1-6
Усилие главного цилиндра механизма подачи, *т*:					
к прессу	—	—	0,5	0,5	0,5
от пресса	—	—	0,24	0,24	0,24
Усилие подъемного цилиндра, *т*	—	—	—	0,48	—
Давление рабочей жидкости, *кг/см²*	—	—	8	8	8
Ход механизма подачи, *мм*	—	2 700	1 900	2 000	1 640
Скорость подачи слитка, *см/сек*	—	20	50	50	50

Продолжение табл. 90

Наименование	Сила давления пресса, *т*				
	5000	3500	2000	1500	1200
Скорость подъема слитка, *см/сек*	—	15	—	3	—
Подъем стола вверх, *мм*	—	180	—	—	—
Длина слитка, наибольшая, *мм*	—	850	700	700	600
Диаметр слитка, *мм*:					
наибольший	—	—	—	200	—
наименьший	—	—	—	120	—
Вес слитка, наибольший, *кг*	—	—	240	190	90
Электродвигатель переменного тока:					
тип	—	—	А41-6	А41-6	А41-6
мощность, *квт*	—	2,2	1,0	1,0	1,0
число оборотов, об/мин	—	883	930	930	930
Вес податчика без электрооборудования, *кг*	—	—	1590	—	2455
Ножницы для отделения пресс-шайбы от пресс-остатка					
Тип	—	—	НОО5	НОО4	НОО4
Номинальное усилие ножниц, *т*:					
вниз	—	—	15	—	15
вверх	—	—	5	—	5
Давление рабочей жидкости, *кг/см²*	—	—	320	320	320
Ход ножа, *мм*	—	—	220	220	220
Скорость ножа, *см/сек*:					
опускание	—	—	5	5	5
подъем	—	—	15	15	15
Вес ножниц, *кг*	—	—	540	—	560
Ножницы для отделения пресс-остатка от изделий					
Тип	—	—	НОО5	НОО5	НОО5А
Номинальное усилие главного цилиндра, *т*	185	165	100	100	100
Номинальное усилие возврата цилиндра, *т*	—	—	10	10	12
Давление рабочей жидкости, *кг/см²*	—	—	320	320	320
Ход ножа, *мм*	—	—	330	330	330
Скорость ножа, *см/сек*:					
опускания	—	—	5	5	5
подъема	—	25	15	15	15
Расстояние от уровня пола до оси пресса, *м*	—	—	800	800	800
Габариты ножниц в плане, *мм*:					
длина	—	—	2 400	—	2 200
ширина	—	—	1 500	—	1 510
Вес ножниц, *кг*	—	—	4 950	—	5 530

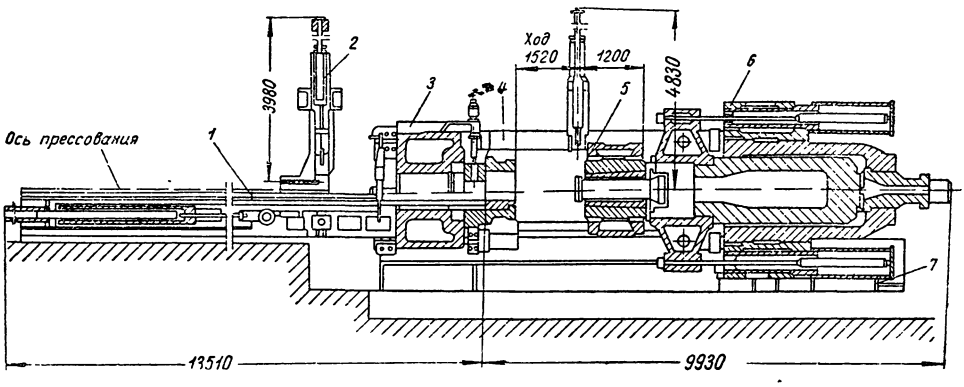


Рис. 34 Схема горизонтального круткового 5000-т пресса
1 — передвижной стол; *2* — ножницы; *3* — задняя траверса; *4* — колонны; *5* — контейнер, *6* — передняя траверса; *7* — опорная рама в сборе

(5000/320), техническая характеристика которой приведена ниже, или непосредственно от насоса.

Аккумулятор 5000/320

Активный объем жидкости, *л*	5000
Рабочее давление наибольшее, *кг/см²*	320
Рабочее давление наименьшее, *кг/см²*	285
Емкость баллонов, *л*	4000
Количество баллонов гидравлических, шт.	2
Количество баллонов воздушных, шт.	14

Насос Г-301

Производительность, *л/мин*	680
Рабочее давление, *кг/см²*	320
Мощность электродвигателя, *квт*	470
Напряжение, *в*	6000
Количество насосов рабочих, шт.	7
Количество насосов резервных, шт.	2

Компрессор воздушный

Производительность, *м³/час*	180
Рабочее давление, *кг/см²*	350
Мощность электродвигателя, *квт*	75

Размеры станции

Длина станции, *м*	54
Ширина, *м*	18
Высота над уровнем пола, *м*	8,5
Глубина тоннелей для труб под полом, *мм*	2000
Вес оборудования станции, *т*	850
Общий вес оборудования станции, *т*	900

Способ питания прессов водой от насосно-аккумуляторной станции обладает следующими преимуществами: имеется возможность работать на больших скоростях, обеспечивается плавность хода плунжеров пресса (без толчков) и сокращается потребная мощность насосов.

Требующуюся производительность насосно-аккумуляторной станции П. С. Истомин [7] предлагает определять в следующей последовательности:

1) подсчитать расход воды каждым прессом на каждую операцию и в 1 сек., данными для расчета служат площади плунжеров, длина и скорость хода и продолжительность операции;

2) построить для каждого пресса график потребления воды во времени, отложив по оси абсцисс в определенном масштабе время в секундах, а по оси ординат — расход воды в секунду на каждой операции;

3) на основании отдельных графиков построить суммарный график так, чтобы совпали начальные моменты прессования;

4) на основании суммарного графика планиметром определить наибольший расход воды за определенный период работы прессов.

5) определить средний расход воды прессами в секунду, учтя число прессовок в час, и на основании этих данных определить требующееся количество насосов.

Таблица 91

Расход воды гидравлическими прессами на одно прессование [7]

Прессы	Расход воды, *л*	
	высокого давления	низкого давления
Горизонтальный:		
3000-*т*	1882	4280
1500-*т*	794	912
Вертикальный:		
600-*т*	196	240
300-*т*	78	102

В табл. 91 показан расход воды разными прессами на одно прессование.

Полный объем водяной части воздушного аккумулятора принимают больше рабочего на 40—50%.

Воду высокого давления подают к прессам по стальным цельнотянутым трубам (ГОСТ 301—50)

Расчет толщины стенок трубопровода S ведут по формуле [7]:

$$S = p_i \frac{d_i}{2R_z} + C,$$

где p_i — нормальное внутреннее давление жидкости в трубопроводе, *кг/см²*,

d_i — внутренний диаметр трубопровода, *см*;

R_z — допустимое напряжение в трубопроводе, *кг/см*, обычно принимаемое на практике не свыше 850 *кг/см*^{2};

C — прибавка для обеспечения безопасности, обычно $C = 0{,}1$ *см*.

При определении сечения трубопроводов скорость движения жидкости принимают равной 15—20 *м/сек*. На практике скорость движения жидкости связывают со скоростью движения плунжера соотношением:

$$\frac{\pi d^2}{4} v = \frac{\pi D^2}{4} v_{\text{макс. пл}},$$

где d — диаметр трубопровода, *см*;

D — диаметр плунжера *см*;

v — скорость жидкости в трубопроводе, *см/сек*.;

$v_{\text{макс пл}}$ — скорость плунжера, *см/сек*.

В случае, если известен расход жидкости прессами, сечение трубопровода F определяется по формуле [30]:

$$F = \frac{1{,}69Q}{v} \text{ см}^2,$$

где v — скорость движения жидкости в трубопроводе, *см/сек;*

Q — расход жидкости прессами, *см*^{3}*/сек;*

1,69 — коэффициент расхода при групповой установке прессов, учитывающий утечку и служебные расходы; при единичных установках и длине трубопровода менее 50 *м* этот коэффициент уменьшается до 1,2, а при длине менее 10 *м* — до 1,05

Сечение труб после встречи двух ответвлений должно обеспечивать неизменную величину принятой скорости движения рабочей жидкости.

Скорость движения рабочей жидкости низкого давления принимается не более 3 *м/сек*. Внутренний радиус изгиба труб при их монтаже должен быть не менее пяти диаметров трубы.

2. Волочильное оборудование

Основным видом оборудования волочильных цехов являются цепные волочильные станы, волочильные машины (барабаны) и гидравлические раздаточные прессы.

Цепные волочильные станы

Для протяжки всевозможных труб и прутков из цветных металлов и сплавов широко применяются цепные волочильные станы, которые в зависимости от назначения делят на прутковые и трубные. Последние часто применяют также для протяжки прутков Основное различие между указанными станами заключается в том, что трубные станы имеют в задней части стойку для закрепления волочильного болта с оправкой.

Современные цепные волочильные станы оснащают различными устройствами, позволяющими в значительной мере автоматизировать и механизировать процесс волочения

К числу таких устройств относятся:

1) механизированная подача трубы на стан и надевание ее на волочильный болт с оправкой;

2) принудительная задача трубы (прутка) в волоку без предварительной отковки захваток;

3) автоматические захват трубы плашками тележки и включение крюка тележки в цепь;

4) автоматическое отключение тележки по окончании волочения и возвращение ее к волокодержателю;

5) механизированное сбрасывание протянутых изделий со станка на стеллаж;

6) одновременная протяжка одной, двух или трех труб или прутков;

7) плавное увеличение скорости волочения от минимальной до рабочей и работа с различными скоростями волочения;

8) счетчики метража протянутых труб или прутков

Техническая характеристика современных цепных волочильных станов приведена в табл. 92.

Волочильный стан с тяговым усилием 75 *т* (рис. 35) предназначен для протяжки труб из цветных металлов. Стан имеет гидравлическое устройство для изготовления захваток путем проталкивания труб через специальную матрицу. Для этого трубы должны быть с толщиной стенки не более 15 *мм* и иметь кривизну не более 6 *мм* на 1 *пог. м*.

На стеллаже подачи *6* помещается шесть труб диаметром 400 *мм* и около 16 диаметром 200 *мм*, откуда трубы по наклонному стеллажу поступают в механизм изготовления захваток *4*. Этот механизм, рассчитанный на обработку отожженных труб, развивает усилие при проталкивании трубы в матрицу до 50 *т* при скорости 3,89 *см/сек*, а при выталкивании — до 25 *т* при скорости 3,23 *см/сек*. Затем трубы через распределительное устройство *5* поступают на подающий рольганг *3*, где с помощью цепной тележки они насаживаются на волочильный болт с оправкой.

Стан снабжен двумя волочильными болтами, размещенными во вращающемся от двигателя *3* барабане *2*. Когда на одном болте осуществляется протяжка трубы, на другой болт подается следующая труба. Для задачи трубы в волоку служит пневматический цилиндр *1*. Захватка, пройдя через волоку, надвигается на затычку волочильной тележки и зажимается ее плашками, после чего действием пневматического привода включается в волочильную цепь *12*, передвигающуюся с минимальной скоростью 7 *м/сек*. Скорость волочения автоматически увеличивается до значения, установленного на пульте управления *16* По окончании волочения крюк самостоятельно поднимается, а труба падает на рычаги-сбрасыватели и скатывается в стеллаж *13*. Одновременно с этим скорость движения цепи снижается до 7 *м/мин*, а тележка возвращается к волокодержателю; на расстоянии 750 *мм* от волокодержателя тележку тормозит электромагнитный тормоз.

Таблица 92

Техническая характеристика цепных волочильных станов

Основные данные	Тяговое усилие стана, *т*								
	75	30	30	15	15	15	8	8	3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Завод-изготовитель	ГДР	ИЗТМ	ИЗТМ	ИЗТМ	ИЗТМ	ИЗТМ	ИЗТМ	АЗТМ	АЗТМ
Тип	—	—	П357	—	—	По типу П481	П358	—	По типу П478
Вес, *т*	—	60	44,25	47	—	—	27,32	—	—
Длина, *м*	—	33,0	28,5	28,86	30	—	24,9	—	—
Высота, *м*	—	—	1,67	—	2,3	—	1,67	—	—
Ширина, *м*	—	5,2	5,36	5,6	4,7	—	3,755	—	—
Производительность, *м/час*	550	—	500	—	См. табл. 94	—	600	—	—
Скорость движения цепи, *м/мин*	7—14—21	12—40—48	Мин. 15	15,3—50—61,2	15—48—62	6—45	Мин. 25	15—60	12—59,3
Скорость движения цепи при максимальном тяговом усилии, *м/мин*	7	40	—	5	48	—	—	—	—
Скорость движения цепи в начальный момент волочения, *м/мин*	7	6	—	0	—	—	—	—	—
Диаметр волочимых труб, *мм*	150—400	38—83	До 160	24—57	10—55	Прутки 10—40	До 30	15—60	3—35
Длина труб, *м*:									
до волочения	1,15—9,5	2,5—9	—	2,5—9	2,5—10	—	—	—	—
после волочения	10	14	—	13	3—13	9,5	8	12	9
Число волочимых труб, шт.	1	1; 2; 3	1	1; 2; 3	1; 2; 3	Прутки 1; 2, 3	—	—	1; 2; 3
Главный привод									
Электродвигатель:									
тип	—	МП-14-11/6	ГАМБ $\frac{127}{10}$	МП-82 2 шт.	МП-14-13/4	—	А92-8	—	—
мощность, *квт*	—	250/300	115	100	150	—	55	—	—
число оборотов, об/мин	—	1250/1500	585	470	400/1200	—	730	—	—
род тока	Постоянный	Постоянный	Переменный 220/380 *в*	Постоянный	Постоянный 400 *в*	—	Переменный 220/380 *в*	—	—
Механизм возврата тележки									
Электродвигатель:									
тип	—	—	Л62—12/6	—	—	—	—	—	—
мощность, *квт*	—	—	3/5	—	—	—	—	—	—
число оборотов, об/мин.	—	—	470/950	—	—	—	—	—	—
скорость возврата, *м/мин*	60	112	60	120	95	—	60	—	—

Продолжение табл. 92

Основные данные	Тяговое усилие стана, *т*								
	75	30	30	15	15	15	8	8	3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Рольганг									
Электродвигатель:									
тип	—	—	АО-41-6	—	—	—	АО-41-6	—	—
мощность, *квт*	—	—	1	—	—	—	1	—	—
число оборотов, об/мин	—	—	930	—	—	—	930	—	—
скорость рольганга, *м/сек*	0,5	—	1	—	—	—	1	—	—
Тянущие ролики									
Электродвигатель:									
тип	—	—	АО-41-6	—	—	—	АО-41-6	—	—
мощность, *квт*	—	—	1	—	—	—	1	—	—
число оборотов, об/мин.	—	—	930	—	—	—	930	—	—
скорость вращения роликов, *м/сек*	—	—	1,45	—	—	—	1,45	—	—
Загрузочное устройство									
Электродвигатель:									
тип	—	—	МТК21-6	—	—	—	МТК21-6	—	—
мощность, *квт*	—	—	5	—	—	—	5	—	—
число оборотов, об/мин.	—	—	905	—	—	—	905	—	—
Механизм возврата тележки *	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Механизм задачи труб на оправку *	+	+	+	+	+	—	+	+	+
Механизм задачи труб в волоку *	+	+	+	+	+	—	+	+	+
Сбрасыватели готовых труб *	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ножницы для резки прутков в процессе волочения *	—	—	—	—	—	+	—	—	—
Счетчик метража протянутых труб *	—	+	—	—	+	+	—	—	+

Примечание. ИЗТМ и АЗТМ — Иркутский и Алма-Атинский заводы тяжелого машиностроения.

* Знак плюс показывает, что механизм имеется.
Знак минус показывает, что данный механизм отсутствует.

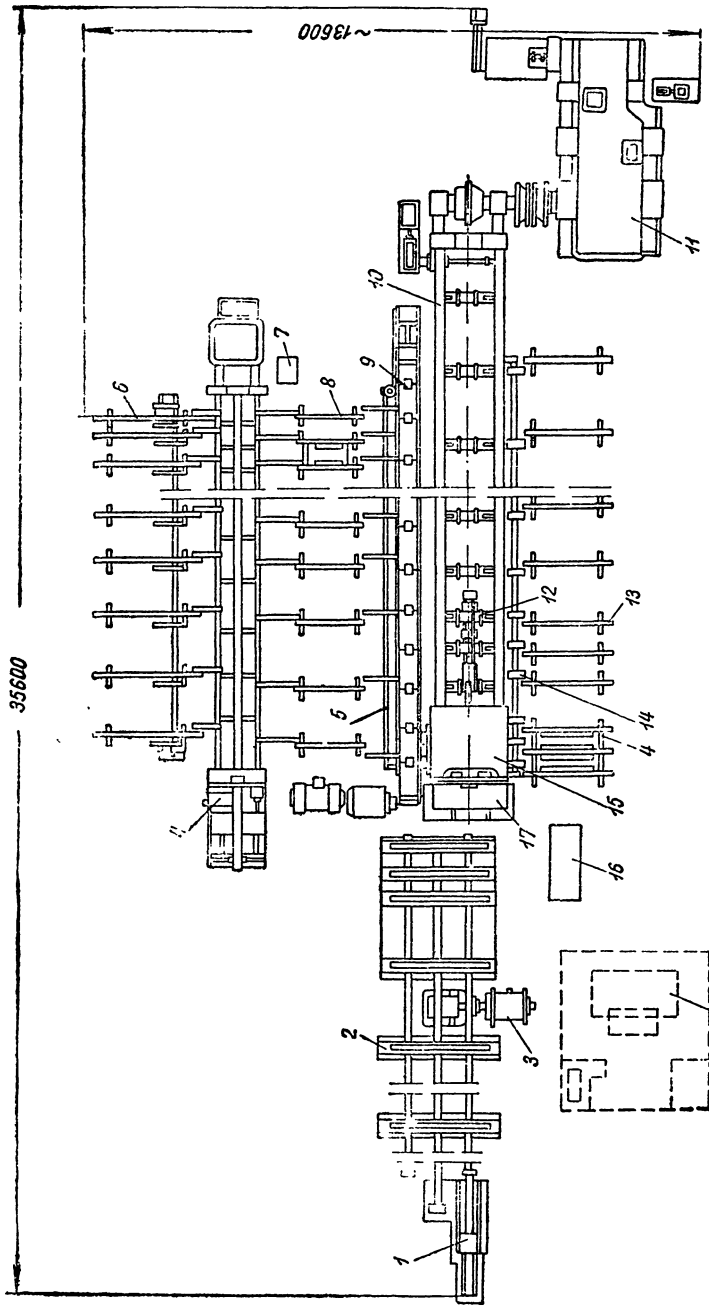


Рис 35. Схема трубоволочильного стана 75 *т*:
1 — цилиндр движения волочильных болтов; *2* — барабан для волочильных болтов; *3* — двигатель привода волочильных болтов, *4* — механизм для изготовления захваток; *5* — распределительное устройство; *6* — стеллаж подачи механизма для изготовления захваток; *7* — пульт управления механизма для изготовления захваток; *8* — стеллаж подачи; *9* — подающий рольганг; *10* — волочильная станина; *11* — главный привод; *12* — волочильная цепь; *13* — стеллаж выдачи; *14* — выбрасывающее устройство, *15* — волочильная тележка; *16* — пульт управления; *17* — волокодержатель; *18* — подвал смазочного устройства

Источником постоянного тока для двигателя главного привода служит агрегат с одним синхронным двигателем (мощность 320 *квт*, напряжение 6000 *в*, 1500 об/мин) и одним компаундным генератором постоянного тока (200 *квт*, 440 *в*). Для питания вспомогательных установок используют переменный ток мощностью 75 *квт* и напряжением 380/220 *в*.

Таблица 93

Электрооборудование волочильного стана с тяговым усилием 75 *т*

Наименование	Мощность *квт*	Число оборотов в минуту
Электродвигатель синхронный собственного возбуждения напряжением 6000 *в*	320	1500
Генератор компаундный внешнего возбуждения напряжением 440 *в*	200	1500
Возбудители для него	5	1500
Электродвигатель шунтовой постоянного тока, напряжением 440 *в*	160	500
Электродвигатель трехфазного тока с контактными кольцами	10 9,5	960 720
Электродвигатель трехфазного тока с короткозамкнутым ротором	1,5 14 2,2 22 11 0,5	1390 960 1450 950 940 1410

В табл. 93 приведены данные по электродвигателям для стана усилием 75 *т*.

Для работы распределительного устройства цилиндра движения волочильного болта, механизмов включения крюка тележки в цепь и сбрасывания тянутых труб в стеллаж применяется сжатый воздух давлением 3,5 *кг/см*^{2}. Расход воздуха составляет 2,3 *м*^{3}*/мин*.

Смазочное устройство обеспечивает подачу до 35 *л/мин* технологической смазки при давлении 16 *кг/см*^{2}. В зависимости от условий протяжки смазка может быть подогрета или охлаждена.

В конструкции 30- и 15-*т* станов ИЗТМ (графы 4 и 7 табл. 92), предназначаемых для волочения правленых труб с откованными захватками, входят следующие узлы:

1. Главный привод, включающий электродвигатель постоянного тока, и редуктор, обеспечивающий волочение труб с переменными скоростями от минимальной в начальный момент волочения, до рабочей при постепенном ее возрастании. На 30-*т* стане захват труб плашками тележки происходит при скорости 8 *м/мин*.

2. Стойка с волокодержателем для установки одной, двух или трех волок. Волоки помещаются во втулке со сферическими поверхностями.

3. Волочильная плашковая тележка для одновременного волочения одной, двух или трех труб. Тележка оснащена счетчиком метража протянутых труб; тележка 30-*т* стана (графа 7 табл. 92) снабжена счетчиком 5-1000 конструкции ЦКБММ.

4. Механизм возврата тележки к волокодержателю, действующий от главного привода или от отдельного электродвигателя. В момент приближения к стойке движение тележки автоматически замедляется, тележка останавливается, автоматически захватывает плашками закованные концы труб и включается крюком в цепь.

5. Механизм сбрасывания труб. При движении волочильной тележки рычаги-сбрасыватели под действием пневмоцилиндров последовательно поворачиваются и устанавливаются под трубы; по окончании волочения оператор включает пневмоцилиндр, в результате чего рычаги занимают наклонное положение, и трубы скатываются в карман; рычаги поворачиваются в исходное положение пневмоцилиндром; давление воздуха в системе составляет 4—6 *кг/см*^{2}.

6. Стеллаж для помещения предназначенных к протяжке труб. Площадь сечения бункера стеллажа равна 0,7 *м*^{2}, что позволяет загрузить в него трубы диаметром 24 *мм* — 920 шт.; диаметром 57 *мм* — 190 шт. и диаметром 83 *мм* — 90 шт. Емкость стеллажа обеспечивает 2 часа работы стана.

7. Дозатор, подающий трубы по одной со стеллажа на цепной транспортер.

8. Цепной транспортер, передающий трубы на рычаги укладки.

9. Механизм укладчика и механизм гребенки, укладывающие трубы на направляющие ролики

10. Тележка для надевания труб на волочильный болт с оправкой; скорость надевания изменяется от 30 до 120 *м/мин*.

11. Загрузочный стол с двумя рядами волочильных болтов: в верхнем ряду особая тележка, которая подает трубы по направляющим роликам с укладчика на волочильные болты; в нижнем ряду находятся болты в момент волочения на них труб; подача болтов с трубами в волоку осуществляется автоматически пневмоцилиндром; по окончании волочения болты верхнего ряда с трубами автоматически перемещаются в нижнее положение, а освободившиеся болты нижнего ряда отводятся назад и перемещаются пневмоцилиндром в верхнее положение для приема следующей порции труб.

При безоправочном волочении трубы надеваются на волочильные болты без оправок.

На наружную и внутреннюю поверхности труб в процессе волочения подается технологическая смазка.

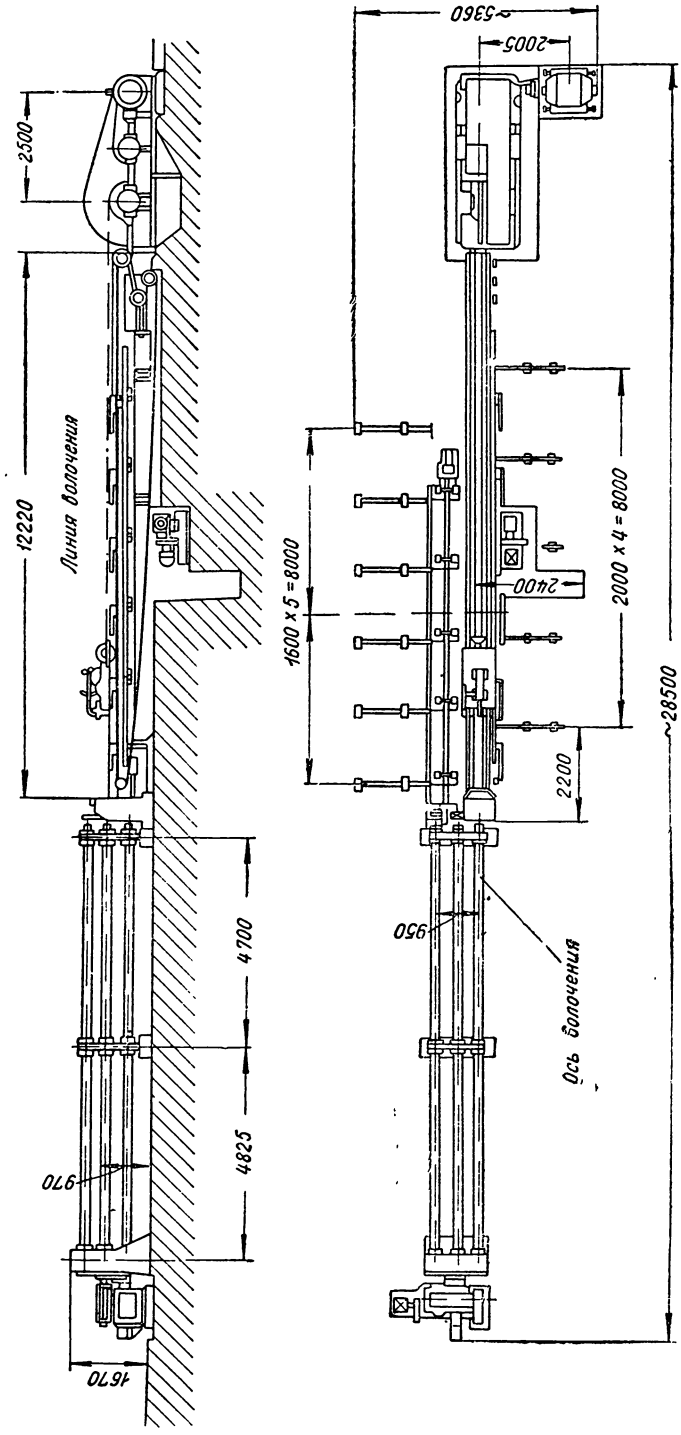


Рис 36 Схема 30-т волочильного стана

Таблица 94

Производительность цепного волочильного 15-*т* стана (графа 7 табл 92) в зависимости от длины труб, скоростей волочения и числа циклов

Длина трубы, *м*	13		9		6		4,5		3	
Скорость волочения, *м/мин* . . .	48	62	48	62	48	62	48	62	48	62
Продолжительность цикла волочения, сек	35,5	32	28	25	19,5	18,5	18	15,5	14	13,5
Число циклов, цикл/час	100	112	128	143	184	195	225	233	257	267
Производительность при волочении, *м/час*:										
одной трубы	910	1000	810	900	725	820	710	735	540	560
двух труб	1820	2000	1620	1800	1450	1640	1420	1470	1080	1120
трех труб	2730	3000	2430	2700	2175	2460	2130	2205	1620	1680

Примечание. Использование оборудования при расчете производительности принято равным 0,7.

Волочильный стан обслуживает оператор, находящийся у пульта управления, и вспомогательный рабочий.

Волочильный стан с тяговым усилием 30 *т* (рис. 36 и графа 5 табл. 92) рассчитан на автоматическое и ручное управление. Последовательность операции на нем обеспечена блокировкой. Механизмы по транспортировке, укладке, загрузке и подаче труб работают автоматически по заданной программе для волочения одной, двух и трех труб.

Для увеличения производительности станов и более полного использования мощности главного привода целесообразно одновременно тянуть одну, две или три трубы с суммарным усилием, соответствующим тяговому усилию стана.

В табл. 94 приведен расчет производительности 15-*т* стана в зависимости от длины труб, скорости волочения и числа циклов.

Для волочения мелких труб применяют цепные станы с тяговым усилием 3; 1,5; 1; 0,5 и 0,2 *т* и скоростью волочения до 45 *м/мин*.

В случае применения электродвигателей постоянного тока с переменным числом оборотов скорости волочения труб могут быть увеличены до 60—90 *м/мин*. Длина труб после протяжки на этих станах составляет 8—10 *м*.

Такие станы обычно сооружаются с двумя цепями, работающими от одного двигателя. Скорость самовозвращающейся тележки составляет 60—120 *м/мин*. Трубу надевают на волочильный болт и сбрасывают после протяжки на стеллаж вручную. При безоправочном волочении иногда применяют одновременную протяжку двух труб

Волочильные барабаны

Для волочения в бухтах круглых и фасонных прутков и безоправочного волочения труб применяют волочильные станы (барабаны), технологические характеристики которых приведены ниже:

Изготовитель	Завод АЗТМ г. Алма-Ата	
Диаметр барабана, *мм*	550	750
Количество барабанов, шт. . .	1	1
Диаметр исходного прутка, *мм* . .	12—4,3	20—12
Диаметр готового прутка, *мм* . .	4,5—3,8	—
Материал прутка	Алюминивые сплавы и тяжелые цветные металлы	
Количество скоростей	3	3
Скорость волочения, *м/мин* . . .	40—55—81	35,5—67—103
Вес бухты прутков на барабане, *кг*	80	250
Грузоподъемность поворотного крана, *кг*	250	250
Усилие волочения (максимальное), *кг*	—	7500
Производительность машины (проектная), *кг/час*	150—840	—
Электродвигатель барабана:		
тип	А-72 816/4	АМ6-116-6
мощность, *квт*	7—9—10	95
число оборотов,об/мин . . .	700—950—1410	975

Тип редуктора	—	Цилиндрический трехскоростной
Число скоростей	—	3
Электродвигатель:		
тип	А-42-4	—
мощность, *квт*	2,8	—
число оборотов, об/мин	1420	—
Технологическая смазка прутка	—	Мыльный порошок
Смазка редуктора стана	—	Централизованная
Смазка трехскоростного редуктора	—	Окунанием
Рекомендуемая смазка	—	Машинное масло «С», ГОСТ 1707—51
Габаритные размеры стана со вспомогательным оборудованием:		
длина, *м*	5,035	9,55
ширина, *м*	3,160	4,88
высота, *м*	2,71	3,55
площадь, $м^2$	15,9	45,84
Общий вес машины с электрооборудованием, *кг*	3552	18350

Достоинством указанных станов является возможность работы на них с различными скоростями. Станы оснащены механизмами для вальцовки захваток, съемниками бухт и вращающимися фигурками с поворотными кранами.

Раздаточный пресс

Для раздачи крупных труб рекомендуется раздаточный 200-*т* пресс модели ПО76 СКБ-4 (г. Коломна) (рис. 37), техническая характеристика которого приведена ниже:

Номинальное усилие пресса, *т*	200
Номинальное усилие пресса при обратном ходе, *т*	100
Ход каретки, *мм*	5000
Диаметр обрабатываемых труб и заготовок, *мм*:	
наименьший	160
наибольший	408
При раздаче:	
наименьшая длина труб, *мм*	1300
наибольшая длина заготовки, *мм*	2000
При волочении:	
наименьшая длина заготовки, *мм*	1300
наибольшая длина трубы, *мм*	4000
Скорость перемещения каретки, *м/мин*:	
при холостом ходе	10
при рабочем ходе	5
при обратном ходе	10
Наибольший расход воды высокого давления, *л/мин*	500
Рабочее давление воды, подводимой от насосно-аккумуляторной станции, $кг/см^2$	240
Рабочее давление сжатого воздуха, $кг/см^2$	6 ± 1
Наибольшее подъемное усилие одного стола, *кг*	1800
Габаритные размеры пресса в плане, *мм*:	
длина	18140
ширина (без пульта управления)	1655
Высота над уровнем пола, *мм*	2660
Вес пресса, *т*	25

Пресс приводится в действие от цеховой насосно-аккумуляторной станции с давлением воды 240 $кг/см^2$. Клапанный распределитель управляет движением поршня и штока главного цилиндра и связанной со штоком каретки. Скорость перемещения каретки при рабочем ходе регулируется степенью открытия клапанов распределителя

Вспомогательные механизмы пресса (подача распыленного масла, подъем колодки задней траверсы, поднимание и опускание заднего упора, управление работой левых и правых боковых упоров и подъемных столов) приводятся в действие сжатым воздухом при давлении 6 $кг/см^2$.

3. Трубопрокатные станы

Для получения катаных тонкостенных труб применяют станы двух типов:

1) станы холодной прокатки труб — станы ХПТ, рабочим инструментом которых

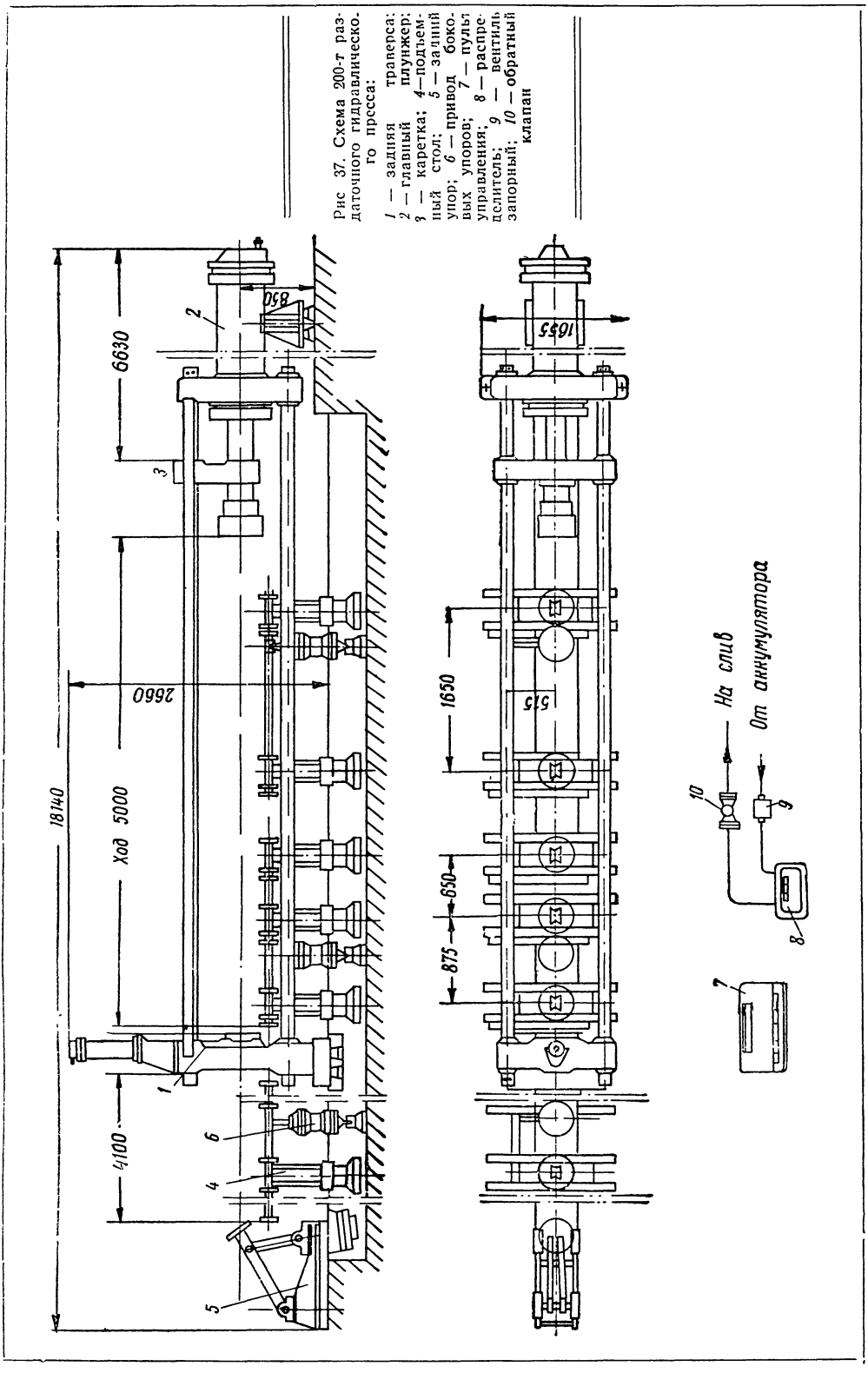


Рис 37. Схема 200-т раздаточного гидравлического пресса:
1 — задняя траверса; *2* — главный плунжер; *3* — каретка; *4*—подъемный стол; *5* — задний упор; *6* — привод боковых упоров; *7* — пульт управления; *8* — распределитель; *9* — вентиль запорный; *10* — обратный клапан

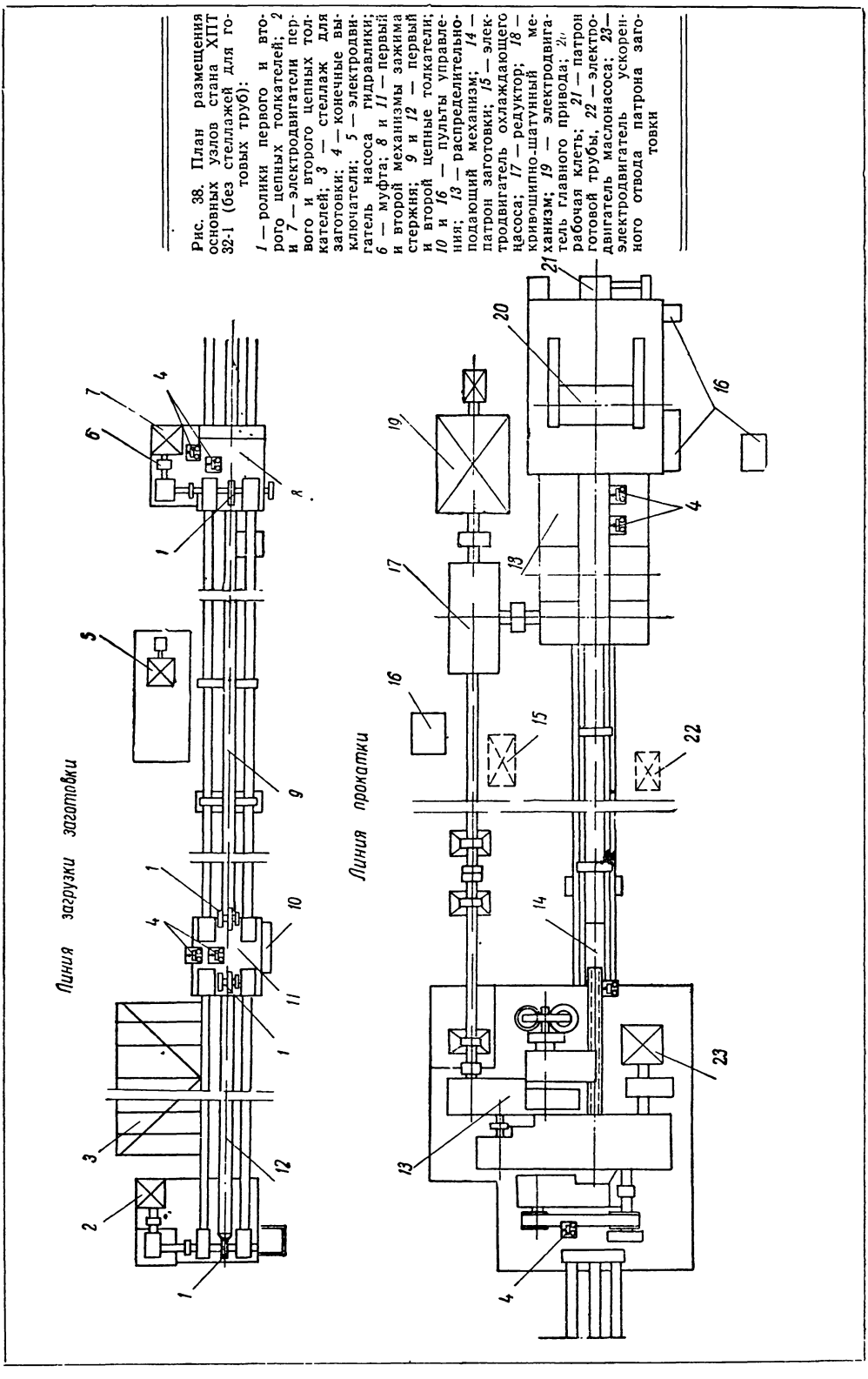


Рис. 38. План размещения основных узлов стана ХПТ 32-1 (без стеллажей для готовых труб):

1 — ролики первого и второго цепных толкателей; *2* и *7* — электродвигатели первого и второго цепных толкателей; *3* — стеллаж для заготовки; *4* — конечные выключатели; *5* — электродвигатель насоса гидравлики; *6* — муфта; *8* и *11* — первый и второй механизмы зажима стержня; *9* и *12* — первый и второй цепные толкатели; *10* и *16* — пульты управления; *13* — распределительно-подающий механизм; *14* — патрон заготовки; *15* — электродвигатель охлаждающего насоса; *17* — редуктор; *18* — кривошипно-шатунный механизм; *19* — электродвигатель главного привода; *20* — рабочая клеть; *21* — патрон готовой трубы, *22* — электродвигатель маслонасоса; *23* — электродвигатель ускоренного отвода патрона заготовки

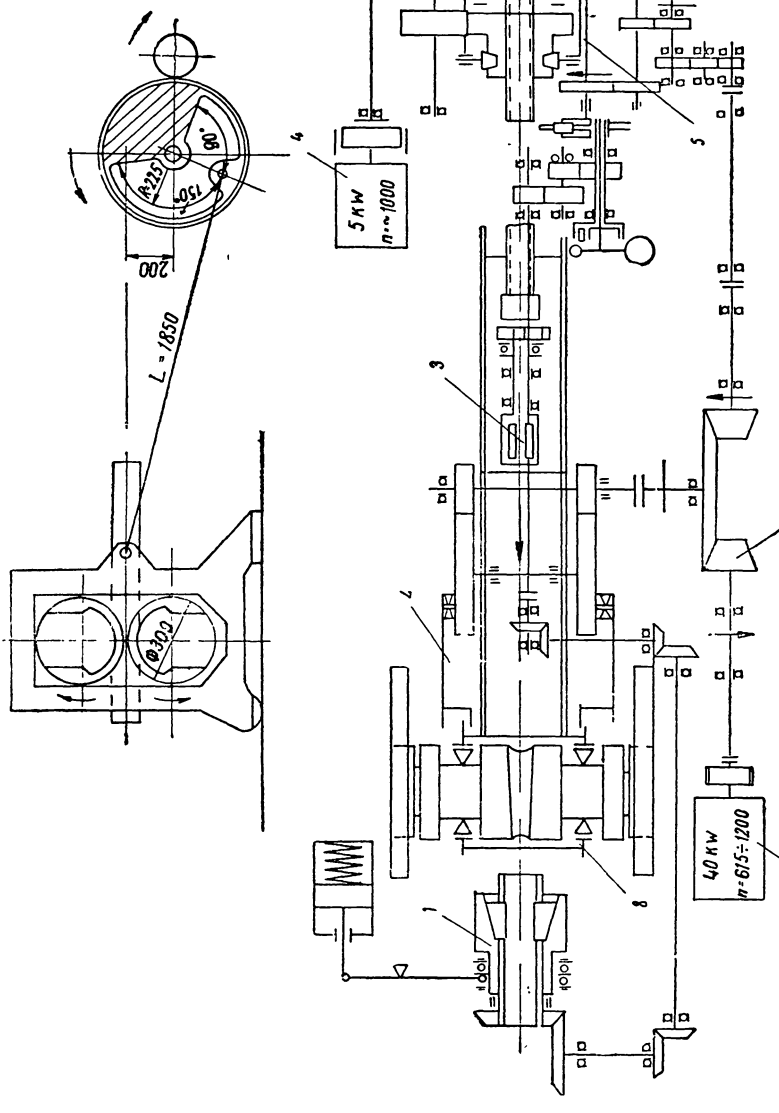


Рис. 39. Кинематическая схема главного привода и распределительно-подающего механизма стана ХПТ 32-1:
1—патрон готовой трубы; *2*—кривошипно-шатунный механизм; *3*—патрон заготовки; *4*—электродвигатель ускоренного отвода патрона заготовки; *5*—распределительно-подающий механизм; *6*—редуктор; *7*—электродвигатель главного привода; *8*—рабочая клеть

являются пара калибров с ручьями переменного сечения и коническая оправка;

2) роликовые станы холодной прокатки труб — станы ХПТР, рабочим инструментом которых являются три ролика с выточками постоянного сечения и цилиндрическая оправка.

Станы холодной прокатки труб — ХПТ

На рис. 38 показано размещение основных узлов стана ХПТ 32-1 одной из последних конструкций (без стеллажа для готовых труб). Кинематическая схема главного привода и распределительно-подающего механизма этого стана приведена на рис. 39.

Автоматический процесс прокатки осуществляется следующим образом.

Первая заготовка (см. рис. 38) вручную подается со стеллажа заготовки *3* на рольганг приемного стола. С пульта управления *10* открывается первый механизм зажима стержня *11*, после чего автоматически выключается первый цепной толкатель *12*; толкатель продвигает заготовку по стержню через первый зажим и возвращается обратно в исходное положение, после чего стержень автоматически закрывается первым зажимом. В конце обратного хода отключается первый цепной толкатель и командо-аппаратом сбрасывается на рольганг очередная заготовка.

Закрывание первого зажима стержня дает импульс на открывание второго механизма зажима стержня *8* и движение вперед второго цепного толкателя *9*. Заготовка проталкивается в сторону патрона заготовки *14*, пока второй цепной толкатель не реверсируется автоматически в переднем крайнем положении. Если загруженная заготовка мешает второму цепному толкателю в движении вперед, то муфта *6*, находящаяся между двигателем и редуктором, пробуксовывает до тех пор, пока не освободится путь подачи. Во время обратного хода второго толкателя, как только он выйдет за пределы второго зажима, последний автоматически закрывается, а первый зажим открывается; после этого начинается движение первого толкателя.

Патрон заготовки *14* автоматически зажимает заготовку при рабочем ходе и освобождает ее при обратном ходе. Патрон получает движение от распределительно-подающего механизма *13*, который приводится в действие от главного двигателя *19*. Как подающий механизм, так и механизм поворота через редуктор и вал переключения обеспечивают в процессе прокатки поступательное и вращательное движение заготовки в крайнем заднем и крайнем переднем положении рабочей клети.

В крайнем переднем положении патрон заготовки воздействует на конечный выключатель и переключает подающий механизм на ускоренный обратный ход. При этом патрон *14* освобождает заготовку, которая удерживается только передним патроном *21*. В крайнем заднем положении привод обратного хода патрона заготовки *23* автоматически отключается, а распределительно-подающий механизм переключается на рабочую подачу. Патрон зажимает новую заготовку, приведенную вторым толкателем, и передвигает ее на рабочей подаче в сторону клети *20*. Таким образом, рабочий цикл повторяется без остановки клети.

Беспрерывный автоматический процесс работы стана обеспечивается наличием на основных узлах конечных выключателей *4*. Кроме того, стан имеет пять пультов управления *10* и *16*.

Стан ХПТ 75-1 относится к числу станов с загрузкой заготовки сбоку. Работа на этом стане происходит в следующем порядке.

В момент нахождения стержня и патрона заготовки в крайнем заднем положении командой с пульта управления опускаются рычаги загрузочного механизма. Скатившуюся по рычагам заготовку вручную штурвалом зажимают в патроне. Затем командой с пульта управления патрон заготовки подается вперед до соприкосновения торцов новой и предшествующей заготовок, после чего стержень с оправкой подается через заготовки вперед. В крайнем переднем положении, когда оправка займет положенное ей место между калибрами, привод подачи стержня автоматически останавливается, а патрон стержня запирается. Запирающий механизм дает импульс на включение главного электродвигателя и механизма подачи.

Прерывисто-поступательное и вращательное движение заготовка получает от механизмов подачи и поворота. Указанные движения сообщаются заготовке в моменты, когда рабочая клеть находится в заднем и переднем крайних положениях. Синхронность движений обеспечивается тем, что механизмы подачи и поворота, а также передний патрон трубы работают от главного электродвигателя.

По окончании прокатки патрон заготовки в крайнем переднем положении переключает механизм подачи на ускоренный обратный ход, а патрон стержня освобождает стержень. Затем автоматически включается электродвигатель ускоренного отвода стержня в заднее положение.

В начале отвода стержня главный привод отключается и затормаживается таким образом, что рабочая клеть останавливается в своем среднем по ходу положении. При торможении главного привода автоматически отключается механизм зажима заготовки и патрон заготовки отводится в крайнее заднее положение. Затем цикл прокатки повторяется.

Готовая труба поступает на желоб стола выдачи, где, в случае надобности, разрезается на части дисковой пилой, установленной за столом выдачи.

Техническая характеристика станов ХПТ и электрооборудования для них приведена в табл. 95—98.

Таблица 95

Техническая характеристика станов холодной прокатки труб

Основные данные	Станы				
	ХПТ 150	ХПТ 120	ХПТ 75-1	ХПТ 55-1	ХПТ 32-1
Наружный диаметр готовой трубы, *мм*:					
максимальный	152	120	81	55	32
минимальный	102	80	35	25	16
Наружный диаметр заготовки, *мм*:					
максимальный	174	140	90	67	42
минимальный	112	89	57	—	25
Максимальный внутренний диаметр заготовки, *мм*	—	121	—	—	—
Длина заготовки, *м*:					
максимальная	5,0	5,0	5,0	5,0	5,5
минимальная	2,5	2,0	1,6	1,5	1,5
Толщина стенки заготовки, *мм*					
максимальная	28	24	20	12	6
минимальная	5,0	4,5	—	—	—
Толщина стенки готовой трубы, *мм*:					
максимальная	25	20	—	—	—
минимальная	1,75	1,0	0,75	0,6	0,6
Минимальное уменьшение внутреннего диаметра, *мм*	5,0	3,0	—	—	—
Максимальное уменьшение поперечного сечения, %	88	88	—	—	—
Максимальное уменьшение наружного диаметра, *мм*	50	40	—	—	—
Максимальное уменьшение толщины стенки, %	70	70	—	—	—
Максимальная длина готовой трубы, *м*	25	25	25	—	25
Длина готовой трубы, *м*	3—10	3—10	—	—	—
Число ходов клети, ход/мин:					
максимальное	50	60	70	90	120
минимальное	30	40	60	65	80
Число холостых ходов клети при наладке	—	—	15	—	15
Пределы величины подачи, *мм*	2—20	2—20	2—15	2—25	2—15
Диаметр стержня, *мм*:					
максимальный	118	118	—	—	—
минимальный	70	50	—	—	—
Диаметр валка, *мм*	700	500	434	364	300
Диаметр ведущих шестерен, *мм*	600	406	—	—	—
Ход клети, *мм*	856	755,8	705	624	452
Радиус кривошипа, *мм*	425	375	—	—	—
Скорость патрона гильзы, *м/сек*	0,4	0,4	—	0,45	—
Скорость патрона стержня, *м/сек*	0,7	0,7	—	0,66	—
Статический угол поворота трубы, град.	45	45	—	55	—
Максимальный вес заготовки, *кг*	500	350	—	—	—
Передаточное число:					
приводного механизма	91/30	91/30	—	—	—
редуктора главного привода	5	10/3	—	—	—
Угол поворота валка, град.	164	212,5	—	—	—
Время цикла прокатки:					
минимальное, сек.	150	130	—	—	—
максимальное, час.	1	1	—	—	—
Общее передаточное число от двигателя к валкам	91/6	91/9	—	—	—
Зев подачи, *мм*	—	48,6	—	—	—
Зев поворота, *мм*	—	58,2	—	—	—

Электрооборудование стана ХПТ 32-1 (исполнение правое) Таблица 96

Наименование привода	Тип привода	Род тока и напряжение, в	Тип электродвигателя	Количество, шт.	Мощность, квт	Число оборотов в минуту
Главный привод	Электродвигатель	Постоянный 220	ПН-750	1	40,5	615/1200
Первый цепной толкатель	То же	Переменный 380	МТК-11-6	1	2,2	885
Второй цепной толкатель	» »	То же	МТК-11-6	1	2,2	885
Ускоренная подача патрона заготовки	» »	» »	МТК-21-6	1	5	905
Первый зажим стержня	Гидравлический цилиндр	Постоянный 220	—	1	0,35	—
Второй зажим стержня	То же	То же	—	1	0,35	—
Переключение подачи	» »	» »	—	1	0,35	—
Передний патрон	» »	» »	—	1	0,35	—
Пила для резки труб	Электродвигатель	Переменный 380	АО-51-4	1	4,5	1440
Выбрасыватель	Гидравлический цилиндр	Постоянный 220	—	2	0,35	—
Насос гидравлической системы	Электродвигатель	Переменный 380	А-41-6	1	1	930
Маслонасос	То же	То же	А-42-4	1	2,8	1420
Насос охлаждающей жидкости	» »	» »	АО-51-4	1	4,5	1440
Грелка отстойника масла	Спираль	Переменный 220	—	1	3,0	—
Грелка отстойника эмульсии	То же	То же	—	4	3,0	—

Электрооборудование стана ХПТ 55-1 (исполнение левое) Таблица 97

Наименование привода	Тип привода	Род тока и напряжение, в	Тип электродвигателя	Тип магнита	Мощность, квт	Число оборотов в минуту
Главный привод	Электродвигатель	Постоянный, 220	ПН-1750	А-455	80	550/1050
Отвод стержня	То же	Переменный, 380	МТК-21/6	—	5,0	905
Ускоренный отвод патрона заготовки	» »	То же	МТК-21/6	А-200	5,0	905
Механизм загрузки	Гидравлический цилиндр	Постоянный, 220	—	КМП-2	0,35	—
Механизм застопоривания рычагов загрузки	Электромагнит	То же	—	КМП-2	0,35	—
Толкатель	Гидравлический цилиндр	» »	—	КМП-2	0,35	—
Механизм переключения подачи	То же	» »	—	КМП-2	0,35	—
Механизм клети	» »	» »	—	КМП-2	0,35	—
Зажим переднего патрона	» »	» »	—	КМП-2	0,35	—
Выбрасыватель 2 шт.	» »	» »	—	КМП-2	0,35	—
Насос гидравлической системы	Электродвигатель	Переменный, 380	А-41/6	—	1,0	930
Насос жидкой смазки	То же	То же	А-42/4	—	2,8	1420
Насос охлаждающей жидкости	» »	» »	АО-51/4	—	4,5	1440
Грелка отстойника жидкой смазки	Проволочная спираль	Переменный, 220	—	—	3,0	—
Грелка отстойника эмульсии	То же	То же	—	—	12,0	—
Пила дисковая	Электродвигатель	Переменный, 380	АО-51/4	—	4,5	1440
Защелка стержня	Электромагнит	Постоянный, 220	—	КМП-2	0,35	—

Таблица 98

Электрооборудование стана ХПТ 120 и ХПТ 150

Наименование привода	Количество	Род тока и напряжение, *в*	Тип электродвигателя	Мощность *квт*	Число оборотов в минуту
Главный привод стана ХПТ 120	1	Постоянный, 440	МП-250-400	184	400—800
То же, стана ХПТ 150	1	Постоянный, 220	МП-350-450	260	450—900
Передвижение патрона заготовки	1	То же	МП-32	9,0	900—1200
Передвижение патрона стержня	1	Переменный, 380	МТК-31-6	11,0	920
Механизм загрузки	1	То же	МТК-12-6	3,5	870
Механизм переключения подачи	1	Постоянный, 220	—	0,35	—
Механизм клина	1	То же	—	0,35	—
Толкатель	1	» »	—	0,35	—
Механизм перевалки:					
захват	1	Переменный, 380	МТК-11-6	2,2	883
тележка	1	То же	МТК-11-6	2,2	883
Передний патрон	1	Постоянный, 220	—	0,35	—
Выбрасыватели первый и второй	2	То же	—	0,35	—
Дисковая пила	1	Переменный, 380	АОС-51-4	4,5	1290
Насос гидравлической системы	1	То же	АОС-41-6	1,0	840
Насосы системы охлаждения (Ж-1)	3	» »	АО-51-4	4,5	1440
Фильтры системы охлаждения (Ж-1)	2	Переменный, 380	АО-41-6	1,0	930
Клапан отключения эмульсии	1	Постоянный, 220	—	0,35	—
Смазочная установка (Ж-2)	2	Переменный, 380	АО-42-4	2,8	1420
Грязевой насос	1	То же	АО-41-4	1,7	1420
Преобразовательный агрегат главного привода:					
приводной синхронный электродвигатель стана ХПТ 120	1	Переменный, 6000	ДС-1408-6	263	1000
то же, стана ХПТ 150	1	То же	ДС-1506-6	351	1000
генератор постоянного тока стана ХПТ 120	1	Постоянный, 460	МП-14-12/7	240	1000
то же, стана ХПТ 150	1	То же	МП-14-13/8	340	1000
возбудитель синхронного электродвигателя	1	Постоянный, 45	ВС-24.5/11	8,6	1000
Вспомогательный преобразовательный агрегат:					
приводной синхронный электродвигатель	1	Переменный, 380	А-81-4	40,0	1460
ЭМУ патрона заготовки	1	Постоянный, 230	ЭМУ-110	10,0	1425
ЭМУ главного привода	1	То же	ЭМУ-70	3,0	1460
генератор постоянного напряжения	1	» »	ПН-100	13,5	1460

Станы холодной прокатки труб роликовые — ХПТР

К числу станов ХПТР относится стан ЦНИИТМАШа (рис. 40) и стан ЦКБММ-50, предназначенные для прокатки труб из углеродистых и легированных сталей, а также из цветных сплавов. На стане можно прокатывать трубы диаметром 8—15 *мм* с толщиной стенки 0,025 *мм*.

Прокатка труб осуществляется на цилиндрической оправке тремя и более роликами с калибром постоянного сечения (рис. 41). Ролики опираются на профилированные опорные планки, расположенные в толстостенной трубе каретки. Возвратно-поступательное движение каретка получает от двигателя постоянного тока через редуктор и шатунно-кривошипный механизм. Ролики находятся в сепараторе, который также перемещается возвратно-поступательно двуплечим рычагом. При этом путь сепаратора приблизительно в два раза короче пути каретки.

Ролики, перемещаясь по опорным планкам, обжимают трубу, которая в конце каждого обратного хода каретки продвигается вперед на величину подачи и поворачивается на угол 60°. Поворот и подача трубы осуществляется патроном заготовки от подающе-поворотного механизма с мальтийским крестом. Оправка навинчивается

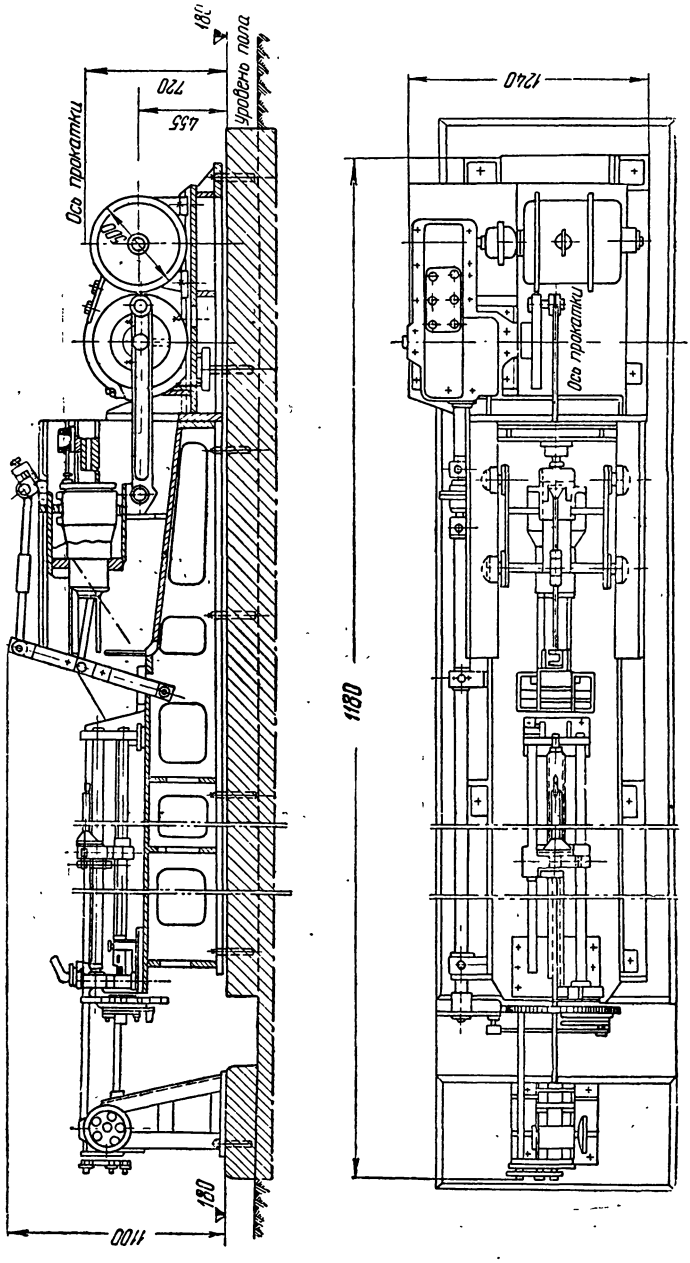
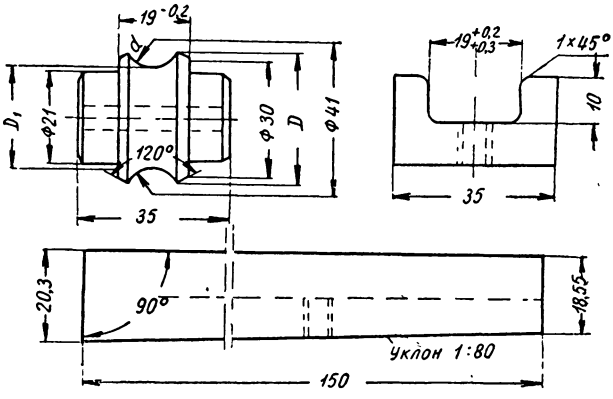


Рис. 40. Общий вид стана ХПТР ЦНИИТМАШ

на стержень и в процессе работы не имеет продольного перемещения.

В целях предотвращения скручивания трубы на стане предусмотрен принудительный поворот стержня оправки.

Настройку стана производят изменением плеч рычажной системы каретки и установ-



d	11	12	13	14	15
D	35,5	35	34,5	34	33,5
D_1	30	29	28	27	26

Сталь ШХ15
Калить. 57-59 Rc

Рис. 41. Ролик и планка стана ХПТР

кой роликов и оправки, соответствующих размерам прокатываемой трубы.

Основные данные о стане ЦКБММ-50, по данным проспекта Всесоюзной промышленной выставки 1957 г., и другом, более крупном стане ЦНИИТМАШа, приведены ниже:

Стан ЦКБММ-50

Наружный диаметр заготовки, *мм*	9—16
Наружный диаметр готовой трубы, *мм*	8—15
Длина заготовки, *мм*	750—1500
Число двойных ходов каретки в минуту	55—97
Величина подачи заготовки за один ход каретки, *мм*	1—4
Ход каретки, *мм*	300
Электродвигатель:	
тип	ПН-68
мощность, *квт*	3,5
число оборотов в минуту	1750/1000
Вес стана, *т*	2

Стан ЦНИИТМАШ

Наружный диаметр готовой трубы, *мм*	15—32
Толщина стенки готовой трубы, *мм*	0,2—0,8
Диаметр роликов, *мм*	70
Число двойных ходов каретки в минуту	65
Величина подачи заготовки за один ход каретки в минуту, *мм*	2—10
Ход каретки, *мм*	300
Электродвигатель:	
мощность, *квт*	9
число оборотов в минуту	1500
Производительность, *пог. м/час*	18—25
Вес стана, *т*	3,58

§ 6. ИНСТРУМЕНТ

1. Прессовый инструмент

К числу основного прессового инструмента обычно относят матрицы, иглы, прессшайбы, матрицедержатели, шплинтоны, иглодержатели и контейнеры.

Матрица

По форме матрицы делят на цилиндрические, конические и радиальные (рис. 42). Первые преимущественно применяют при прессовании прутков, а вторые — при прессовании труб. По расходу энергии на прес-

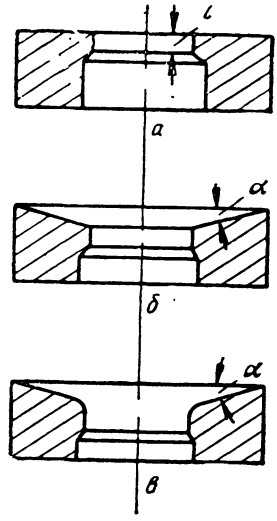


Рис. 42. Типы пресовых матриц; *а* — цилиндрическая; *б* — коническая; *в* — радиальная; *l* — ширина калибрующего пояска; α — угол конусности

сование конические матрицы являются наиболее выгодными. Угол конусности α (угол между образующей конуса и торцом конической матрицы) принято делать равным 25—30°. Радиальные матрицы применяют для прессования легких металлов и спла-

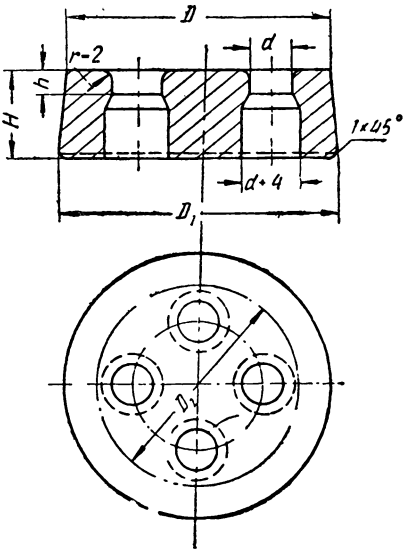


Рис. 43. Многоочковая матрица горизонтального пресса

прессовании меди и ее сплавов принимают равной 8—12 *мм*, при прессовании алюминия, магния и их сплавов ширину пояска уменьшают до 5—8 *мм*. У матриц, применяемых для прессования профилей с различной толщиной стенки по сечению, ширину пояска делают также различной: большей толщине стенки соответствует более широкий калибрующий поясок, и наоборот. Переход от рабочего торца матрицы к калибрующему пояску выполняют в виде радиуса или фаски величиной 2—5 *мм*.

Прутковые матрицы часто делают многоочковыми (рис. 43).

Для прессования труб из алюминия, магния и их сплавов наряду с обычными матрицами применяют язычковые с вмонтированной иглой (рис. 44). Эти матрицы позволяют получать трубы с весьма точной толщиной стенки и высоким качеством поверхности. Достоинством язычковых матриц является возможность прессования в них полых профилей сложного сечения

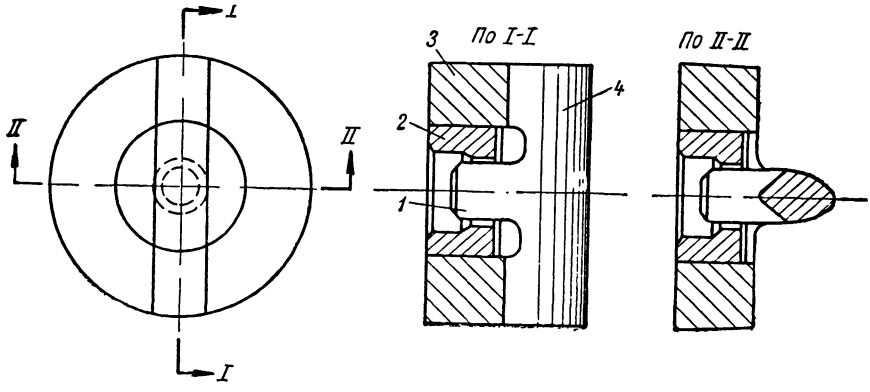


Рис. 44 Язычковая матрица:
1 — язычок-сердечник; *2* — вставка; *3* — обойма; *4* — гребень (нож)

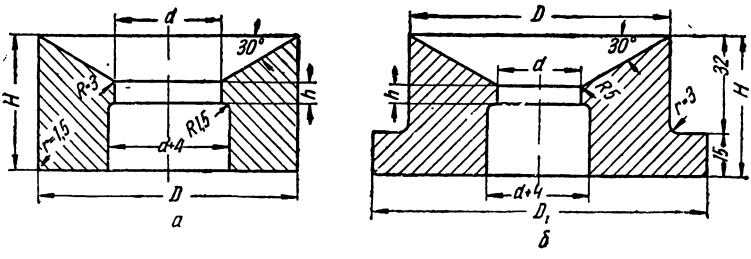


Рис. 45 Матрицы вертикальных прессов:
а, б — типы матриц

вов, обладающих повышенной способностью налипать на инструмент.

Ширину калибрующего пояска *l* при

Размеры матриц, принятых на практике, приведены в табл. 99—101 и на рис. 43, 45, 46.

Таблица 99

Размеры матриц для вертикальных 600-*т* прессов (рис. 45), *мм*

Диаметр контейнера	Тип матрицы	D	D_1	d	H	h
85	*а*	84,8	—	27—45	51	6—10
100	*а*	99,8	—	31—54	57	6—10
85	*б*	84,8	110	27—45	47	6—10
100	*б*	99,8	120	31—54	47	6—10

Таблица 100

Размеры одноочковых матриц для горизонтальных прессов (рис. 46, *мм*)

Сила давления пресса, *т*	Диаметр контейнера, *мм*	Тип матрицы		D_1	d		d_1	H	h**
					круг	полоса*			
1500	155	*а*	115	112,9	20—60	—	$d+4$	40	5—10
1500	155	*а*	120	117,38	30—80	—	$d+4$	50	5—10
1500	180	*а*	160	157,9	50—115	—	$d+4$	40	5—10
3000	205	*б*	168,66	180	40—110	⩽120	$d+4$	55	5—10
3000	255	*б*	197	210	60—160	⩽165	$d+4$	60	5—10
3000	306	*б*	237,88	250	60—185	⩽180	$d+5$	60	5—10
3000	408	*б*	350,5	365	100—295	⩽280	$d+6$	70	8—12

* Для полосы указан наибольший допустимый размер диагонали.

** Высота калибрующего пояска при прессовании алюминиевых сплавов берется по нижнему пределу, а при прессовании медных сплавов—по верхнему.

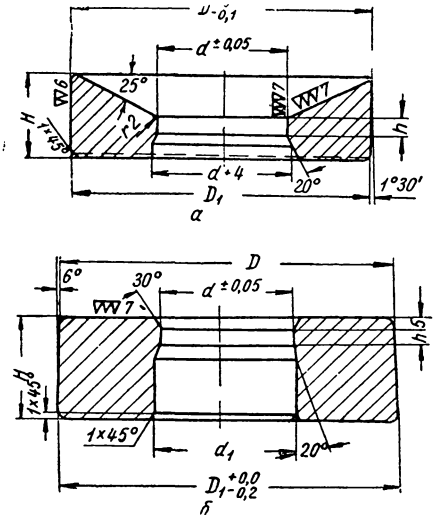


Рис. 46. Матрицы горизонтальных прессов
а, б — типы матриц

Таблица 101

Размеры многоочковых матриц для горизонтальных прессов (рис. 43), *мм*

Сила давления пресса, *т*	D_1	D	D_2	d	Число отверстий	H	h
1500	115	112,9	65	6—8	8	40	5—10
1500	115	112,9	65	9—11	7	40	5—10
1500	115	112,9	65	12—14	6	40	5—10
1500	115	112,9	65	15—16	5	40	5—10
1500	115	112,9	65	17—20	4	40	5—10
1500	120	117,38	80	15—20	3	40	5—10
1500	120	117,38	80	21—26	2	40	5—10
1500	160	157,9	100	20—23	3	40	5—10
1500	160	157,9	100	24—30	2	40	5—10
3000	168,66	180	100	20—27	4	50	5—10

Иглы

Длина рабочей части иглы должна быть равна длине слитка, увеличенной на высоту пресс-шайбы и длину свободного конца иглы, выходящего в очко матрицы. Для облегчения освобождения иглы от трубы рабочую часть иглы делают с небольшим конусом: около 0,3—0,5 *мм* для вертикальных прессов и 0,5—1,2 *мм* для горизонтальных (рис. 47, 48 и табл. 102—103).

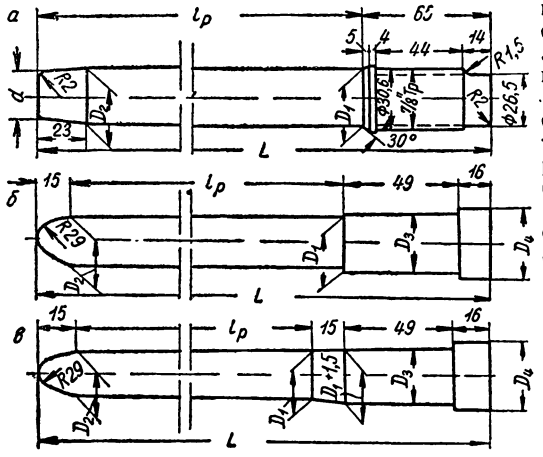


Рис. 47. Иглы вертикальных прессов:
а, б, в — типы игл

Во избежание так называемого «налипания» трубы на иглу, что иногда наблюдается при работе на вертикальных прессах, иглы делают с дополнительным конусом у основания рабочей части величиной $D_1 + 1{,}5$ *мм* на длине 15 *мм* (рис. 47, *в*). В этом случае внутренний диаметр заднего конца трубы получается заметно больше диаметра рабочей части иглы и труба легко освобождает иглу.

Иглы у вертикальных прессов укрепляются непосредственно в шплинтоне (см. рис. 53, *в*) или проходящем через него иглодержателе (см. рис. 59), а также при помощи иглодержателя (см. рис. 50), навертываемого на резьбовую часть шплинтона (см. рис. 53, *г*). На горизонтальных прессах иглу укрепляют в иглодержателе, проходящем через шплинтон.

Таблица 102

Размеры игл для 600-*т* вертикальных прессов (рис. 47), *мм*

Тип игл	D_1	D_2	D_3	D_4	L	$l_р$	d
а	26	25,2	—	—	275	210	21
а	26	25,5	—	—	330	265	21
а	30	29,5	—	—	330	265	26
а	35	34,5	—	—	330	265	29
б	22—23	D_1—0,4	24	29	260	180	—
б	24—25,5	D_1—0,4	26	29	260	180	—
в	23	D_1—0,4	24	29	260	180	—

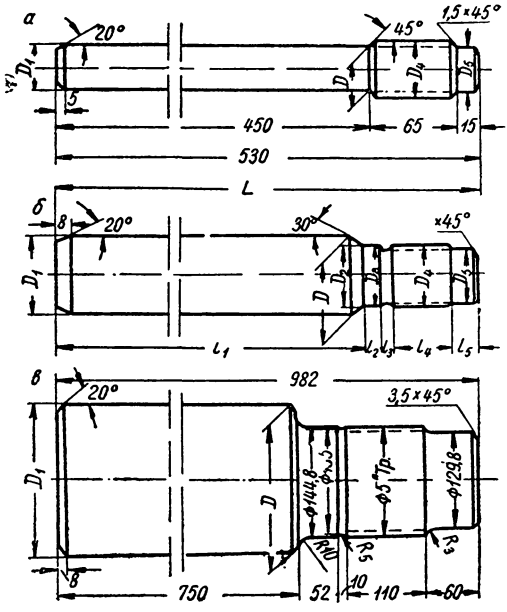


Рис. 48. Иглы горизонтальных прессов:
а, б, в — типы игл

Размеры игл для горизонтальных прессов (рис. 48), *мм* Таблица 103

Сила давления пресса, *т*	Тип игл	D	D_1	D_2	D_3	Резьба трубная D_4	D_5	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	L	K
1500	*а*	16,3—26,5	D—0,5	—	—	3/4"	23,5	450	—	—	65	15	530	—
1500	*а*	30,6—35,7	D—0,5	—	—	1"	29,5	450	—	—	65	15	530	—
1500	*б*	40,8—51	D—0,5	49,8	44,5	1 1/2"	41,5	500	30	5	70	30	635	1,5
1500	*б*	56,1—96,9	D—0,8	49,8	44,5	1 1/2"	41,5	500	30	5	70	30	635	1,5
1500	*б*	102	D—1,0	49,8	44,5	1 1/2"	41,5	500	30	5	70	30	635	1,5
3000	*б*	40,8—51	D—0,5	69,8	62,5	2 1/4"	59,5	650	20	10	70	30	780	3,5
3000	*б*	56,1—96,9	D—0,8	69,8	62,5	2 1/4"	59,5	650	20	10	70	30	780	3,5
3000	*б*	102	D—1,0	69,8	62,5	2 1/4"	59,5	650	20	10	70	30	780	3,5
3000	*б*	112,2—173,4	D—1,0	104,8	96	3 1/2"	94,5	750	40	10	80	50	930	3,5
3000	*в*	183,6—193,8	D—1,0	144,8	135	5"	129,8	750	52	10	110	60	982	—
3000	*в*	204—265,2	D—1,2	144,8	135	5"	129,8	750	52	10	110	60	982	—

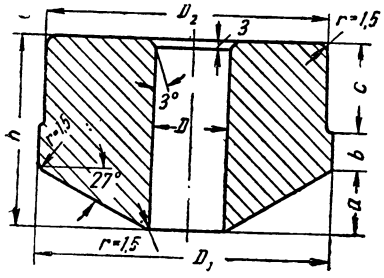


Рис 49 Пресс-шайба 600-т вертикального пресса

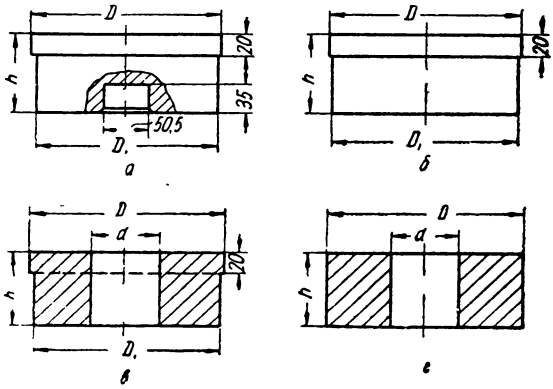


Рис. 51. Пресс-шайбы горизонтальных прессов *а, б* — прутковые; *в, г* — трубные; *в* — контрольные

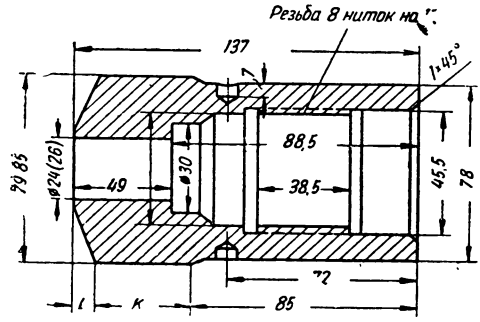


Рис 50 Иглодержатель 600-т вертикального пресса

Пресс-шайбы

На вертикальных прессах с независимым ходом иглы при работе с коническими матрицами применяют также конические пресс-шайбы (рис. 49). На прессах, не имеющих независимого хода иглы, когда применяется шплинтон типа *г* (см. рис. 53), роль пресс-шайбы выполняет иглодержатель (рис. 50).

Пресс-шайбы горизонтальных прессов по назначению делятся на прутковые и трубные (рис. 51). При прессовании изделий с рубашкой применяют пресс-шайбы с буртиком, а при прессовании без рубашки — без буртика. Для удаления из контейнера ру-

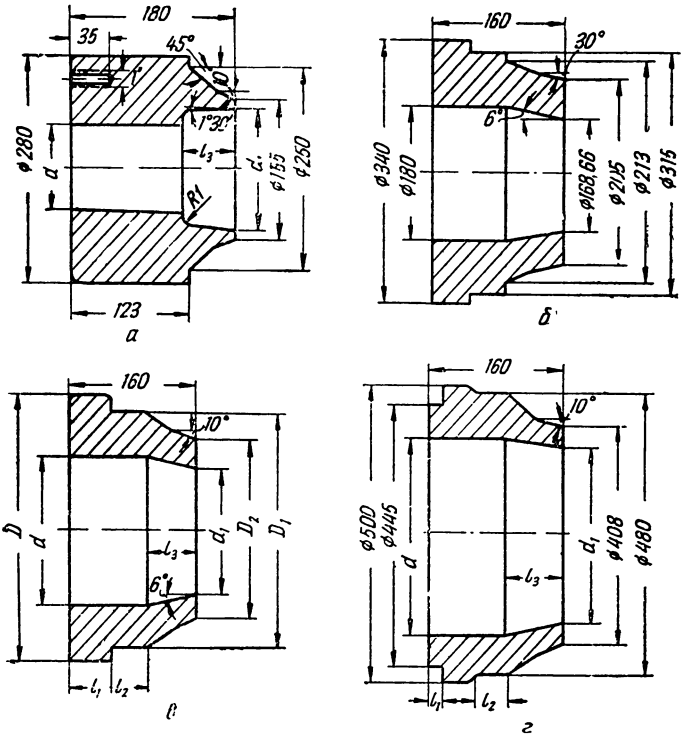


Рис 52. Матрицедержатели горизонтальных прессов: *а, б, в, г* — типы матрицедержателей

башки применяют контрольные пресс-шайбы (рис. 51, *в*). Их прогоняют через контейнер после прессования и тем самым освобождают его от рубашки, частиц металла и окаточке втулки контейнера. При наличии неплотности возможно вытекание металла помимо матрицы. Размеры матрицедержателей приведены на рис. 52 и в табл. 106.

Таблица 104

Размер пресс-шайб для вертикального 600-*т* пресса (рис. 49), *мм*

Диаметр контейнера *мм*	*D*	D_1	D_2	*a*	*b*	*c*	*h*
85	D_1 иглы+С,2	84,8	83,5	14	16	22	52
100	D_1 иглы+0,2	99,8	98,5	16	19	32	67

Таблица 105

Размеры пресс-шайб для горизонтальных прессов (рис. 51), *мм*

Диаметр контейнера, *мм*	Пресс-шайбы													
	прутковые				трубные					контрольные				
	тип	*D*	D_1	*h*	тип	*D*	D_1	*d*	*h*	тип	*D*	D_1	*d*	*h*
155	*а*	154,5	150,5	80	*в,г*	154,5	150,5	16,6—36,0	80	*в*	155	150	60	80
180	*а*	179,5	175	80	*в,г*	179,5	175,5	16,6—71,7	80	*в*	180	175	90	80
205	*а*	204,5	200	80	*в,г*	204,5	200,0	36—102,4	80	*в*	205	200	112	80
255	*б*	254,3	250	90	*в,г*	254,3	250	41,1—112,6	90	*в*	255	250	115	90
306	*б*	305	300	100	*в,г*	305	300	41,1—184,1	100	*в*	306	300	185	100
408	*б*	406,7	401	100	*в,г*	406,7	402	82—265,8	100	*в*	408	401	270	100

Таблица 106

Размеры матрицедержателей горизонтальных прессов (рис. 52), *мм*

Сила давления пресса, *т*	Диаметр контейнера, *мм*	Тип матрицы	Тип матрицедержателя	*D*	D_1	D_2	*d*	d_1	l_1	l_2	l_3
1500	155	*а*	*а*	—	—	—	41—91	115	—	—	40
1500	155	*а*	*а*	—	—	—	61—96	120	—	—	50
1500	180	*а*	*а*	—	—	—	61—116	160	—	—	40
3000	205	*б*	*б*	—	—	—	—	—	—	—	—
3000	255	*б*	*б*	340	315	255	180	168,66	55	45	54
3000	255	*б*	*б*	340	315	255	210	197,4	55	45	59
3000	306	*б*	*б*	388,5	365	306	210	197,4	40	60	59
3000	306	*б*	*б*	388,5	365	306	250	237,8	40	60	59
3000	408	*б*	*б*	—	—	—	250	237,8	—	—	59
3000	408	*б*	*б*	—	—	—	365	350,5	—	—	69

лины. Размеры пресс-шайб приведены в табл. 104, 105.

Матрицедержатели

Замыкающий конус матрицедержателя должен плотно прилегать к конической вы-

Шплинтоны

По назначению шплинтоны делят на прутковые и трубные. Виды, типы и размеры шплинтонов приведены в табл. 107 и 108 и на рис. 53 и 54.

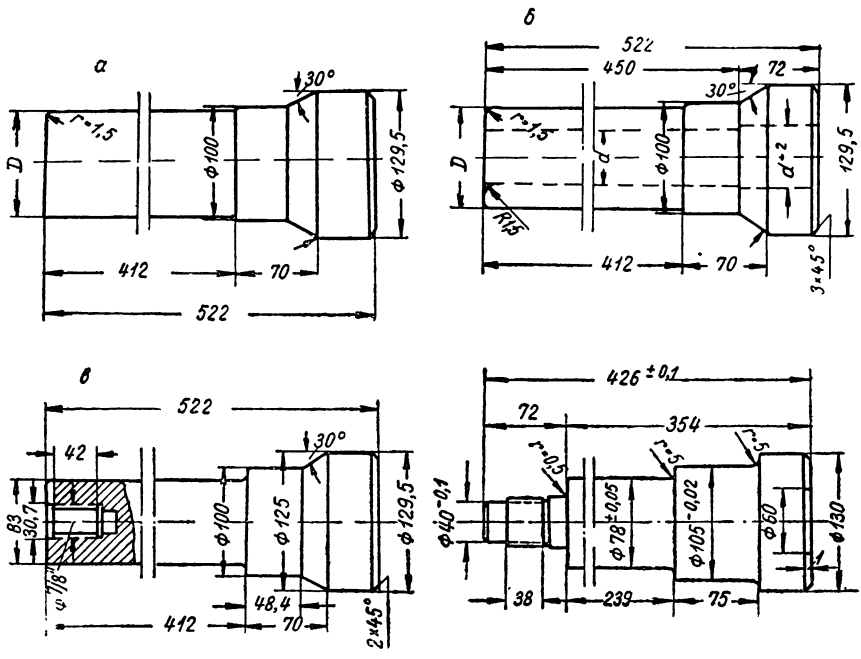


Рис. 53. Шплинтоны вертикальных прессов:
а — прутковые; *б, в, г* — трубные

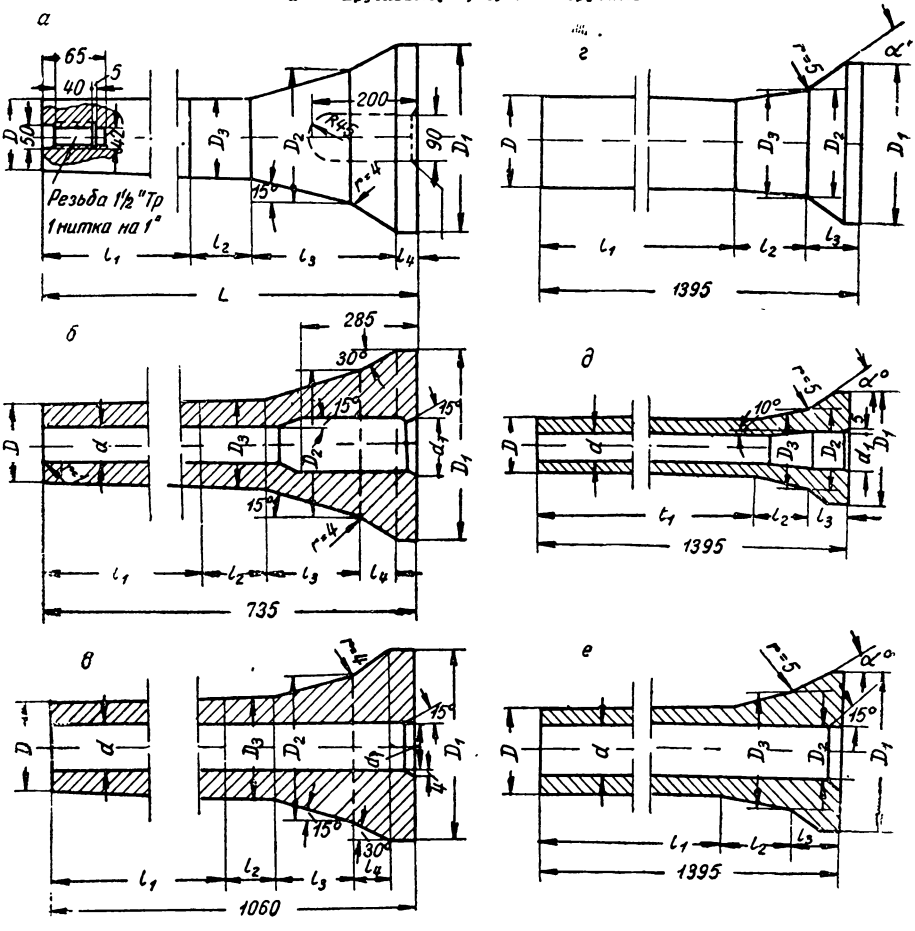


Рис 54 Шплинтоны горизонтальных прессов
а, г — прутковые; *б, в, д, е* — трубные

Таблица 107

Размеры шплинтонов для 600-*т* вертикальных прессов (рис. 53), *мм*

Диаметр контейнера	Вид шплинтона	Тип шплинтона	D	d
85	Прутковый	*а*	83	—
100	»	*а*	97	—
85	Трубный	*б*	83	32
100	»	*б*	97	52
85	»	*в*	83	—
80	»	*г*	78	—

По мере износа отверстий наружных втулок их растачивают на больший размер, соответственно увеличивая наружный диаметр внутренней втулки. Размеры корпусов и втулок контейнеров приведены в табл 109 и на рис. 55—58. На рис. 59—61 показаны схемы установки инструмента на вертикальных и горизонтальных прессах.

Конструкция вертикального пресса, представленная на рис. 60, позволяет менять матрицы после каждого прессования. В этом случае одновременно в работе находится две-три матрицы, что предупреждает их перегрев. Для удаления матрицы ползун *10* отводится в сторону и матрица *8* шплинтоном *3* выталкивается из контейнера. При движении ползуна опорное кольцо *9* отсекает трубу от пресс-остатка и труба падает в шахту пресса. Освобождение матрицы от пресс-остатка осуществляется на специальном прессе. Размер опорного кольца показан на рис. 62.

Таблица 108

Размеры шплинтонов для горизонтальных прессов (рис. 54), *мм*

Сила давления пресса, *т*	Диаметр контейнера, *мм*	Вид шплинтона	Тип шплинтона	D	D_1	D_2	D_3	d	d_1	L	l_1	l_2	l_3	l_4	α°
1500	155	Прутковый	*а*	147	357	265	150	—	—	735	300	123	200	80	—
1500	180	»	*а*	170	357	265	173	—	—	1060	400	348	200	80	—
1500	205	»	*а*	197	357	265	197	—	—	1060	826	—	122	80	—
1500	155	Трубный	*б*	147	357	265	150	71	98	—	300	123	200	80	—
1500	180	»	*б*	170	357	265	173	103	—	—	400	348	200	80	—
1500	205	»	*в*	197	357	265	197	103	—	—	826	—	122	80	—
3000	205	Прутковый	*г*	200	460	330	320	—	—	—	1035	220	140	—	30
3000	255	»	*г*	250	460	330	320	—	—	—	1045	205	145	—	30
3000	306	»	*г*	300	460	330	320	—	—	—	1045	205	145	—	30
3000	408	»	*г*	400	520	410	400	—	—	—	1250	—	145	—	15
3000	205	Трубный	*д*	200	460	330	320	105	155	—	1035	220	140	—	30
3000	255	»	*е*	250	460	330	320	150	160	—	1045	205	145	—	—
3000	306	»	*е*	300	460	330	320	215	225	—	1045	205	145	—	—
3000	408	»	*е*	400	520	410	400	285	295	—	1250	—	145	—	—

Контейнеры

Ввиду сравнительно быстрого износа внутренней поверхности контейнеров последние, как правило, делают составными. Корпус контейнера снабжается одной или двумя втулками: внутренней и наружной (рис. 55, 56). Наружные поверхности втулок и внутренние поверхности корпусов контейнеров и наружных втулок не следует полировать и смазывать. Для осуществления натяга холодные внутренние втулки давлением пресса запрессовывают в нагретые до 400—500° наружные втулки. Собранные вместе втулки запрессовывают в нагретый контейнер. Припуск на горячую посадку обычно составляет 0,2—0,3%. Во избежание отпуска разогрев контейнера свыше 500° не допускается.

В другой конструкции пресса матрица *8* находится в контейнере *6* во все время работы (см. рис. 59). В этом случае матрицу охлаждают машинным маслом с графитом, применяемым для смазки контейнера и матрицы. Для отделения трубы от пресс-остатка применяют вырубной пуансон (рис. 63) Пресс-остаток после отделения от трубы и извлечения из контейнера сколачивается с пуансона ручником. Ниже, как пример, приводятся по трем позициям основные размеры вырубного пуансона, *мм:*

	D	d	d_1
1-я	25,5	22	24
2-я	26.5	23	25
3-я	27,5	24	26

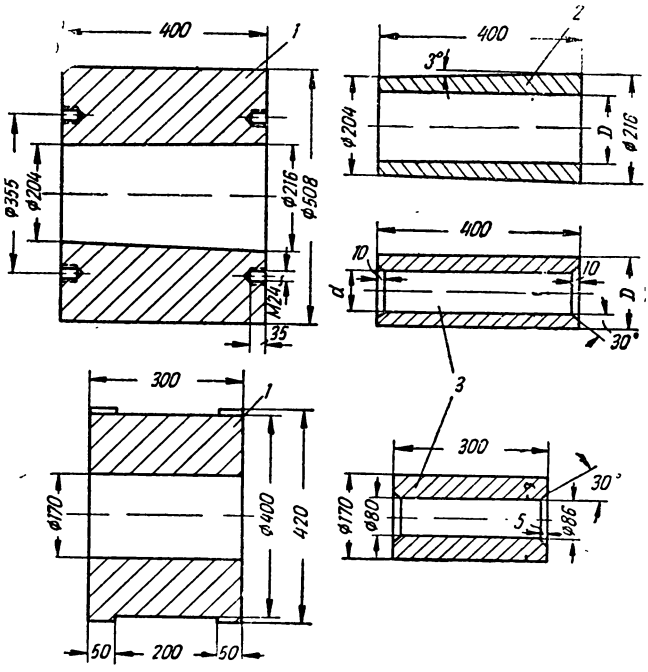


Рис. 55. Контейнеры и наружные и внутренние втулки 600-*т* вертикальных прессов:
1 — контейнер; *2* — наружная втулка; *3* — внутренняя втулка; $d = 85 \div 100$ *мм*, $D = 130 \div 140$ *мм*

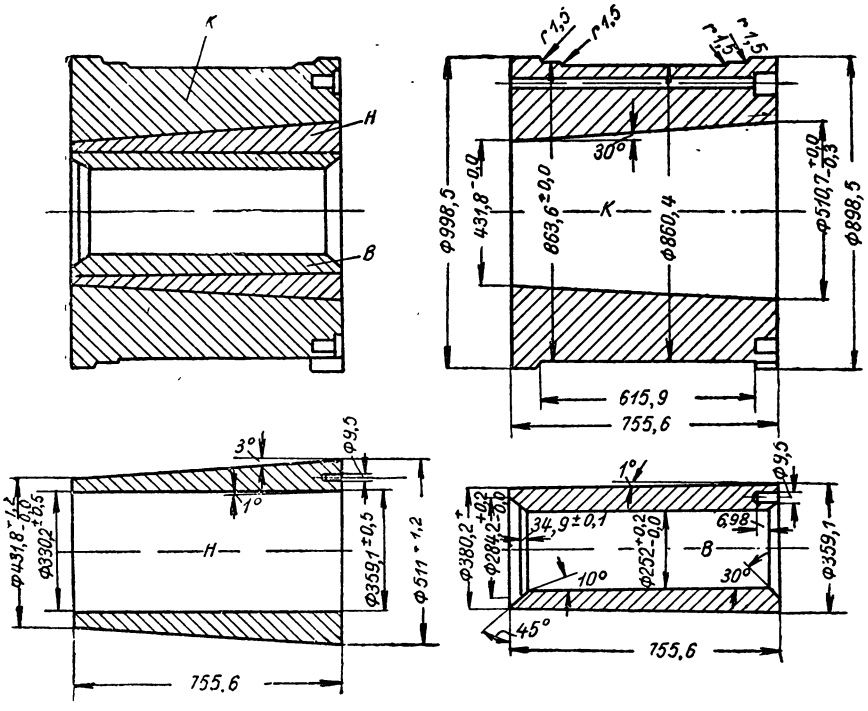
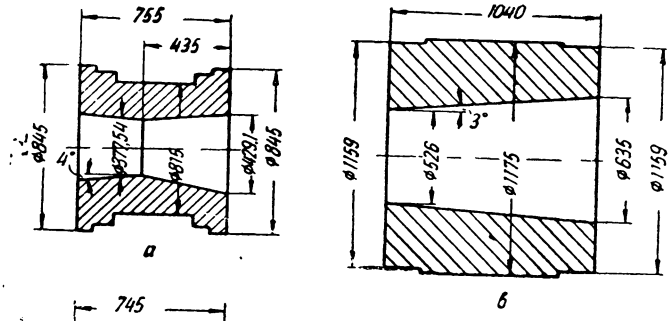


Рис. 56. Контейнер диаметром 250 *мм* 1500-*т* горизонтального пресса
К — корпус контейнера; *Н* — наружная втулка; *В* — внутренняя втулка



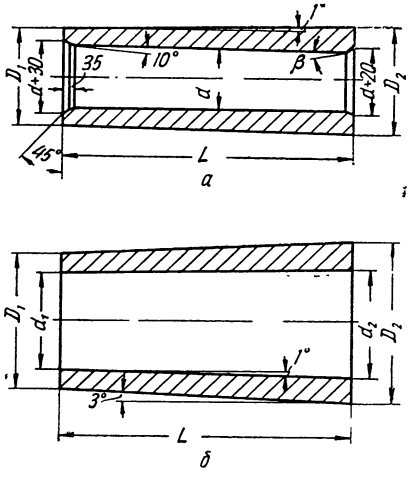


Рис. 58. Втулки горизонтальных 1500- и 3000-*т* прессов:
а — внутренние; *б* — наружные

Рис. 57. Корпусы контейнеров горизонтальных прессов:
а — контейнер диаметром 155 *мм* 1500-*т* пресса; *б* — контейнер диаметром 180 и 205 *мм* 1500-*т* пресса; *в* — контейнер диаметром 205 и 408 *мм* 3000-*т* пресса

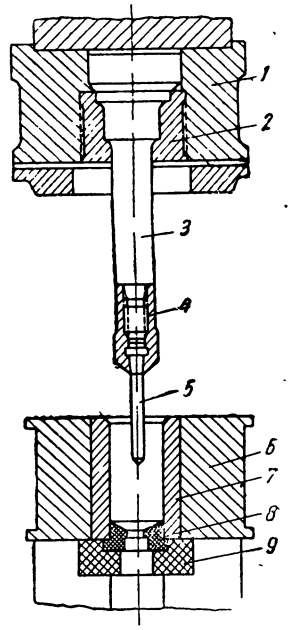
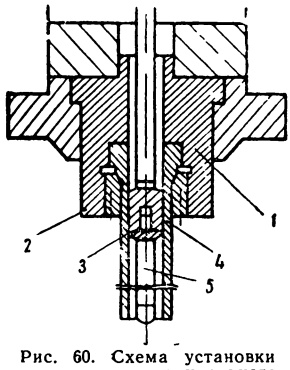


Рис. 59. Схема установки инструмента вертикального 600-*т* пресса без независимого движения иглы:
1 — шплинтонодержатель; *2* — гайка; *3* — шплинтон; *4* — иглодержатель; *5* — игла; *6* — контейнер; *7* — втулка; *8* — матрица; *9* — опорное кольцо

Таблица 109

Размер втулок для контейнеров горизонтальных прессов (рис. 56, 58), *мм*

Сила давления пресса, *т*	Диаметр контейнера, *мм*	Втулки внутренние (*B*)					Втулки наружные (*H*)				
		d	D_1	D_2	*L*	*з*	d_1	d_2	D_1	D_2	*L*
1500	155	155	273,1	287,3	435	30	273,1	287,3	377,5	429,1	435
1500	180	180	262,7	286,4	755	30	262,7	286,4	350	429,1	755
1500	205	205	290	315	755	30	290	315	350	429,1	755
1500	250	252	330,2	359,1	755	30	330,2	359,1	431,8	511,0	755
3000	205	205	310	356,3	1040	25	310	356,3	526	635	1040
3000	255	255	412	448,3	1040	25	412	448,3	526	635	1040
3000	306	306	410	446,3	1040	25	410	446,3	526	635	1040
3000	408	408	526	635	1040	25	—	—	—	—	—



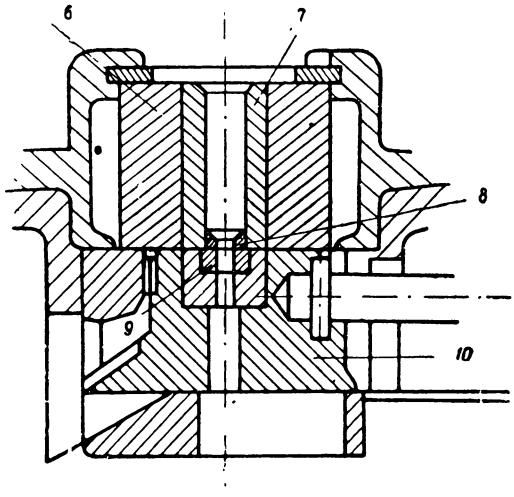


Рис. 60. Схема установки инструмента вертикального 600-т пресса с независимым движением иглы:
1 — шплинтонодержатель; *2* — гайка; *3* — шплинтон; *4* — иглодержатель; *5* — игла; *6* — контейнер; *7*—втулка; *8* — матрица; *9*—опорное кольцо; *10* — ползун

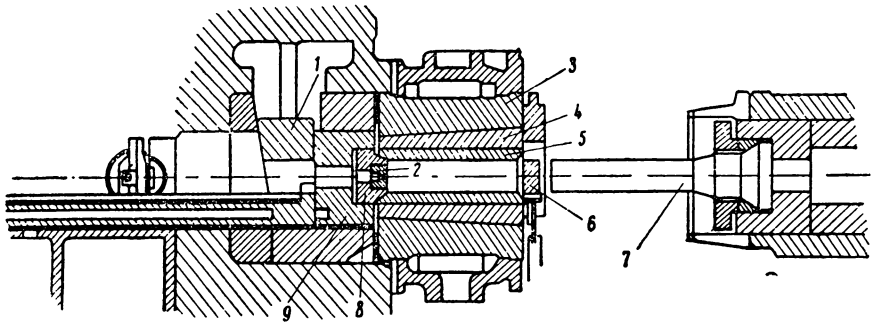


Рис. 61. Схема установки инструмента горизонтального пресса:
1 — клиновой затвор; *2* — матрица; *3* — контейнер; *4* и *5* —наружная и внутренняя втулки; *6* —пресс-шайба; *7* — шплинтон; *8* — матрицедержатель; *9* — головка матрицедержателя

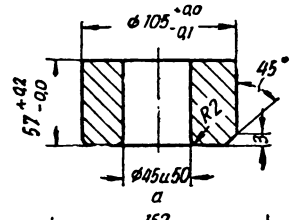
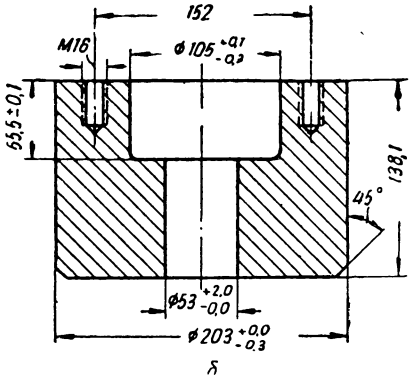


Рис. 62. Опорное кольцо (*а*) и держатель (*б*)



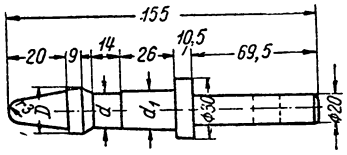
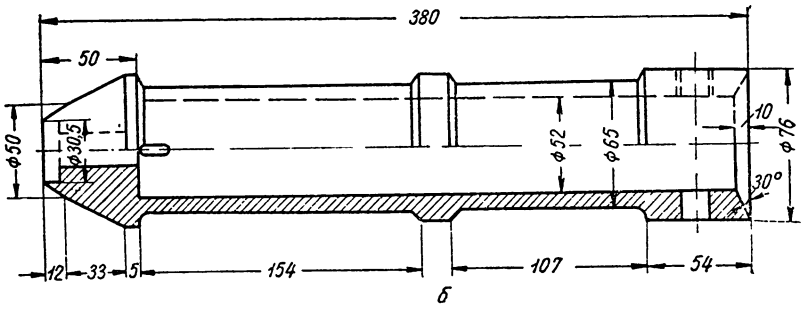


Рис. 63. Вырубной пуансон (*а*) и пуансонодержатель к контейнеру 80 *мм* (*б*)

а



б

2. Волочильный инструмент

Основным рабочим инструментом при волочении труб и прутков являются волоки и оправки.

Волоки

Волоки по назначению делят на трубные с углом волочения $\alpha = 12 \div 15°$ и прутковые с углом волочения $\alpha = 6 \div 9°$. Для волочения квадратных, шестигранных труб и прутков применяют волоки соответствующего сечения. В табл. 110 и на рис. 64 приведены размеры волок для волочения труб и прутков.

В зависимости от существующих допусков на готовые изделия и принятых схем волочения интервал изменения размеров трубных волок диаметром до 50 *мм* берут равным 0,1 *мм*, для волок размером от 51 до 100 *мм* — 0,5 *мм* и для размеров свыше 100 *мм* — 1 *мм*.

Таблица 110

Размеры стальных волок для волочения труб и прутков (рис. 64), *мм*

Позиция	Протягиваемые изделия и тип волоки	*d*	*D*	*H*	*h*	α°	*R*	*r*
1	Тонкостенные радиаторные трубы, тип волоки *а*	4—10	60	15	1—1,5	15	—	0,75
2		10,1—15	60	15	1,5—2	15	—	1,0
3		15,1—26	60	15	2—2,5	15	—	1,5
4	Трубы всех размеров, тип волоки *б*	3—10	92	25	1	12	5	—
5		11—20	92	25	1	12	5	—
6		21—30	92	25	1,5	12	5	—
7		31—40	92	25	2	12	5	—
8		41—50	110	35	2,5	12	5	—
9		51—60	110	35	2,5	12	6	—
10		61—70	160	50	3	12	6	—
11		71—80	160	50	4	12	6	—
12		81—100	160	50	4	12	6	—
13		101—120	250	50	4,5	12	6	—
14		121—140	250	50	5	12	6	—
15		141—160	350	50	5	12	6	—
16		161—200	450	55	6	12	7	—
17		201—320	550	55	6	12	7	—
18		321—400	550	55	6	12	7	—
19	Прутки и трубы при одновременной протяжке двух штук, тип волоки *в*	5—10	92	25	5	9	5	—
20		11—20	92	25	6	9	5	—
21		21—25	92	25	8	9	5	—
22		26—40	110	35	10	9	5	—

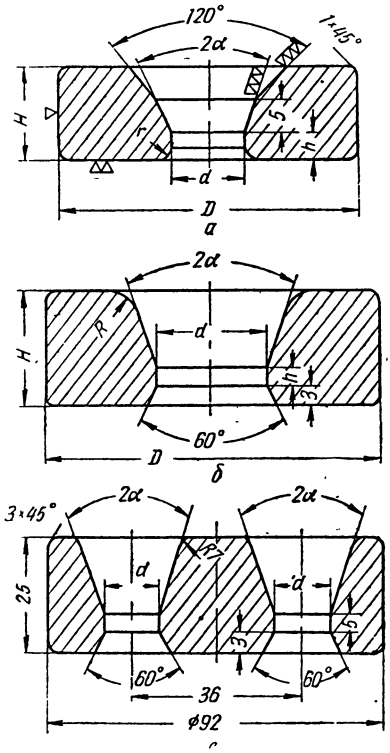


Рис. 64. Типы волок:
а — для волочения радиаторных трубок; *б*—для волочения труб и прутков; *в* — для одновременного волочения труб без оправки и прутков

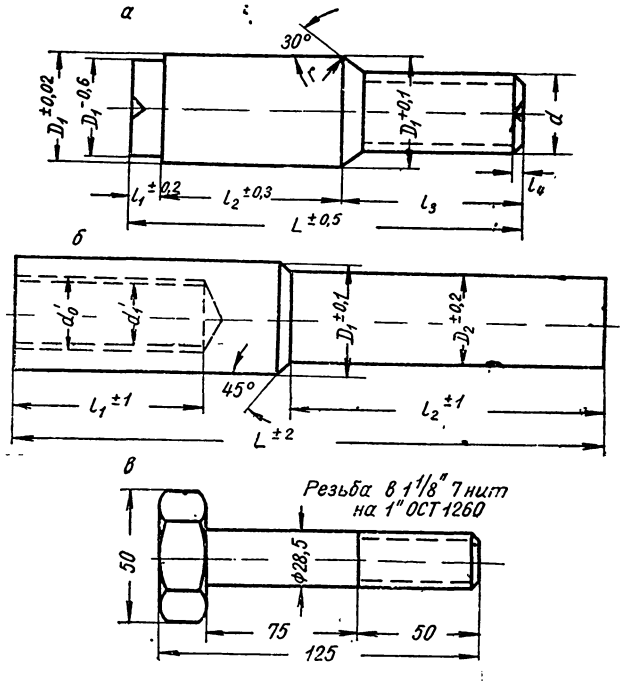


Рис. 65. Резьбовая оправка для волочения труб и мундштук для укрепления ее на волочильном болте:
а — оправка; *б* — мундштук; *в* — шпилька для закрепления оправок диаметром 61—75 *мм* в мундштуке диаметром 41 *мм*

Оправки

Оправки по способу их закрепления на волочильном болте изготовляют с резьбой (рис. 65) и отверстием (рис. 66). Оправки с рабочим диаметром от 8 до 60 *мм* обычно делают с резьбой (табл. 111) и укрепляют их в мундштуках (табл. 112), привариваемых к волочильным болтам. Оправки диаметром от 61 до 75 *мм* делают с отверстием и укрепляют их в мундштуках при помощи шпилек (см. рис. 65). Более крупные оправки с отверстиями (табл. 113) укрепляют на волочильных болтах, снаб-

Таблица 111

Размеры резьбовых оправок для волочения круглых труб (рис. 65), *мм*

Позиция	Номинальный диаметр, *мм*	D_1	d	l_1	l_2	l_3	l_4	L	r	Резьба
1	8—10	D — 0,05	6	5	30	32	1,5	67	1,5	1М6×0,75 ОСТ 271
2	11—13	D — 0,05	8	5	30	32	1,5	67	1,5	1М8×1 ОСТ 271
3	14—18	D — 0,05	10	5	30	32	1,5	67	1,5	1М10×1 ОСТ 271
4	19—24	D — 0,05	14	5	35	40	1,5	80	1,5	1М14×1,5 ОСТ 271
5	25—32	D — 0,05	18	5	35	40	1,5	80	1,5	1М18×1,5 ОСТ 271
6	33—41	D — 0,05	24	7	44	49	2	100	2	1М24×2 ОСТ 271
7	42—60	D — 0,05	28—25	7	44	49	2	100	2	В 1 1/8" 7 нит. на 1" ОСТ 1260

Примечание. Размер D_1 указан под хромирование; толщина слоя хрома 0,025—0,030 *мм*

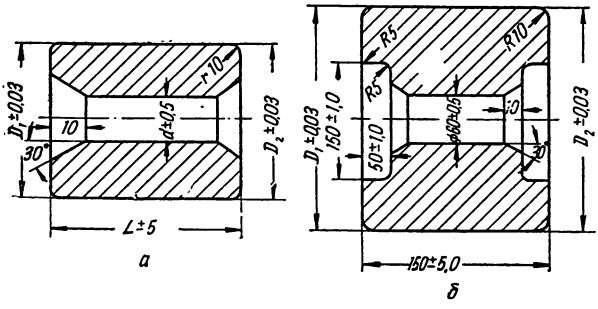


Рис. 66. Оправки с отверстием для крупных труб: *а* — оправки диаметром от 61 до 250 *мм*; *б* — оправки диаметром от 251 до 400 *мм*

Таблица 112

Размеры мундштуков для резьбовых оправок (рис. 65), *мм*

Позиция	Диаметр оправок	D_1	D_2	l_1	l_2	L	d'_0	d'_1	Сверление под резьбу	Резьба
1	8—10	8	7	35	110	180	6,068	5,026	5	1М6×0,75 ОСТ 271
2	11—13	10,5	9	35	110	180	8,090	6,701	6,7	1М8×1 ОСТ 271
3	14—18	13,5	12	35	110	180	10,090	8,701	8,7	1М10×1 ОСТ 271
4	19—24	18,5	16	45	110	180	14,135	12,051	12,1	1М14×1,5 ОСТ 271
5	25—32	24,5	21	45	110	180	18,135	16,051	16,1	1М18×1,5 ОСТ 271
6	33—41	32,5	27	52	110	200	24,180	21,402	21,4	1М24×2 ОСТ 271
7	42—60	41	32	60	320	420	28,575	24,460	24,5	В $1^1/_8$″ 7 нит. на 1 ОСТ 1260

Таблица 113

Размеры оправок с отверстием для волочения круглых труб (рис. 66), *мм*

Позиция	1	2	3	4	5
Номинальный диаметр...	61—75	76—110	111—150	151—200	201—250
L	80	80	120	135	150
d	30	40	46	60	60

Таблица 114

Размеры наконечников волочильных болтов для оправок с отверстиями (рис. 67), *мм*

Позиция	D		Резьба
1	55	38	В $1^1/_2$″ 6 нит. на 1″ ОСТ 1260
2	65	44	В $1^3/_4$″ 5 нит. на 1″ ОСТ 1260

женных наконечниками с гайками (табл. 114, рис. 67).

Интервал изменения размеров оправок берут равным 1 *мм*. Рабочую часть оправок делают с конусом от 0,1 до 0,3 *мм*, что позволяет регулировать толщину стенки труб в процессе настройки стана. На переднем конце резьбовых оправок иногда делают уступ (см. рис. 65), который способствует сокращению холостых протяжек. В табл. 115 приведены размеры оправок с отверстиями в процессе их изготовления.

Для волочения труб в бухтах и труб значительной длины применяют свободные (плавающие) оправки, размеры которых увязывают с размерами волок (табл. 116, рис. 68). Дополнительный конус l_3 у оправок типа *б* служит для облегчения ввода оправок в отверстие мелких трубок, когда заусенцы, остающиеся после резки, умень-

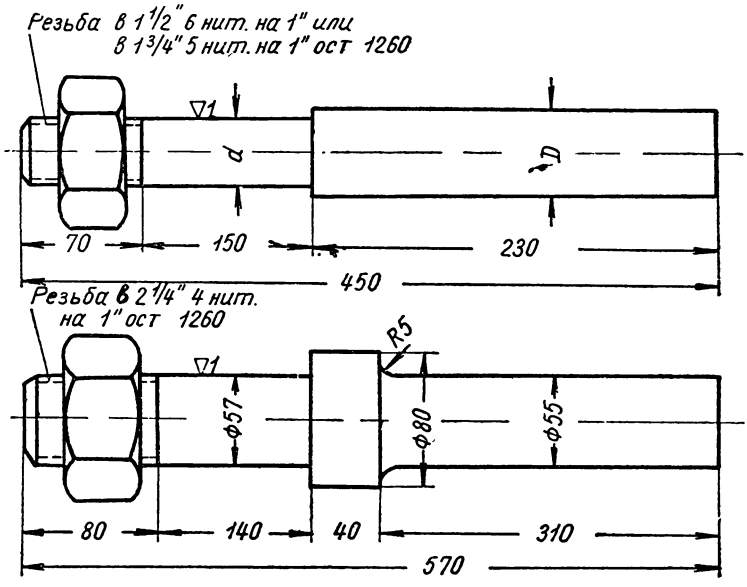


Рис. 67. Наконечники волочильных болтов, применяемых для укрепления оправок с отверстием

Таблица 115

Изменение диаметра оправок с отверстием в процессе их изготовления (рис. 66), *мм*

Номинальный диаметр	Тип оправки	Конусность	Диаметры оправок по операциям		
			после обточки	после шлифовки, полировки	после хромирования
75—150	*а*	D_1 D_2	$D+1$ $D+1$	$D-0,1$ $D+0,2$	D $D+0,3$
151—250	*а*	D_1 D_2	$D+1,5$ $D+1,5$	$D-0,1$ $D+0,2$	D $D+0,3$
251—400	*б*	D_2 D_2	$D+2$ $D+2$	$D-0,1$ $D+0,2$	D $D+0,3$
Допуск	—	—	$\pm 0,2$	$\pm 0,03$	$\pm 0,03$

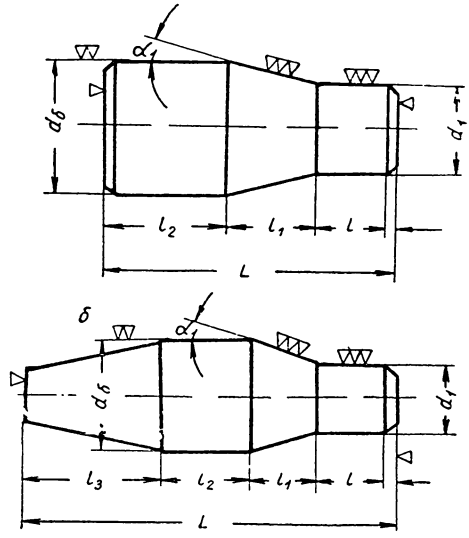


Рис. 68. Типы свободных оправок: *а* — для труб с внутренним диаметром 12 *мм* и выше; *б* — то же, для мелких труб

Примеры волочения труб на свободных оправках (рис. 68) Таблица 116

Размеры труб, *мм*				Размеры волок, *мм*			Размеры свободных оправок, *мм*								Тип оправки
до волочения		после волочения		D_1	$\alpha°$	h	d_1	$d_б$	$\alpha_1°$	l	l_1	l_2	l_3	L	
$D \times d$	S	$D_1 \times d_1$	S_1												
33,8×30	1,9	29,2×26	1,6	29,2	12	2	26	29,5	9	8	22	20	—	50	*а*
22,4×20	1,2	18,2×16	1,1	18,2	12	1,5	16	19	9	7	19	20	—	46	*а*
14,9×13	0,95	11,7×10	0,85	11,7	12	1,0	10	12,5	9	6	16	16	—	38	*а*
11×9	1,0	8×6	1,0	8	12	1,0	6	8,5	9	6	16	16	16	54	*б*

шают отверстие у торца трубок. Краткая технология изготовления свободных оправок из твердых сплавов приведена в работе [36].

Для раздачи, обточки и волочения крупных труб применяют стержни (табл. 117, рис. 69) длиной 3 *м* и диаметром 265—375 *мм*. Материалом для стержней служит чугун марки Сч 15—32.

Размеры обжимных колец и конусов, применяемых при волочении крупных труб с ласками, приведены на рис. 70.

Качество обработки рабочих поверхностей волок и оправок после шлифовки и полировки должно соответствовать 8—10 классам точности.

Таблица 117

Размеры стержней для раздачи, обточки и волочения труб крупного размера (рис. 69), *мм*

Позиция	D	d	Материал
1	372	220	Сч 15—32
2	265	150	Сч 15—32

3. Инструмент станов холодной прокатки труб

В табл. 118 и 119 и на рис. 71 приведены основные размеры калибров и оправок станов холодной прокатки труб — ХПТ.

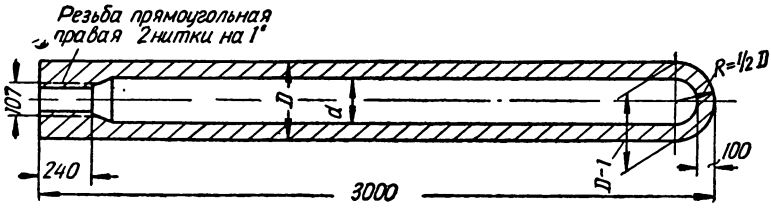


Рис. 69. Стержень для раздачи и волочения крупных труб

Таблица 118

Размеры калибров станов холодной прокатки труб (рис. 71), *мм*

Стан	D	D_1	D_2	H	B	K	C
ХПТ 1½"	279,9	228	220	120	90	45	5
ХПТ 2½"	337,9	258,03	250	145	115	57,5	15

Процесс изготовления калибров и оправок включает ковку, отжиг, механическую обработку, закалку, отпуск, шлифовку и полировку.

Нагрев заготовок из стали марки ШХ15 перед ковкой и подогрев их в процессе ковки, а также отжиг поковок перед механической обработкой осуществляют по графикам

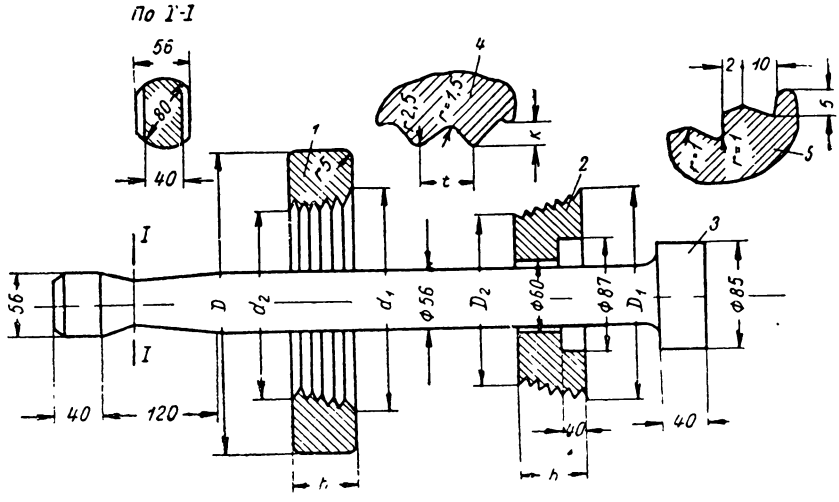


Рис. 70 Стержень, конус и обжимное кольцо для волочения крупных труб с ласками: *1* — обжимное кольцо; *2* — конус; *3* — стержень; *4* — кольцевые выточки обжимного кольца; *5* — кольцевые выточки конуса

Обжимное кольцо: D=160—430 *мм*; d_1=95—350 *мм*; d_2=80—330 *мм*; h=45—75 *мм*; t=6—10 *мм*, K=3—5 *мм*

Конус: D_1 = 120—320 *мм*; D_2 = 100—285 *мм*; h = 60—210 *мм*

Таблица 119

Размеры оправок станов холодной прокатки труб (рис. 71), *мм*

Стан	*L*	*l*	*B*	*C*	Резьба
ХПТ 1½″	339	100	60	37	⅜″ трубная, левая
ХПТ 2½″	395	100	65	40	¾″ трубная, левая

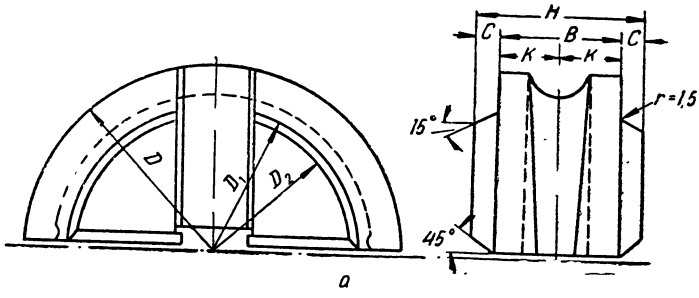


Рис. 71. Калибр (*а*) и оправка (*б*) для стана холодной прокатки

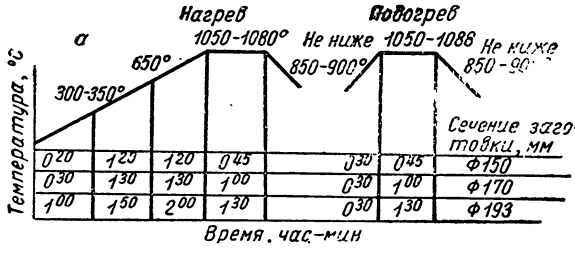
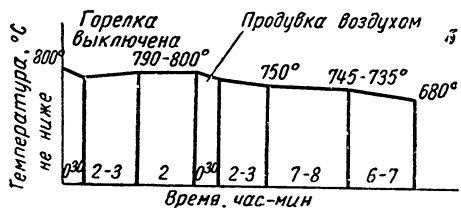


Рис. 72. Режимы термической обработки поковок и калибров из стали марки ШХ15 [26]:
а — график нагрева и подогрева поковок; *б* — график нагрева и охлаждения поковок для калибров при отжиге; *в* — график нагрева калибров перед закалкой



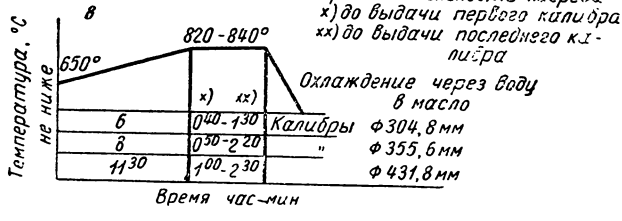


рис. 72—73. Термообработка поковок для оправок включает операцию улучшения структуры металла неполной закалкой в масле и высокотемпературным отпуском (рис. 73, *б* и *в*). Твердость металла после отжига должна быть не выше 207 H_B.

Поковки калибров обрабатывают на токарных, строгальных и сверлильных станках, а расточку ручья переменного сечения осуществляют на специальном станке (модель ЛР-40) конструкции завода им. Свердлова (рис. 74).

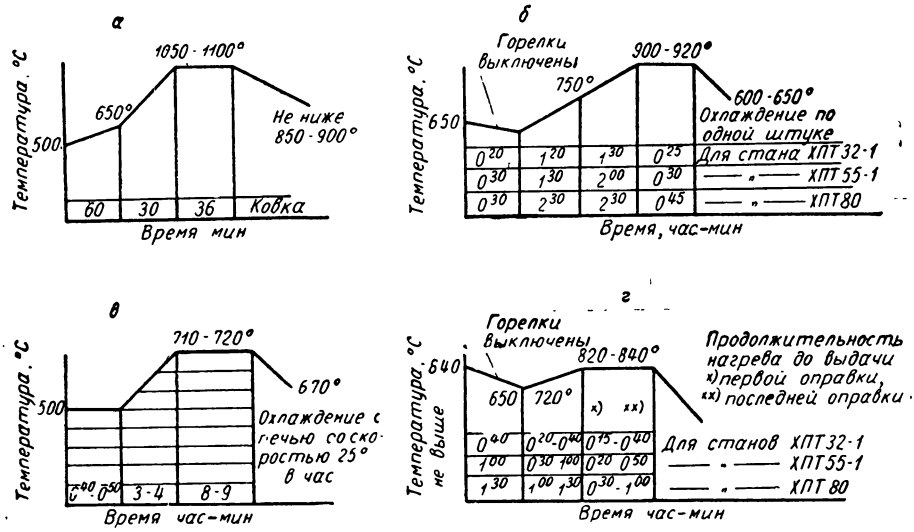


Рис. 73. Режимы термической обработки поковок и оправок из стали ШХ15: *а* — график нагрева поковок для оправок; *б* — график термической обработки поковок при неполной закалке в масле; *в* — то же, при высокотемпературном отпуске; *г* — график нагрева оправок перед закалкой

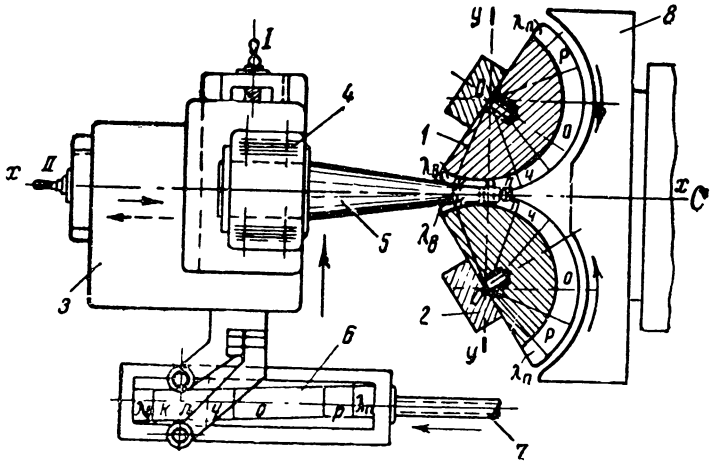


Рис. 74. Схема расточки ручья калибров

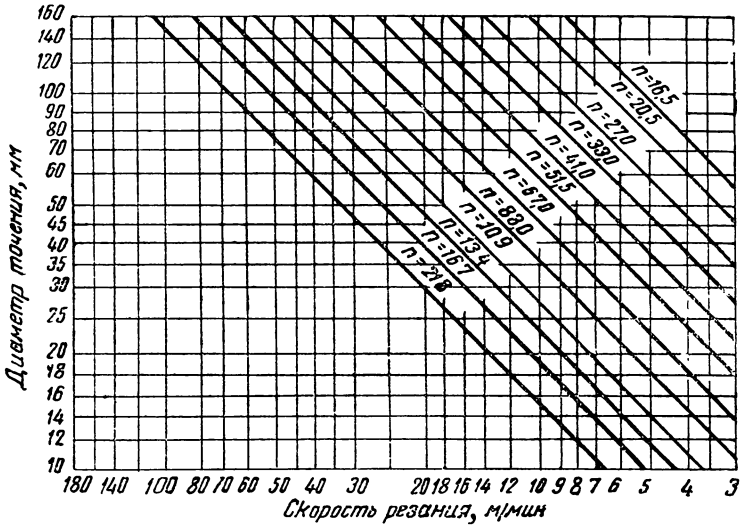


Рис. 75. Скорость резания в зависимости от числа оборотов планшайбы и диаметра точения

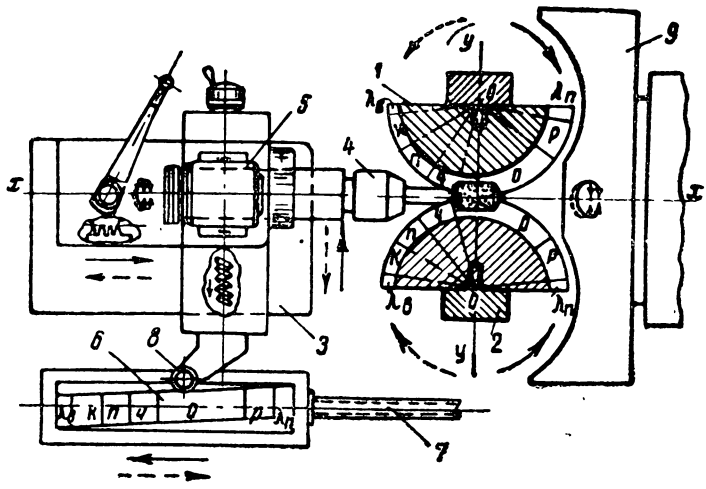


Рис. 76. Схема шлифовки ручья калибров:
1 — калибр; *2* — валок станка; *3* — суппорт; *4* — шлифовальный аппарат; *5* — электродвигатель; *6* — копир; *7* — винт привода копира; *8* — ролик суппорта; *9* — планшайба

Калибры *1*, укрепленные в валках *2* планшайбы *8*, вращаются вокруг оси *xx* и одновременно вокруг центров *O*. Резец, укрепленный в борштанге *5* резцедержателя *4* и суппорта *3*, перемещается под действием винта *7* и копира *6* и врезается в калибры. Глубина резания и продольное перемещение резца осуществляются рукоятками *I* и *II*. Скорость резания устанавливают по номограмме (рис. 75). Зазор между калибрами при расточке составляет 0,1—0,3 *мм*.

Боковые плоскости, подошву и пазы закаленных калибров шлифуют на плоскошлифовальном станке (модель ЛР-41) конструкции завода им. Свердлова, подобном расточному станку (рис. 76).

Технические характеристики станка модели ЛР-40 и станка модели ЛР-41 приводятся ниже:

	ЛР-40	ЛР-41
Предел диаметров обрабатываемых ручьев, *мм* . .	15,8—100	15,8—100
Наименьшее расстояние между осями валков, *мм*	280	280
Наибольшее расстояние между осями валков, *мм* . .	440	440
Наибольший наружный радиус валка, *мм* .	200	200
Наибольшее расстояние между боковыми поверхностями валков *мм* . .	250	250
Припуск по калибрующей части ручья на расточку (на сторону) *мм*	0,5	—
То же, по наименьшему сечению ручья на шлифовку (на сторону), *мм*	—	0,3
То же, по наибольшему сечению ручья, *мм*	—	0,7
Наибольшая скорость вращения планшайбы, об/мин.	260	160
Число оборотов шлифовального круга об/мин. .	—	12000
Габариты станка в плане, *мм* . . .	1100×2750	—
Высота станка, *мм*	1710	—
Вес станка, *кг* . .	4000	—

Планшайба станка ЛР-41 имеет 6 скоростей в пределах 46—160 об/мин. Шлифовальный круг делает до 12000 об/мин. Глубина резания в черновых проходах шлифовки ручья составляет 0,1—0,2 *мм*, а в отделочных 0,05—0,08 *мм*.

В табл. 120 приведена величина выпусков (развалки) ручья. Для прокатки толстостенных труб развалку берут по верхнему пределу.

Для шлифовки ручьев у калибров применяют электрокорундовые круги на керамической связке зернистостью 36—46 и твердостью СМ2. Для полировки ручьев применяют фетровые круги с нанесенной на них пастой, укрепленные на гибком валу.

Таблица 120

Величина углов выпусков у ручья калибров станов ХПТ [26]

Наружный диаметр калибров *мм*	Величина β, град.				
	в конце калибрующего участка	в конце предотделочного участка	в конце чернового участка	в конце обжимного участка	в начале участка редуцирования
304,8	25—27	27—29	29—30	30—32	32—35
355,6	23—25	25—27	27—29	29—31	31—24
431,8	18—20	20—22	22—24	24—25	25—20

4. Материал инструмента

Основной особенностью работы прессового инструмента является периодическое (от 15 до 130 раз в час) нагревание инструмента до высоких температур с одновременным приложением значительной механической нагрузки и последующее снятие нагрузки с резким охлаждением его. Матрицы, иглы и втулки, кроме того, подвергаются истиранию обрабатываемым металлом.

В работе инструмент нагревается: матрицы — до 350—450°, иглы — до 350—550°, пресс-шайбы — до 250—450°, шплинтоны — до 200—250°, внутренние втулки — до 300—450°.

По данным Прозорова [23], максимальные напряжения в деталях инструмента, определенные расчетом по формулам теории упругости, но без учета влияния неравномерности распределения температуры, достигают величин, приведенных в табл. 121.

Таблица 121

Напряжения в деталях инструмента для прессования на 1500-*т* вертикальном прессе

Наименование инструмента	Вид напряженного состояния	Напряжение *кг/мм²*
Стержень шплинтона	Продольный изгиб и сжатие	До 160
Головка шплинтона	Сжатие	До 160
Опора шплинтона	Смятие	До 50
Опорное кольцо для матрицы	Смятие (местное)	До 210
Корпус контейнера	Растяжение	17—25
Промежуточная втулка	Растяжение и сжатие	До 7
Внутренняя втулка (рубашка)	Растяжение	10
	Сжатие	120

В результате тяжелых условий эксплуатации прессового инструмента появляются следующие виды его износа и разрушения:

1) у матриц — смятие и истирание рабочей поверхности с образованием наплыва в очке матрицы и растрескивание ее;

2) у шплинтонов вытянутость (образование шейки в середине рабочей части), поперечные и продольные трещины и разрывы;

3) у пресс-шайб — раздача, износ кромки по наружному диаметру и растрескивание;

4) у шплинтонов — смятие и скалывание рабочего торца, изгиб стебля, смятие или срыв резьбы для крепления иглы или иглодержателя;

5) у внутренних втулок — истирание внутренней поверхности и продольные разрывы.

Стали, применяемые для изготовления прессового инструмента, должны удовлетворять следующие требования:

1) сохранять при высоких температурах свою прочность и твердость;

2) быть достаточно пластичными, чтобы выдерживать сильные толчки при прессовании и термические напряжения при быстром нагреве и последующем охлаждении;

3) хорошо сопротивляться истиранию и минимально изменять объем при нагреве.

Указанным требованиям в большей мере удовлетворяют легированные стали, содержащие вольфрам и хром. В табл. 122 приведен состав основных сталей и их заменителей, применяемых в прессовании.

Для изготовления прессового инструмента рекомендуются также стали марок, указанных в табл. 123.

По данным Прозорова [23], стойкость этих сталей по сравнению со стойкостью стали марок 3Х2В8 и 4ХВ2С значительно выше.

Для прутковых матриц с отверстием 6—15 *мм* применяют заготовки из металлокерамических сплавов (табл. 124 и 125), которые запрессовывают в горячие обоймы из стали 3Х2В8. Диаметр гнезда обоймы делают на 1% меньше наружного диаметра шлифованной металлокерамической заготовки. Для прессования изделий из титана и его сплавов применяют матрицы из стали 3Х2В8 с наплавкой рабочего пояска твердым сплавом ВК2.

Представляет интерес замена дорогих металлокерамических твердых сплавов, содержащих вольфрам и никель, более дешевым минералокерамическим материалом ЦМ332. Этот материал состоит в основном из окиси алюминия (Al_2O_3) и незначительного количества (до 1%) окислов некоторых металлов. Для получения изделий из минералокерамики смесь прессуют, сушат и спекают при 1700°. Особо ценными свойствами минералокерамики являются высокая теплостойкость и износоустойчивость, а также более высокая, чем у победита, температура слипания с обрабатываемым металлом. К недостаткам минералокерамического материала ЦМ332 относится сравнительно низкая механическая прочность, что ограничивает область его применения (табл. 126).

Для упрочнения минералокерамические матрицы запрессовывают в обоймы из стали 3Х2В8.

Закрепление минералокерамических матриц в обоймы представляет значительные трудности. Неправильно подобранные условия закрепления заготовок в обоймы приводят к их разрушению. По данным А. А. Мальцева [13], заготовки из минералокерамических сплавов следует закреплять в обоймы при помощи штампа (рис. 77). Диаметр гнезда штампа делают равным наружному диаметру обоймы, а глубину гнезда берут на 2 *мм* меньше ее высоты. Гнездо штампа выполняется с конусом около 0,2 *мм*. Обойму, вместе с вставленной в нее заготовкой, нагревают до 1200—1250° и затем помещают в штамп. Пуансон пресса вдавливает обойму в гнездо штампа, и обойма плотно обжимает заготовку.

Матрицы из минералокерамики форм 20 и 30, выпускаемые Московским комбинатом твердых сплавов по техническим условиям ТУВМ 1-432—56, применяются для прессования круглой, шестигранной и квадратной заготовки размером 5,8—9,8 *мм*.

Материал для волок и оправок должен обладать возможно большей твердостью, прочностью, плотностью и высокой износоустойчивостью. Этим требованиям удовлетворяют углеродистые и некоторые легированные инструментальные стали и твердые металлокерамические сплавы. Состав и некоторые физико-механические свойства сталей и твердых сплавов приведены в табл. 122, 125 и 126. Инструмент, изготовленный из углеродистой инструментальной стали, применяют в закаленном и хромированном состоянии.

За последнее время для волочения мелких прутков диаметром 5—6 *мм* начали применять также волоки из минералокерамики ЦМ332. По ГОСТ 3919—47 и 2339—49 по-

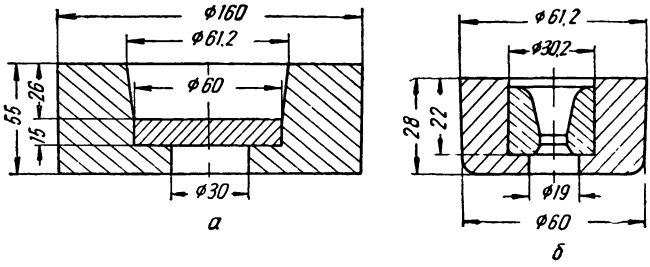


Рис. 77. Штамп (*а*) и обойма (*б*) с минералокерамической заготовкой

ставляются волоки с отверстием от 2,3 до 5,7 *мм*. По ТУВМ1-263—55 поставляются также волоки размерами от 5,7 до 14,5 *мм* (табл. 127).

Волоки диаметром до 40—90 *мм* изготовляют преимущественно из металлокерамического сплава ВК6 или ВК8. Для изготовления квадратных и шестигранных волок применяют твердые сплавы марок ВК8 и ВК10. Размеры заготовок из твердых сплавов для волок приведены в табл. 128 и 129 и на рис. 78 и 79. Более крупные волоки изготовляют из стали марки У8А.

Ввиду сравнительно невысокой прочности на разрыв металлокерамических сплавов, волоки, изготовляемые из них, запрессовываются в обоймы из стали марки У8А.

Наружную цилиндрическую поверхность заготовки из металлокерамического сплава шлифуют; чтобы избежать сострагивания металла со стенок гнезда обоймы, на входной грани делают фаску $r=1{,}5\div3$ *мм*. Для обеспечения необходимого натяга внутренний диаметр обоймы делают на 1% меньше наружного диаметра заготовки. В обойму, нагретую до 750—800°, вводят заготовку давлением пресса. Охлаждают запрессованную заготовку в ящике с угольной крошкой.

Волоки для квадратных прутков и прямоугольных полос иногда делают составными с передвижными вставками из твердого сплава (рис. 80).

Оправки изготовляют преимущественно из стали марки У8А. Только для крупных оправок диаметром свыше 250 *мм* иногда применяют сталь марки У7А. Наряду со сталью, для оправок диаметром 14—46 *мм* применяют твердый сплав ВК15 (табл. 130). Повышенное содержание кобальта в сплаве ВК15, по сравнению со сплавом КВ8, делает сплав несколько пластичней, а поэтому и более стойким в условиях работы оправок.

Углеродистые и легированные стали, применяемые для изготовления

Марка стали	ГОСТ и ТУ	Химический				
		углерод	марганец	кремний	хром	Никель
У8А	Г СТ 1435—54*	0,75—0,84	0,15—0,30	0,15—0,30	⩽0,15	⩽0,20
У10А	То же	0,95—1,04	0,15—0,30	0,15—0,30	⩽0,15	⩽0,20
ХГ	ГОСТ 5950—51*	1,3—1,6	0,45—0,70	⩽0,35	1,3—1,6	⩽0,25
ШХ15	ГОСТ 801—47*	0,95—1,10	0,20—0,40	0,15—0,35	1,3—1,65	⩽0,3
9Х	ГОСТ 5950—51*	0,80—0,95	0,25—0,35	0,25—0,45	1,4—1,7	⩽0,25
7Х3	ГОСТ 5950—51*	0,60—0,75	0,20—0,40	⩽0,35	3,2—3,8	⩽0,25
Х12М	То же	1,45—1,70	⩽0,35	⩽0,40	1,10—12,5	⩽0,35
3Х2В8	То же*	0,30—0,40	0,20—0,40	⩽0,35	2,2—2,7	⩽0,25
4Х8В2	То же*	0,35—0,45	0,20—0,40	⩽0,35	7,0—9,0	⩽0,25
4ХВ2С	То же*	0,35—0,44	0,20—0,40	0,60—0,90	1,0—1,3	⩽0,25
5ХНМ	То же*	0,50—0,60	0,50—0,80	⩽0,35	0,5—0,8	1,4—1,8
5ХГМ	То же*	0,50—0,60	1,2—1,6	0,25—0,65	0,6—0,9	⩽0,25
5ХВ2С	То же*	0,45—0,54	0,20—0,40	0,50—0,80	1,0—1,3	⩽0,25
4ХНВ	ТУ 512	0,35—0,45	0,30—0,60	0,35	1,2—1,5	3,8—4,5
38ХМЮА	ГОСТ 4543—48*[2]	0,35—0,42	0,30—0,60	0,17—0,37	1,35—1,65	⩽0,40
90ХФА	То же	0,17—0,25	0,40—0,70	0,17—0,37	0,80—1,10	⩽0,40
30ХГСА	ГОСТ 2672—52*[2]	0,28—0,35	0,8—1,1	0,9—1,2	0,8—1,1	⩽0.40
ЭИ617	ЧМТУ 5211—55*[3]	⩽ 0,12	⩽0,50	⩽0,60	13,0—16,0	Основа
ЭИ696	ЧМТУ 5371—56*[3]	⩽0,10	⩽1,0	⩽1,0	10,0—12,5	18,0—21,0
Р18	ГОСТ 5952—51*[4]	0,70—0,80	⩽0,40	⩽0,40	3,8—4,4	⩽0,40
Р9	ГОСТ 5952—51*[4]	0,85—0,95	⩽0,40	⩽0,40	3,8—4,4	⩽0,40

* Сортамент ГОСТ 1133—41.
*[2] То же, ГОСТ 2590—51.
*[3] То же, ГОСТ 5650—51.
*[4] То же, ЧМТУ 5211—55 и 5095—55.

Таблица 122

прессового, волочильного и прокатного инструмента

состав, %							
вольфрам	ванадий	молибден	алюминий	медь	титан	прочие элементы	Назначение стали
—	—	—	—	⩽0,25	—	—	Волоки и оправки
—	—	—	—	⩽0,25	—	—	То же
—	—	—	—	⩽0,25	—	—	Оправки для станов ХПТ
—	—	—	—	⩽0,25	—	—	Калибры для станов ХПТ
—	—	—	—	—	—	—	То же и оправки
—	—	—	—	—	—	—	Шплинтоны (заменитель)
—	0,15—0,30	0,40—0,60	—	—	—	—	Калибры и оправки
7,5—9,0	0,20—0,50	—	—	—	—	—	Матрицы всех размеров, иглы до диам. 35 *мм*, пресс-шайбы до диам. 302 *мм*, иглодержатели и втулки контейнеров вертикальных прессов
2,0—3,0	—	—	—	—	—	—	Заменитель стали для иглодержателей
2,0—2,5	—	—	—	—	—	—	Иглы диам 40—265 *мм*, пресс-шайбы диам свыше 302 *мм*, опорные кольца для матриц, переходные патроны
—	—	0,15—0,30	—	—	—	—	Заменитель стали для втулок и корпусов контейнеров
—	—	0,15—0,30	—	—	—	—	Заменитель стали для втулок
2,0—2,5	—	—	—	—	—	—	Заменитель 3Х2В8 для втулок контейнеров
0,5—1,0	—	—	—	—	—	—	Матрицедержатели, иглы диам. 180—265 *мм*, шплинтоны, иглодержатели, втулки контейнеров, ножи для отделения пресс-остатков
—	—	0,15—0,25	0,7—1,1	⩽0,25	—	—	Втулки контейнеров
—	0,10—0,20	—	—	⩽0,25	—	—	Калибры и оправки станов ХПТ
—	—	—	—	⩽0,25	—	—	Заменитель стали для шплинтонов
5,0—7,0	0,1—0,5	2,0—4,0	1,7—2,3	⩽0,07	1,8—2,3	железо ⩽5,0 церий ⩽0,02 бор 0,02	Заменитель стали для игл
—	—	—	⩽0,8	—	2,6—3,2	бор 0,015—0,020	То же
17,9—19,0	1,0—1,4	⩽0,30	—	—	—	—	Сегменты для дисковых пил, резцы
8,5—10,0	2,0—2,6	⩽0,30	—	—	—	—	То же

Таблица 123

Химический состав и режим термической обработки сталей для инструментов

Марка стали и назначение	Содержание элементов, %								Режим термической обработки °С		Механические свойства после термической обработки	
	углерод	марганец	кремний	хром	никель	вольфрам	кобальт	молибден	закалка	отпуск	σ_b кг/мм²	H_B
А для матриц и их деталей	0,40—0,50	0,80—1,00	1,2—1,5	13,0—15,0	13,0—15,0	2,0—3,00	—	—	—	—	110—120	425—455
Б для матриц, втулок и шплинтонов	0,37—0,45	12,0—13,0	1,4—1,8	14,0—15,5	—	⩽2,0	—	—	1100—1150 в воду	650—750	150—160	455—495
В то же, и для игл	0,30—0,40	⩽0,30	⩽0,30	2,0—2,5	—	11,0—13,0	1,5—2,5	0,10—0,20	1100—1150 в масло	600—650	160—170	465—515
Г для шплинтонов и игл	0,30—0,40	0,30—0,50	0,40—0,60	0,9—1.2	3,5—4,5	3,5—4,5	—	0,30—0,40	900—950 в масло	500—550	150—160	445—485

Примечание. Содержание серы и фосфора каждого не более 0,025 — 0,030%.

Таблица 124

Заготовки волок из металлокерамических сплавов для протяжки труб (ГОСТ 2330—49) и прутков (ГОСТ 3919—47) круглого сечения (рис. 78, *а*)

ГОСТ	Форма	Размеры, *мм*									Ориентировочный вес, *г*
		d	*D*	*H*	2*α*	*h*	h_1	*b*	*R*	*r*	
2330—49	Т16	0,8; 1,8; 2,8	16	8	24	1	1,5	1,5	3	1	
	Т20	2,8; 3,8; 4,7; 5,7	20	13	24	1,5	3	1,5	3	1	60
	Т30	5,7; 6,7; 7,6; 8,6; 9,6; 10,5. 11,5. 12,5; 13,5	30	18	24	2	3	1,5	4	1,5	110
	Т45	13,5. 14,5. 15,5; 17,5; 19,5. 21,5. 22,5. 23,5; 24,5; 25,5	45	24	24	3	4,5	2	5	1,5	400
	Т60	26,5. 27,5: 28,5. 29,5: 31,5. 32,5: 33,5. 34,5: 35,5	60	30	24	3,5	6	2,5	6	2	900
	Т80	37,5; 38,5 39,5; 41,5; 43,5; 44,5. 45,5. 47; 49; 50	80	35	24	4	6	2,5	7	2	1800
	Т100	51. 53; 56; 57; 59; 60; 62; 64. 67	100	40	24	5	6	2,5	8	2,5	3100
	Т120	69; 70; 72; 75; 82; 88	120	40	24	6	6	2.5	8	3	—
3919—47	Ж6	5,7; 6,7; 7,7; 8,6; 9,6; 10,5; 11,5; 12,5	30	21	12	2—3,5	3	1,5	4	—	—
	З6	7,7; 9,6; 12,5; 14,5; 15,5	35	25	14	3—3,5	4	2	5	—	—
	И6	14,5; 18,5; 19,5; 21,5; 23,5; 24,5	50	28	14	3,5—5	4,5	2	5	—	—
	К6	19,5; 24,5; 29,5; 31,5; 34,5	60	35	16	4—6	6	2,5	6	—	—
	Л6	29,5; 34,5; 39,5; 43,5	75	35	16	6—7	6	2 5	6	—	—
	М6	49; 53; 57	90	35	16	7—8	6	2,5	6	—	—
	Н6*	58. 63. 69	100	40	16	9—10	6	2,5	6	—	—
	О6*	74; 79; 84	140	50	16	10—11	8	2,5	6	—	—

* Поставляется по специальной договоренности потребителя с производителем. Технические условия на заготовки волок по ГОСТ 4368—48.

Таблица 125

Состав и физико-механические свойства твердых металлокерамических сплавов (по ГОСТ 3882—53)

Марка твердого сплава	Ориентировочный состав сплава, %			Физико-механическке свойства		
	карбид вольфрама	кобальт	карбид титана	предел прочности при изгибе *кг/мм²*	удельный вес	твердость по Роквеллу шкала А
ВК3	97	3	—	100	14,9—15,3	89,0
ВК6	94	6	—	120	14,6—15,0	88,0
ВК8	92	8	—	130	14,4—14,8	87,5
ВК10	90	10	—	135	14,2—14,1	86,0
ВК15	85	15	—	160	13,9—14,1	86,0
Т30К4	66	4	30	90	9,5—9,8	92,0
Т15К6	79	6	15	110	11,0—11,7	90,0

Таблица 126

Физико-механические свойства минералокерамических пластинок, металлокерамических твердых сплавов и быстрорежущей стали [25]

Наименование материалов	Предел прочности *кг/мм²* при изгибе	Предел прочности *кг/мм²* при сжатии	Ударная вязкость *кгм/см²*	Твердость по Роквеллу, шкала *А*	Удельный вес	Коэффициент линейного расширения в интервале 200—800°	Теплопроводность *кал/см·сек·град*	Теплоемкость *кал/г·град*	Теплостойкость °С
Минералокерамический сплав ЦМ332	30—40	400	0,05	90—93	3,83—3,93	$7,9 \cdot 10^{-6}$	0,042	0,180	1200
Т30К4	90	—	—	92,0	9,50	—	—	—	—
Т15К6	110	300	0,30	90,0	11,10	$5 \cdot 10^{-6}$	0,065	0,059	850
ВК8	130	350	0,60	88	14,40	$6 \cdot 10^{-6}$	0,140	0,040	850
Р18	370	380	0,89	79,0—81,0	8,70	$11 \cdot 10^{-6}$	0,05	—	600

Таблица 127

Заготовки волок (рис. 78) из минералокерамического сплава ЦМ332 (по ТУВМ 1-263-55)

Размеры, *мм*						
d	*D*	*H*	2α	*h*	h_1	*R*
5,7	20	13	24	1,5	3	3
7,6; 8,6; 9,6; 10,5; 11,5; 12,5; 13,5	30	18	24	2	3	4
14,5	45	24	24	3	4,5	5

Таблица 128

Заготовки волок из твердых металлокерамических сплавов ВК8 и ВК10 для протяжки шестигранных трубок (рис 78)

Позиция	Размеры, *мм*			
	диаметр окружности, вписанный в шестигранник, *d*	*D*	*H*	*h*
1	4,5; 5,5; 6,5	30	16	4
2	7,5	30	16	5
3	10,5	30	18	5
4	13,5; 16,5	45	20	6
	18,5	45	20	7
	21,5	50	25	8
	26,4	60	25	10

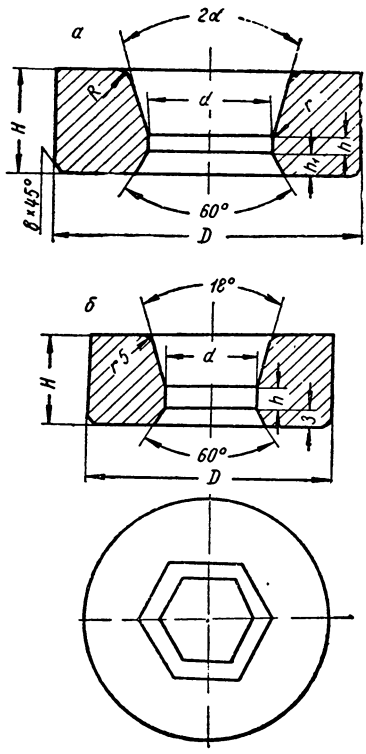


Рис. 78. Заготовка волок из твердых металлокерамических сплавов для круглых (*а*) и шестигранных (*б*) волок

Из твердого сплава у оправок изготовляют только цилиндрическую часть, выполняемую в виде втулки. По внутреннему диаметру втулки вытачивают шпильку с резьбой (рис. 81). Размеры шпилек согласовывают с размерами втулок и мундштуков. Втулку укрепляют на гладком конце шпильки при помощи латунного припоя. Разогрев

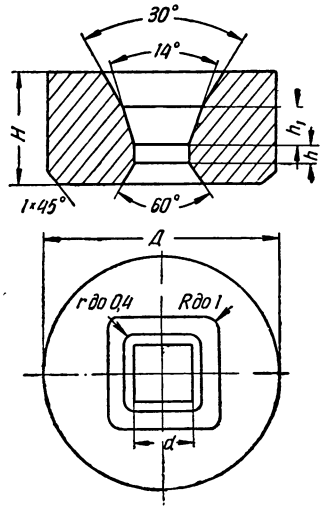


Рис. 79. Заготовка квадратных волок из твердых металлокерамических сплавов ВК8 и ВК10

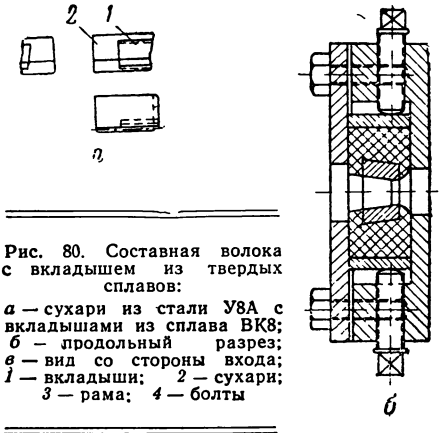


Рис. 80. Составная волока с вкладышем из твердых сплавов:
а — сухари из стали У8А с вкладышами из сплава ВК8; *б* — продольный разрез; *в* — вид со стороны входа; *1* — вкладыши; *2* — сухари; *3* — рама; *4* — болты

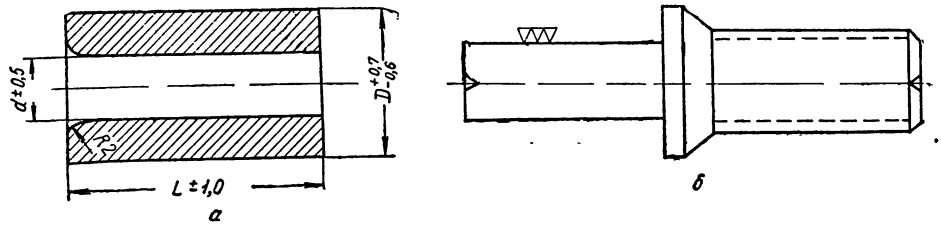


Рис. 81. Втулка (*а*) из металлокерамики и шпилька (*б*) из стали, применяемые для изготовления резьбовых волочильных оправок

Таблица 129

Заготовки волок из твердых металлокерамических сплавов ВК8 и ВК10 для протяжки квадратных профилей (рис. 79). Временные технические условия ТУВМ 1-157—54

Размеры, *мм*					
d	допуск на *d*	*D*	*H*	*h*	h_1
5,7; 6,7, 7,7; 8,7	—0,5	30±1,5	12+0,8 −0,5	3	4
9,7; 10,5; 11,5; 13,5	—0,6	50±2,0	25+1,2 −0,6	4	10
16,5; 17,5	—0,9	50±1,2	25+2,0 −1,0	4	10
21,6; 23,5; 26,5	—1,0	65±1,5	35+2,0 −1,5	5	15

Таблица 130

Заготовки втулок (рис. 81) из твердого металлокерамического сплава ВК15 для оправок, применяемых при волочении труб (по ТУВМ 1-382—56)

Позиция	Размеры, *мм*			Позиция	Размеры, *мм*			Позиция	Размеры, *мм*		
	D	*d*	*L*		*D*	*d*	*L*		*D*	*d*	*L*
1	14,6	6	30	8	22,5	10	30	15	32,6	20	35
2	15,5	7,5	31	9	23,6	10	30	16	34,6	20	35
3	16,6	6	30	10	24,6	10	30	17	36,6	20	35
4	18,6	6	30	11	25,6	12	30	18	38,6	20	35
5	19,0	10	34	12	26,6	12	30	19	40,6	25	40
6	20,6	9	30	13	28,6	12	30	20	42,6	25	40
7	21,6	9	30	14	30,6	15	35	21	44,6	25	40
								22	46,6	25	40

Примечание. Втулки позиций 2 и 5 предназначены для волочения мельхиоровых труб.

оправки с припоем до 1000—1100° производят в одновитковом высокочастотном аппарате в течение 2—3 мин.

Для волочения с утонением стенки мелких трубок диаметром 3 *мм* и менее применяют холоднотянутую полированную и шлифованную стальную проволоку «серебрянку» по ГОСТ 2589—44.

Мундштуки, наконечники и волочильные болты изготовляют из конструкционной углеродистой стали марок 20 или 40 ГОСТ 1050—52 (сортамент ГОСТ 2590—51).

Материал калибров и оправок должен обладать высокой твердостью и износоустойчивостью, чтобы инструмент при больших давлениях длительное время мог сохранять чистоту поверхности и точность размеров.

Для изготовления калибров и оправок чаще применяют стали марок ШХ15, 9Х и отчасти 4ХС, Х12М, 20ХФА, 30ХГСА (см. табл. 122).

5. Термическая обработка инструмента

Режим горячей обработки сталей, применяемых для изготовления прессового инструмента, и нормы его твердости после закалки приведены в табл. 131, 132. Стойкость прессового инструмента показана в табл 133.

Для закалки волочильных оправок рекомендуется следующий режим.

Резьбовые оправки диаметром от 8 до 24 *мм* в количестве от 5 до 25 ввертывают в планки-держатели, изготовленные из нержавеющей стали 2Х13 или Х13Н4Г9 (ГОСТ 5632—51). Держатели с оправками помещают в печь, нагретую до 780—800°. Оправки нагревают до указанной температуры и охлаждают в воде при 25—30°. В воду погружают только цилиндрическую часть оправки на ⅔ ее длины; резбовую часть оправки не замачивают. Отпуск оправок производят при температуре 180—200°. Так же, но без держателей, обрабатывают оправки диаметром от 25 до 60 *мм*. Закаленные и отпущенные оправки должны иметь твердость $R_C = 58 \div 63$.

Оправки с отверстием диаметром от 61 до 250 *мм* нагревают до 800—820° и охлаждают в воде до 300°, после чего переносят для окончательного охлаждения в масло. Отпускают эти оправки при 200°.

Таблица 131

Режимы горячей обработки легированных сталей, применяемых для прессового инструмента

Наименование операций	Марки сталей		
	3Х2В8	4ХНВ	4ХВ2С
Ковка			
Предварительный подогрев заготовок на шестке печи	Применяется	—	—
Медленный нагрев до температуры, °С	750	700	700
из расчета на 10 *мм* толщины, мин.	10	10	10
Быстрый нагрев до температуры, °С	1150	1150	1150
из расчета на 10 *мм* толщины, мин.	5	5	5
Температурный интервал ковки, °С	1150—950	1150—900	1150—900
Охлаждение с печью до температуры, °С	200	200	200
Дальнейшее охлаждение	В штабеле		
Отжиг после ковки или большой механической обработки			
Медленный нагрев до температуры, °С	700	620	700
из расчета на 10 *мм* толщины, мин.	15	15	15
Быстрый нагрев до температуры, °С	820	680—700	800—820
из расчета на 10 *мм* толщины, мин.	10	—	5
Выдержка при температуре отжига, час.	3	3	3
Охлаждение	С печью		
Твердость после отжига H_B	255—207	241—207	247—207
Закалка			
Загрузка в печь, нагретую до температуры, °С	400—450	—	—
Медленный нагрев до температуры, °С	750—800	600	600
из расчета на 10 *мм* толщины, мин.	15	15	15
Быстрый нагрев до температуры, °С	1050—1100	840—870	860—900
из расчета на 10 *мм* толщины, мин.	10	5	5
Выдержка при температуре закалки в зависимости от размера инструмента, час.	1—2	1—3	1—3
Охлаждение	В масле*	В масле	
Отпуск			
Нагрев до температуры, °С	520—590	480—500	380—420
Выдержка при температуре отпуска в зависимости от размера инструмента, час.	1—1,5	1—3	1—3
Охлаждение	На воздухе	—	На воздухе

* Инструмент, охлажденный в масле до 150—200°, помещают в электрическую печь для отпуска. Твердость прессового инструмента после закалки и отпуска приведена в табл. 132.

Таблица 132

Нормы твердости прессованного инструмента после термообработки H_B 10/3000/30

Наименование и размер инструмента	Марка стали	После закалки		После отпуска	
		диаметр отпечатка *мм*	число твердости	диаметр отпечатка *мм*	число твердости
Вертикальные 600-т прессы					
Матрицы	3Х2В8	2,75—2,60	495—555	3,0—2,75	415—495
Иглы для тяжелых сплавов	3Х2В8	2,75—2,60	495—555	2,9—2,75	444—495
Иглы для легких сплавов	4ХВ2С	2,75—2,60	495—555	2,9—2,75	444—495
Опорные кольца для матриц	4ХВ2С	2,75—2,60	495—555	2,95—2,80	429—477
Пресс-шайбы	3Х2В8	2,75—2,60	495—555	3,0—2,80	415—477
Иглодержатели прессов без прошивного устройства	3Х2В8	2,75—2,60	495—555	3,0—2,80	415—477
То же, с прошивным устройством	4ХНВ	2,75—2,60	495—555	3,05—2,80	401—477
Шплинтоны	4ХНВ	2,70—2,50	510—601	2,85—2,60	461—555
Втулки	4ХНВ	2,90—2,70	444—510	3,0—2,80	415—477
Горизонтальные 1500 и 3000-т прессы					
Матрицы	3Х2В8	2,75—2,60	495—555	3,10—2,80	388—477
Иглы диаметром, *мм*;					
20—25	3Х2В8	2,70—2,50	514—601	2,90—2,75	444—495
30—35	3Х2В8	2,75—2,60	495—555	2,95—2,75	429—495
40—55	4ХВ2С	2,70—2,50	514—601	2,95—2,75	429—495
60—100	4ХВ2С	2,70—2,50	514—601	3,0—2,80	415—477
105—120	4ХВ2С	2,70—2,60	514—555	3,15—2,90	375—444
125—175	4ХВ2С	2,80—2,70	477—514	3,15—2,90	375—444
180—265	4ХВ2С	2,95—2,70	429—514	3,25—3,0	352—415
180—265	4ХНВ	2,95—2,80	429—477	3,25—3,0	352—415
Пресс-шайбы диаметром до 302 *мм*	3Х2В8	2,70—2,60	514—555	2,95—2,80	429—477
То же, свыше 302 *мм*	4ХВ2С	2,70—2,60	514—555	2,95—2,80	429—477
Матрицедержатели	4ХНВ	2,95—2,80	429—477	3,25—2,90	352—444
Иглодержатели	4ХНВ	2,95—2,80	429—477	3,25—2,90	352—444
Патроны переходные	4ХНВ	2,75—2,60	495—555	3,25—3,0	352—415
То же	4ХВ2С	2,70—2,65	514—534	3,25—3,0	352—415
Шплинтоны	4ХНВ	2,95—2,80	429—477	3,25—2,90	352—444
Втулки	4ХНВ	2,95—2,80	429—477	3,25—3,0	352—415
Ножи для отделения пресс-остатка	4ХНВ	2,95—2,80	429—477	3,25—2,90	352—444

Таблица 133

Примерная стойкость прессового инструмента

Диаметр контейнера, *мм*	Наименование инструмента	Размер инструмента, *мм*	Прессуемый сплав	Выпуск изделий на единицу инструмента, *т*
		Пресс 600-т		
85	Втулки внутренние	85		25,0
85	Шплинтоны прутковые	85		28,0
85	Иглы	26×210	МНЖМц 30-0,8-1	1,5
85	Матрицы	32		1,0
85	Пресс-шайбы	26×85		10,0
100	Втулки внутренние	100		70,0
100	Шплинтоны трубные	100		80,0
100	Иглы	26×265		1,5
100	»	30—35×265	Л68, ЛО70-1	2,2
100	Матрицы	30—40		1,5
100	Пресс-шайбы	26—30—35		12,0
85—100	Пуансоны вырубные	29,5; 31; 34,5	Все сплавы	35,0
85—100	Кольца подматричные	—	МНЖМц30-0,8-1	20,0
85—100	То же	—	Латуни	100,0
85—100	Кольцедержатели	—	Все сплавы	250,0
		Пресс 1500-т		
155	Втулки трубные	155	Латуни, медь	125,0
155	Втулки прутковые	155		200,0
155	Иглы	16—25×450	ЛС59-1, ЛЖМц59-1-1	1,8
155	»	26,5×450	Медь	3,0
155	»	26,5×450	Л62	2,5
155	»	30—35×450		3,5
155	Матрицы	115×40×30,8	Медь, Л62	4,0
155	Пресс шайбы трубные	—		10,0
155	Пресс-шайбы прутковые	154,5	Медь	7,0
155	То же	154,5	Латуни	25 0
155	Победитовые вставки	—		4,0
155	Матрицедержатели	155×90—115		450,0
180	Втулки трубные	180	Медь, латуни	125,0
180	Втулки прутковые	180		400
180	Иглы	16—25×450- 550		2,5
180	»	26—30—35×450	Медь	4,0
180	»	26—30—35×450	Л62	2,5
180	»	26—30—35×450	МН95-5	1,0
180	»	26—30—35×450	ЛЖМц59-1-1; ЛС59-1	5,0
180	»	40—51×500	Медь	7,0
180	»	40—51×500	Л62	3,5
180	»	40×500	Алюминий	2,0
180	»	40—51—500	МН95-5	1,8
180	»	55—60—70×500	Медь	8,0
180	Матрицы	120×50		15,0
180	»	120×50	Латуни	20,0
180	»	120×50	Бронза	10,0
180	»	120×50	Алюминий	1,5
180	Матрицедержатели	180×90—160	Медь, алюминий, латуни	450,0
180	Пресс-шайбы трубные	179,5	Медь, латуни	12,0
180	Пресс-шайбы прутковые	179,5	Медь, БХ	10,0
180	То же	179,5	Латуни	55,0
180	Победитовые вставки	—		6,5

Продолжение табл. 133

Диаметр контейнера, *мм*	Наименование инструмента	Размер инструмента, *мм*	Прессуемый сплав	Выпуск изделий на единицу инструмента, *т*
		Пресс 3000-т		
205	Втулки внутренние	205	Все сплавы	150,0
205	Иглы	26—35×450	Медь	35,0
205	»	40—50×550	ЛС59-1, Л62, ЛЖМц59-1-1	6,0
205	»	45,9×450	ЛО70-1	2,5*
205	»	40—50×550	Бр.АЖМц10-3-1,5	5,0
205	»	51×500	Бр.А5	3,5**
205	»	55—70×550	ЛС59-1; Л62; ЛЖМц59-1-1	7,0
205	»	55—70×550	МНЦ5-5	3,0
205	»	55—70×550	Бр.АЖН10-4-4	6,0
205	Матрицы	180×50	Л68, ЛО70-1	30,0
205	»	180×50	МНЖМц30-0,8-1	15,0
205	»	180×50	Все сплавы	35,0
205	Матрицедержатели	205	Все сплавы	150,0
205	Пресс-шайбы трубные	204,5		12,0
205	Пресс-шайбы прутковые	204,5	Л68, ЛО70-1, мельхиор	30,0
255	Втулки внутренние	255	Все сплавы	300,0
255	Иглы	80—100	Медь	30,0
255	Матрицедержатели	255	Все сплавы	350,0
255	Пресс-шайбы трубные	254,3	Медь	20,0
255	Пресс-шайбы прутковые	254,3	Медь, латуни	40,0
306	Втулки внутренние	306	Все сплавы	500,0
306	Иглы	60—80×600	Бр.АЖН10-4-4, Бр.АЖМц10-3-1,5	6,0
306	»	60—80×600	Латуни	10,0
306	»	85—100×650	Бр.АЖМц10-3-1,5; Бр.АЖН10-4-4	10,0
306	»	85—100×650	Латуни	15,0
306	»	110—120×750	Все сплавы	50,0
306	»	130—170×750	Медь, латуни	70,0
306	»	130—170×750	МН95-5	20,0
306	Матрицы	250×60	Все сплавы	60,0
306	Пресс-шайбы трубные	305		20,0
306	Пресс-шайбы прутковые	305		50,0
408	Втулки внутренние	408		600,0
408	Иглы	110—160×750	Бр.АЖН10-4-4, ЛС59-1	35,0
408	»	180—265×750	Медь, Бр.АЖН10-4-4	85,0
408	Матрицы	365×70	Все сплавы	100,0
408	Пресс-шайбы трубные	406,7		40,0
408	Пресс-шайбы прутковые	406,7		70,0

* Трубы 57×45 *мм*.
** Трубы 61×50 *мм*.

Оправки диаметром от 251 до 400 *мм* нагревают до 820—840° и закаливают через воду в масло Вода должна быть нагрета до 30°. Оправки выдерживают в масле до полного остывания, после чего их отпускают при 240—260°.

Волоки закаливают и отпускают по режиму, принятому для оправок.

Продолжительность нагрева и выдержки при нагреве под закалку и при отпуске определяют по табл. 134.

Продолжительность нагрева в различных тепловых агрегатах до 750° стального образца диаметром 50 *мм* [28] составляет, мин:

Свинцовая ванна	6,0
Соляная ванна	6,6
Пламенная печь	27,0
Электрическая печь	31,8

Термообработку инструмента для станов холодной прокатки труб производят по следующему режиму. Калибры из стали ШХ15

Таблица 134

Продолжительность нагрева и выдержки в минутах в зависимости от сечения детали (для углеродистой стали)* [28]

Размер сечения детали *мм*	Закалка*2				Отпуск*3			
	пламенная печь		соляная ванна		пламенная печь		соляная ванна	
	нагрев	выдержка	нагрев	выдержка	нагрев	выдержка	нагрев	выдержка
25	20	5	7	3	25	10	10	5
50	40	10	17	8	50	15	25	6
75	60	15	24	12	75	20	35	9
100	80	20	33	17	100	25	45	12
125	100	25	40	20	125	30	55	14
150	120	30	50	25	150	40	65	15
175	140	35	55	30	175	45	70	20
200	160	40	65	35	200	50	90	20

* Для легированной стали продолжительность должна быть увеличена на 25—40%.
*2 Температура печи на 10—30° выше заданной температуры закалки.
*3 Продолжительность высокого отпуска легированной стали обычно принимают равной 1—3 час.

Таблица 135

Стойкость инструмента, изготовленного из стали ШХ15 при прокатке труб на станах ХПТ (по Карпачеву) [13]

Тип стана	Прокатываемые трубы		Стойкость, *м*		Наибольшая достигнутая стойкость калибров при прокатке труб на разных размерах, *м*
	марка сплава	размер после прокатки *м*	калибров	оправок	
ХПТ 55	Л68	36×30	27 180	75 000	75 000
ХПТ 55	Л68	36×32	27 180	48 000	
ХПТ 32	Л68	25×23	18 000	8 000	200 000
ХПТ 32	Л62	32×29	35 000	12 000	

перед закалкой нагревают по графику (см. рис. 72) и охлаждают в воде, подогретой до 50—60°, причем поверхность ручья дополнительно охлаждают водой с температурой 13—20°. Для этого применяют брызгало, изготовляемое по форме ручья. Продолжительность охлаждения и последующего отпуска калибров в масляной ванне (240—260°) составляет:

Диаметр, *мм*	Охлаждение мин.	Отпуск час.
306,2	25	4—5
357,2	35	6—7
433,6	45	8—9

Твердость калибров R_C после отпуска должна быть:

На поверхности ручья . . 56—60
На поверхности вблизи ручья . . . . . 54—58
На остальной части калибра 50—55

Оправки станов ХПТ перед закалкой нагревают по графику (см. рис. 73) и охлаждают через воду в масло; температура воды 40—55°. Хвостовую часть оправки не закаливают. Отпуск в масле при 240—260° в течение 2—3 час.

Твердость оправок после отпуска должна быть: на конической части 53—58 R_C, в месте перехода с конической на цилиндрическую часть 45 — 52 R_C, на цилиндрической части 30—35 R_C.

Стойкость калибров и оправок приведена в табл. 135.

6. Хромирование волочильного инструмента

Для повышения износоустойчивости стальных волочильных оправок и волок их подвергают хромированию.

Соотношение между удельным весом

электролита и содержанием в нем хромового ангидрида (CrO_3) следующее:

Удельный вес электролита при 20°	1,05	1,10	1,11
Концентрация Cr_2O_3 *г/л*	55	140	152
Удельный вес электролита при 20°	1,12	1,13	1,14	1,15
Концентрация CrO_3 *г/л*	161	178	195	210

Напряжение тока при хромировании поддерживается в пределах 10—12 *в*.

Состав электролита хромировочных ванн и режимы хромирования оправок и волок приведены в табл. 136—138.

Таблица 136

Состав электролита хромировочных ванн, *г/л*

№ состава	CrO_3	Cr_2O_3	H_2SO_4	Назначение
1	125—175	1,5—4,5	1,5	Мелкие оправки и волоки
2	75—125	1,0—2,5	1,0	Крупные оправки и волоки

Таблица 137

Режимы хромирования волочильных оправок (рис. 65 и 66)

Показатели процесса	Для оправок с резьбой диаметром, *мм*			Для оправок с отверстиями диаметром, *мм*				
	10—18	19—32	33—50	51—75	76—110	111—150	151—200	201—250
Площадь хромирования, *дм²* . .	0,11—0,20	0,23—0,40	0,51—0,80	1,26—1,88	1,83—2,76	4,18—5,65	6,40—8,48	9,47—11,77
Толщина слоя хрома, *мм* . . .	0,025	0,025	0,025	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Плотность тока, *а/дм²*	50	50	50	50	50	50	50	50
Сила тока, *а/1 шт.*	5,5—10	11,5—20,0	25,5—40,0	68—94	94—138	209—283	320—424	473—589
Повышение силы тока на 1 *мм* увеличения диаметра, *а*	0,56	0,60	0,80	1,25	1,25	1,85	2,08	2,32
Температура электролита, °С . .	58—62	58—62	58—62	58—62	58—62	58—62	58—62	58—62
Время выдержки, мин.	50	50	50	100	100	100	100	100

Таблица 138

Режим хромирования волок (рис. 64)

Показатели процесса	Для волок диаметром, *мм*							
	10—45	46—57	58—100	101—150	151—200	201—250	251—300	301—350
Площадь хромирования, *дм²* . .	0,10—0,33	0,55—0,69	0,78—1,65	1,66—2,45	2,97—3,89	4,56—5,67	6,47—7,70	7,73—8,95
Толщина слоя хрома, *мм* . . .	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Плотность тока, *а/дм²*	80	80	80	80	80	80	80	80
Сила тока, *а/1 шт.*	8,2—26,4	44—55	70—130	152—196	238—311	365—454	548—615	618—716
Повышение силы тока на 1 *мм* увеличения диаметра *а*	0,52	0,7	1,26	1,28	1,49	1,82	1,92	2,0
Температура электролита, °С . .	60—64	60—64	60—64	60—64	60—64	60—64	60—64	60—64
Время выдержки, мин.	30	30	30	30	30	30	30	30

§ 7. ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Ниже приводятся технические характеристики оборудования, применяемого в производстве труб, прутков и профилей из цветных металлов и сплавов.

1. Станки для обработки шашек

Резку прутков на шашки осуществляют на дисковых пилах; сверловку и обточку — на токарно-револьверных станках, оснащенных механическими или пневматическими зажимами шашек. За последнее время начали применять для изготовления шашек станки-автоматы, основные данные станка модели АОШ-3 для обточки, резки и сверловки шашек из цветных металлов и сплавов приведены ниже.

Токарный автомат типа 12125 производства Киевского завода автоматов, предназначенный для резки, обточки и сверловки шашек диаметром от 73 до 118 *мм* и длиной от 100 до 230 *мм*, обрабатывает до 120 штук в час. Мощность двигателя главного привода 40 *квт*. Вес станка 17 *т*.

Характеристика автоматического станка модели АОШ-3 для обточки, резки и сверловки шашек из цветных металлов и сплавов

Число оборотов шпинделя, об/мин			1000			
Диаметр обрабатываемых шашек, *мм*	78	80	85	90	98	100
Скорость резания на резце, *м/мин*	244,92	251,2	266,9	282,6	307,72	314,0
Подача резца на один оборот шпинделя, *мм*			0,45			
Диаметр пильного диска, *мм*			410			
Число зубьев у пилы, шт.			72			
Скорость резания на диске, *м/мин*			1866			
Подача на один зуб диска, *мк*			2,0			
Диаметр сверла,			17—35			
Скорость резания спирального сверла, *м/мин*			54—109,9			
Подача сверла за один оборот шпинделя, *мм*			0,45			
Установленная мощность электродвигателей, *квт*			38,9			
Длина обрабатываемых шашек, *мм*	100		120	150		200
Производительность теоретическая[1], шт/час	132		110	96		72
Изготовитель	Верхне-Нейвинский завод вторичных цветных металлов					

[1] Фактическая производительность составляет примерно 70% от теоретической.

2. Печи для нагрева слитков и шашек

Таблица 139

Техническая характеристика высокочастотных индукционных установок для нагрева слитков из меди и ее сплавов перед прессованием

Основные данные	Давление пресса, *т*		
	1500	600	600
Преобразователь	—	—	Однокорпусная машина тип ПВС 100/2500
Электродвигатель асинхронный, тип	—	—	ВДЭ-125-2-Ш
Высокочастотный генератор, тип	—	—	ВГ-100/2500-Ш
Рабочее напряжение, *в*	—	—	750
Номинальная сила тока, *а*	—	—	143
Номинальная мощность, *квт*	1200	111	111
Частота, *гц*	—	—	2500
Диаметр слитков, *мм*	150; 175; 200	83; 97,5	85—100
Температура нагрева, °С	650—900	710—850	680—980
Производительность, *т/час*	5,0	0,6	—
Производительность, шт/час	—	—	80—105
Изготовитель	Трест «Электропечь»	Трест «Электропечь»	—

Таблица 140

Техническая характеристика электрических печей для нагрева слитков из меди и ее сплавов перед прессованием

Основные данные	Давление пресса, *т*			Основные данные	Давление пресса, *т*		
	600	1000	1500		600	1000	1500
Диаметр слитков, *мм*	85—100	До 185	До 250	Схема соединения зон	Однофазная	«Звезда»	«Звезда»
Температура нагрева, максимальная, °С	850	900	950	Нагреватели	Нихромовая лента		
Тип печи	Методическая с толкателем			Время нагрева час.	2—2,5	—	—
Производительность печи (проектная) *кг/час*	1000	—	—	Удельный расход энергии *квт-ч/т*	155	—	—
Атмосфера печи	Окислительная			Усилие передвижения слитков, *кг*	200	—	—
Регулировка температуры	Автоматическая			Габаритные размеры рабочего пространства, *мм*:			
Мощность печи *квт*	160	321	460	длина	5 670	11 330	11 260
Напряжение сети, *в*	380	380	380	ширина	874	2 250	2 600
Число зон нагрева	3	3	3	высота	500	—	—

Таблица 141

Техническая характеристика мазутных и газовых печей для нагрева слитков перед прессованием

Основные данные	Мазутные печи при давлении прессов, *т*		Газовые печи при давлении прессов, *т*	
	1500	3000	1500	2500
Диаметр слитков, *мм*	150—200	200—400	150—250	200—400
Температура нагрева, °С	До 1050	До 1050	650—950	650—950
Производительность, *т/час*	До 1,5	До 4,0	До 8,0	До 14,5
Площадь пода, $м^2$	7,2—12	16	—	—
Часовой расход условного (7000 *кал*) топлива, *кг/час*:				
максимальный	140	200	—	—
средний	100	140	—	—

3. Печи и аппараты для отжига и нормализации труб и прутков

Таблица 142

Характеристика электрических камерных печей для отжига и нормализации труб и прутков из цветных металлов

Назначение	Мощность *квт*	Температура °С	Размеры рабочей камеры, *м*			Наибольший вес садки, *т*	Примечание
			длина	ширина	высота		
Отжиг и нормализация труб и прутков в восстановительной атмосфере диссоциированного аммиака	425	600	—	—	—	7,8	Печь — модель ОКБ652 треста «Электропечь» снабжена камерами предварительного нагрева и охлаждения; производительность 0,65 *т/час*
Отжиг и нормализация труб и прутков	235	700	8,68	Диаметр 0,98	—	3,0	Печь типа СЗП287 снабжена терморегулятором и механизмом открывания и закрывания дверцы
	180	750	7,15	0,91	0,81	1,2	Печь снабжена терморегуляторами, загрузка с одной стороны при помощи выдвижной корзины
	158	750	7,85	1,1	0,85	1,2	То же
	225	650	9	1,5	1,0	4,0	Печь снабжена терморегулятором; загрузка с двух сторон при помощи выдвижных корзин
Отжиг радиаторных трубок	200	750	9,3	0,95	0,9	0,6	То же, но загрузка с одной стороны
Отжиг манометрических труб	110	700	4	0,9	0,7	0,6	—
Безокислительный отжиг никелевых трубок	70	820	2,5	0,65	0,6	0,08	Трубки отжигаются в трубчатом муфеле

Помимо печей для отжига труб наготово, часто применяют электроконтактные аппараты, в которых изделия нагреваются пропусканием через них электрического тока низкого напряжения. Например, для нагрева латунных и мельхиоровых конденсаторных труб требуется сила тока 2000—3000 *а* при напряжении 36 *в*.

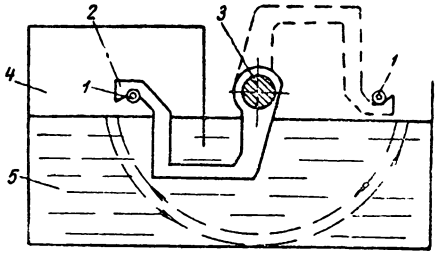


Рис. 82. Схема безокислительного отжига труб на электроконтактном аппарате:
1 — труба; *2* — рычаг с электроконтактами; *3*—ось; *4*—камера с инертным газом; *5* — водяной затвор

С целью предотвращения окисления труб при отжиге аппараты снабжают специальным устройством (рис. 82). Труба *1* закрепляется в контактах рычагов *2*, которые, вращаясь вокруг оси *3*, перемещают трубу через водяной затвор *5* в камеру *4* с инертным газом. Труба при этом занимает наклонное положение и вода из нее вытекает. При обратном движении рычагов труба охлаждается водой.

4. Травильные и промывные ванны

Для травления и промывки отожженных изделий средней длины сооружают ванны из кислотоупорных материалов:

	Травильная ванна	Промывная ванна
Наружные размеры, *м*:		
длина	5,70	5,50
ширина	2,13	1,94
глубина	1,99	1,91
Внутренние размеры, *м*:		
длина	5,30	5,10
ширина	1,63	1,30
глубина	1,54	1,54
Расход железа на арматуру, *кг*	645	712
Расход бетона марки "140 *м*³	3,64	5,68

Конструктивными элементами ванн являются:

1. У травильной ванны: деревянная обшивка на медных гвоздях; футеровка из кислотоупорного кирпича на диабазовой замазке (стены 130 *мм*, дно и борт 65 *мм*);

футеровка из метлахской плитки на диабазовой замазке, 20 *мм*; двойная окраска силикатным раствором и шпаклевка силикатной замазкой; затирка горячим песком; шпаклевка кислотоупорной мастикой «Бит-миноль», 5 *мм*; наклейка двух слоев рубероида на клебемассе (битум № 4), 5 *мм*; двойная окраска лаком № 411 и 412 или битумным лаком и цементная штукатурка, 15 *мм*.

2. У промывной ванны: деревянная обшивка на медных гвоздях; железобетонная рубашка с железной поверхностью, 60 *мм*; наклейка трех слоев рубероида на битуме № 4, 5 *мм*; покрытие и затирка поверхности цементным раствором с жидким стеклом, 5 *мм*; железобетонные стенки и днище; двойная окраска наружной поверхности лаком № 411 или битумным лаком.

5. Механизм для изготовления захваток

Пневматические ковочные молоты (табл. 143) применяются для ковки захваток у крупных толстостенных труб и у прутков в холодном и горячем состоянии.

Ковочные кулачковые машины применяются для ковки захваток у труб средних размеров.

Основные данные о кулачковой машине модели В311А приведены ниже.

Номинальное усилие, *т*	10
Ход ползуна, *мм*	16
Число ползунов, шт	3
Число ходов ползуна в минуту, ход/мин	365
Диаметр заковываемых труб, *мм*:	
наименьший	20
наибольший	80
Толщина стенки заковываемых труб, *мм*:	
наименьшая	0,75
наибольшая	3,5
Регулировка нижнего штампа, *мм*	65
Наибольшее расстояние от колодок до направляющих при верхнем положении колодок, *мм*	186
Расстояние между осями ползунов, *мм*	190
Размеры ползуна, *мм*:	
слева—направо	110
спереди—назад	80
Электродвигатель привода машины:	
тип	А52-4
мощность, *квт*	7
число оборотов в минуту, об/мин	1440
Высота машины над уровнем пола, *мм*	2225
Габаритные размеры машины в плане, *мм*	1105×740
Общий вес машины с электродвигателем, *кг*	1540
Изготовитель	Завод „Металлист“, г. Таганрог

Таблица 143

Техническая характеристика пневматических ковочных молотов для свободной ковки захваток у труб и прутков на фасонных бойках

Основные данные	Модель молота МА411	Молоты Беше		Основные данные	Модель молота МА411	Молоты Беше	
		75 *кг*	230 *кг*			75 *кг*	230 *кг*
Вес падающих частей, *кг*	75	75	230	Электродвигатель привода:			
Ход бабы (наибольший), *мм*	365	290	600	мощность, *квт*	7,0	10	21
Ход поршня компрессора, *мм*	210	290	300	число оборотов об/мин	1440	—	—
Диаметр рабочего цилиндра, *мм*	250	—	—	Габаритные размеры молота в плане, *мм*	1520×750	—	—
Диаметр цилиндра компрессора, *мм*	245	330	410	Наибольшая высота молота над уровнем пола, *мм*	1915	—	—
Расстояние от зеркала нижнего бойка до нижней кромки направляющей бабы, *мм*	265	—	—	Общий вес, *кг*	2315	—	—
Вылет от оси бабы, *мм*	300	390	520	Скорость движения бабы в момент удара, *м/сек*	—	4,8	8,7
Размер зеркала верхнего бойка, *мм*	65×145	—	—	Допустимый к обработке размер труб, *мм*:			
Число ударов в минуту	200	206	134	максимальный	—	40×4	160×6
Энергия одного удара *кгм*	100	88	890	минимальный	—	18×4	28×6
				Изготовитель	Завод, г. Нижняя Сарана	—	—

Таблица 144

Характеристика вальцев для изготовления захваток у труб и прутков из цветных металлов

Диаметр валков *мм*	Длина рабочей части валков *мм*	Число ручьев	Ширина ручьев *мм*	Число оборотов в минуту	Окружная скорость валков *м/мин*	Мощность электродвигателя *квт*
125	220	15	4—12	80	31	3,0
125	220	9	8—24	80	31	4,0
200	400	12	14—30	80	51	7,0

Вальцы захватов (табл. 144) применяются при обработке труб и прутков средних и мелких размеров; допускается вальцовка захваток в горячем состоянии.

Ротационно-ковочные машины применяются для изготовления захваток у труб и прутков диаметром до 30 *мм*.

6. Пилы для резки труб и прутков

Дисковые пилы, характеристика которых приведена в табл. 145, применяют для резки труб и прутков крупных и средних размеров. Для резки тонкостенных труб диа-

Таблица 145

Техническая характеристика дисковых пил для резки труб, прутков и профилей

Основные данные	Тип пилы				
	8А66	МП61	МП62	МП63	МП64
Наибольший диаметр разрезаемого материала, *мм*	240	3—45	—	—	150—400
Размер разрезаемых труб, *мм*	—	—	30—140	60—240	—
Размер разрезаемых прутков, *мм*	—	—	30—100	60—150	—
Диаметр пильного диска, *мм*:					
наибольший	710	350	510	710	1430
наименьший	660	—	—	—	—
Число скоростей шпинделя	4	—	—	—	—
Пределы чисел оборотов шпинделя, об/мин	4,75—13,5	—	—	—	—
Скорость вращения диска, *м/мин*	—	3000	3000	3000	3000
Подача, *м/мин*	—	—	1,0	1,0	1,0
Бесступенчатая гидравлическая подача, *мм/мин*	25—400	—	—	—	—
Электродвигатель для привода пилы:					
тип	А-51-4	—	—	—	—
мощность, *квт*	4,5	—	—	—	—
число оборотов, об/мин	1500	—	—	—	—
Электродвигатель для привода гидронасоса:					
тип	АО-41-4	—	—	—	—
мощность, *квт*	1,7	—	—	—	—
число оборотов, об/мин	1500	—	—	—	—
Электродвигатель для охлаждения:					
тип	П-22-А	—	—	—	—
мощность, *квт*	0,126	—	—	—	—
число оборотов, об/мин	2800	—	—	—	—
Высота до подошвы призмы, *мм*	800	—	—	—	—
Высота призмы, *мм*	200	—	—	—	—
Размер от пола до пильного диска, *мм*	1085	—	—	—	—
Габаритные размеры станка, *мм*:					
длина	2350	—	—	—	—
высота	1850	—	—	—	—
ширина	1300	—	—	—	—
Завод-изготовитель	Завод им Кирова, г. Минск				

метром до 30 *мм* и прутков до 20 *мм* применяют пилы с диаметром диска от 100 до 250 *мм*, толщиной от 0,5 до 2 *мм*, с шагом зуба от 1,5 до 3 *мм* и числом оборотов до 5000 в минуту.

Ленточные пилы применяют для резки труб всех диаметров с толщиной стенки до 10—15 *мм*, а также для резки прутков диаром до 30 *мм*. Сечение ленточных пил (0,7—1,2) × 35 *мм*; число зубьев на 100 *мм* длины 15—30; скорость резания 12,6 *м/сек*; диаметр шкивов 0,8—1,0 *м*; мощность электродвигателя 10 *квт*.

Применение ленточных пил, по сравнению с дисковыми пилами, в настоящее время ограничивается, так как стойкость дисков выше, чем ленточных полотен.

7. Машина профилировочная роликовая

Основные данные о профилировочной роликовой машине модели И-502 приведены ниже:

Наибольший профиль калибруемого материала, *мм*	60×60×8
Предел прочности калибруемого материала, *кг/мм²*	45
Количество пар роликов	6
Скорости калибровки, *м/мин*	5,52; 7,78; 14,85
Номинальный диаметр роликов, *мм*	260
Расстояние между осями роликов, *мм*:	
наибольшее	290
наименьшее	260
Электродвигатель реверсивный:	
тип	А81—6
мощность, *квт*	28
число оборотов, об/мин	1000
Габаритные размеры машины в плане, *мм*	1940×4170
Наибольшая высота над уровнем пола, *мм*	1745
Вес машины, *кг*	12000

8. Прессы для гидравлического испытания труб

Таблица 146

Техническая характеристика пресса для гидравлического испытания труб

Основные данные	Модель пресса		Основные данные	Модель пресса	
	ПО65	ПО66		ПО65	ПО66
Номинальное усилие пресса, *т*	8	1,6	Рабочее давление наполнительной магистрали, *кг/см²*	2—2,5	2—2,5
Наружный диаметр испытываемых труб, *мм*:			Расход технической воды за 1 час работы, *м³*	3	1
наименьший	20	8	Рабочее давление магистрали сжатого воздуха, *кг/см²*	4—6	4—6
наибольший	100	30	Расход сжатого воздуха за 1 час работы, *м³*	9	2,5
Длина испытываемых труб *мм*:			Ход передней головки, *мм*	200—300	—
наименьшая	1000	1000	Ход шпинделей задней головки, *мм*	—	135
наибольшая	6000	8000	Диаметр плунжера мультипликатора, *мм*	75	75
Наибольшее отклонение по длине труб в одной испытываемой партии, *мм*	+15 —10	+15 —10	Диаметр поршня мультипликатора, *мм*	420	420
Испытательное давление *кг/см²*:			Емкость мультипликатора, *л*	2	2
наименьшее	20	40	Габариты пресса в плане, *мм*:		
наибольшее	100	75	длина	9220	10250
Время выдержки труб под давлением, *сек*	10—15	10—15	ширина	1850	1450
Число одновременно испытываемых труб, *шт*	1	3	Высота над уровнем пола, *мм*	1620	1620
Наибольшая теоретическая производительность, *шт/час*	40—50	—	Вес пресса, *т*	5,2	3

9. Механизмы для правки труб и прутков

Основные данные о гидравлических прессах для правки пруткового материала даны в табл. 147, о гидравлических правильно-растяжных машинах для правки труб, прутков и профилей из алюминия и алюминиевых сплавов — в табл. 148, о многороликовых правильных машинах для правки труб и прутков — в табл. 149, о правильно-отрезных станах для правки и резки прутков и труб — в табл. 150.

Таблица 147

Техническая характеристика гидравлических прессов для правки круткового матерчала

Основные данные	Модели машин		
	П418А	П418	П415
Максимальное усилие, *т*	160	160	63
Ход поршня, *мм*	500	400	400
Вылет станины, *мм*	500	300	300
Наибольшее расстояние от бойка до стола пресса, *мм*	750	600	550
Размеры стола, *мм*:			
длина	3000	—	2500
ширина	500	—	400
Наибольшее расстояние между подвижными опорами, *мм*	2550	2400	2050
Рабочее давление жидкости, *кг/см²*	200	—	—
Высота стола над уровнем пола, *мм*	1000	1000	—
Насос сдвоенный:			
тип	ПА-474-101	ПА-472-101	—
производительность, *л*/мин.	100	50	—
рабочее давление, *кг/см²*	200	200	—
Насос шестеренный:			
тип	—	—	Ш-50
производительность, *л*/мин.	—	—	50
рабочее давление, *кг/см²*	—	—	15
Насос поршневой:			
тип	—	—	Н-400
производительность, *л*/мин.	—	—	5
рабочее давление, *кг/см²*	—	—	200
Электродвигатель привода насоса:			
тип	АО-51-4	АО-73-6	—
мощность, *квт*	4,5	20	—
число оборотов, об/мин	1420	980	—
Электродвигатель привода насосов Ш-50 и Н-400:			
тип	—	—	АО-42-4
мощность, *квт*	—	—	2,8
число оборотов, об/мин.	—	—	1420
Скорость холостого хода поршня, *мм/сек*	45	—	50
Скорость рабочего хода поршня, *мм/сек*	1,58	9,85	2,5
Скорость обратного хода поршня, *мм/сек.*	40	18,7	64
Максимальная длина стержня, подлежащего правке, *мм*	—	2500	—
Диаметр стержня, подлежащего правке, *мм*:			
максимальный	—	160	—
минимальный	—	60	—
Габаритные размеры пресса в плане, *мм*	3000×2450	2140×4000	2500×1610
Высота пресса над уровнем пола, *мм*	3260	3140	3000
Вес пресса без электрооборудования, *кг*	8250	6171	4282
Изготовитель	Завод «Гидропресс», г. Оренбург	Завод «Металлист», г. Оренбург	Завод «Металлист», г. Оренбург

Таблица 148

Характеристика гидравлических правильно-растяжных машин для правки труб, прутков и профилей из алюминия и алюминиевых сплавов

Основные данные	Модели машин				
	И337	И335А	И335	И330	И330А
Номинальное усилие машины, *т*	400	250	250	30	30
Наибольший ход плунжера главного блока цилиндров, *мм*	1 500	1 000	1 000	1 000	—
Скорость рабочего хода плунжера главного блока цилиндров, *мм/сек*	16	6	6	15	20
Скорость обратного хода плунжера главного блока цилиндров, *мм/сек*	15	33	33	40	195
Гидропривод главного блока цилиндров, *кг/см²*:					
давление рабочей жидкости	200	200	200	45	50
мощность электродвигателя	55	—	—	—	—
Номинальное усилие обратного хода, *т*	—	47	47	14,5	—
Давление рабочей жидкости в цилиндрах зажима, *кг/см²*	—	40	40	—	—
Давление воздуха в цилиндрах зажима, *кг/см²*	4	—	—	4—5	4—5
Длина изделия, подлежащего правке, *мм*:					
наибольшая	12 000	10 000	17 000	12 000	8 000
наименьшая	4 000	—	—	6 000	2 000
Скорость выкрута, об/мин.	7	—	—	—	—
Мощность электродвигателя выкрута, *квт*	20	10	10	—	—
Число оборотов двигателя выкрута, об/мин.	—	970	970	—	—
Скорость передвижения выкрутной головки, *мм/сек*	70	—	—	—	—
Мощность электродвигателя механизма передвижения выкрутной головки, *квт*	1,7	—	—	—	—
Наибольший ход поршня механизма загрузки и выгрузки, *мм*	270	—	—	—	—
Гидропривод механизма загрузки и выгрузки:					
давление рабочей жидкости, *кг/см²*	15	—	—	—	—
мощность электродвигателя, *квт*	1,0	—	—	—	—
Мощность электродвигателя главного гидропривода, *квт*	—	20	20	7	—
Число оборотов электродвигателя главного гидропривода, об/мин.	—	970	970	980	—
Наименьшее давление сжатого воздуха в сети, *кг/см²*	4	—	—	—	—
Тип насоса главного гидропривода	—	НПС-50А	НПС-50А	—	—
Тип насоса гидропривода зажима	—	Л1Ф-25	Л1Ф-25	—	—
Тип лопастного сдвоенного насоса	—	—	—	ЛЗФС	—

Продолжение табл. 148

Основные данные	Модели машин				
	И337	И335А	И3 5	И330	И330А
Габариты машины в плане, *мм*	25500××5000	18300××1550	24300××1550	17720××1150	14930××800
Наибольшая высота над уровнем пола, *мм*	3045	2230	2230	1250	1250
Вес машины без электрооборудования, *кг*	96000	—	—	7420	7400
Общий вес машины, *кг*	—	29200	34300	—	—
Назначение	Правка растяжением и раскручиванием прутков и профилей из алюминиевых сплавов		Правка профилей из алюминиевых сплавов растяжением и раскручиванием		Правка труб из алюминия и его сплавов растяжением
Изготовитель	Завод НЗТСГ, г. Новосибирск	Завод им Кирова г Минск			

Таблица 149

Техническая характеристика многороликовых правильных машин для правки труб и прутков

Основные данные	Тип машины		
	9419	9417	9412
Диаметр труб, *мм*:			
наименьший	60	15	—
наибольший	160	75	—
Диаметр прутков, *мм*:			
наименьший	60	—	6
наибольший	100	—	30
Толщина стенки трубы, наибольшая, *мм*	5	15	—
Длина труб и прутков, *мм*:			
наибольшая	6400	6500	—
наименьшая	2000	—	—
Предел текучести металла в холодном состоянии, *кг/мм²*	до 28	до 28	—
Количество правильных роликов, шт.:			
приводных	2	2	—
нажимных	5	5	—
Скорость правки (в зависимости от числа оборотов приводных роликов и диаметра изделий) *м/мин*	14,7—16,6 29,6—33,4	14,7—16,6 29,6—33,4	33,4—60,4 —

Продолжение табл. 149

Основные данные	Тип машины		
	9419	9417	9412
Число оборотов валков, об/мин.	—	—	150—300
Угол поворота валков, град.	—	—	25—35
Электродвигатель главного привода:			
тип	91-8/4	А-81-8/4	—
мощность, *квт*	28/40	14/20	5/7
число оборотов, об/мин.	730/1470	730/1470	720/1450
Электродвигатель вытяжного устройства:			
тип	АО-41/2	—	—
мощность, *квт*	1,7	—	0,6
число оборотов, об/мин.	2880	—	1410
Электродвигатель механизма подвода нажимных роликов:			
тип	АО-33/4	—	—
мощность, *квт*	1,0	—	—
число оборотов, об/мин.	1410	—	—
Диаметр подающего устройства *мм*	90	—	—
Ход подающего устройства, *мм*	1000	—	—
Диаметр 1-го цилиндра приемного устройства, *мм*	90	—	—
Ход 1-го цилиндра приемного устройства, *мм*	50	—	—
Диаметр 2-го цилиндра приемного устройства, *мм*	90	—	—
Ход 2-го цилиндра приемного устройства, *мм*	100	—	—
Габаритные размеры машины, *мм*:			
длина	18325	16835	15565
ширина	2290	2706	1345
высота	1515	1400	1235
Вес машины, *кг*	13503	12000	3950
Изготовитель	Завод им Кирова, г. Тбилиси		

Таблица 150

Характеристика правильно-отрезных станков для правки и резки прутков и труб

Основные данные	Модель станка	
	ИО35Д	МСС
Сечение прутка, *мм*²	До 170	—
Длина отрезаемого прутка, *м*	2—4	—
Скорость правки, *м/мин*	30—60	60
Диаметр выправляемых труб, *мм*	—	3—15
Длина отрезаемых труб, *м*	—	1—8
Назначение	Для правки и резки прутков	Для правки и резки труб

Основные данные о машине модели РМ-1 для раскрутки профилей из алюминиевых сплавов приведены ниже:

Число оборотов планшайбы, об/мин.	0,2
Скорость движения профиля, *мм/сек*	160
Мощность электродвигателя привода планшайбы, *квт*	7
Мощность элекродвигаталя транспортера, *квт*	1,0
Максимально-допустимый профиль для правки:	
предел прочности при растяжении, *кг/мм*²	45—47
предел текучести при растяжении, *кг/мм*²	30—35
момент инерции при кручении не более, *см*⁴	1450
наибольший угол раскручивания на длине 1000 *мм*, град	20
Габаритные размеры машины в плане, *мм*	22945×1835

Наибольшая высота машины над уровнем пола, *мм*	1940
Общая приводная мощность. *квт*	9
Общий вес машины без электрооборудования, *кг*	6500
Изготовитель	Завод им. Кирова г. Минск

10. Механизм для зачистки поверхностных дефектов

Техническая характеристика ручной шлифовальной пневматической машины модели ШР-06 для зачистки дефектов приведена ниже:

Диаметр шлифовального круга, *мм*	60
Мощность, *л с.*	0,3
Число оборотов, об/мин.	6000
Расход воздуха, $м^3/мин$.	0,7
Вес машины, *кг*	2

11. Пресс для брикетирования стружки

Техническая характеристика пресса модели Б653 для брикетирования мелкой стружки из цветных сплавов приведена ниже:

Номинальное усилие пресса, *т*	400
Ход поршня рабочего цилиндра, *мм*	500
Размер алюминиевого брикета *мм*:	
диаметр	150
высота	75—100
Вес алюминиевого брикета, *кг*	2,5—3,5
Рабочее давление жидкости, $кг/см^2$	100
Производительность установки пресса, шт/час	300—500
Насос гидропривода:	
тип	НПР-200М
количество, шт	2
производительность, *л/мин*	200
приводная мощность, *квт*	55
Габаритные размеры пресса в плане, *мм*	6555×3640
Наибольшая высота пресса над уровнем пола, *мм*	3120
Вес пресса (с электрооборудованием), *кг*	27337
Изготовитель	Завод прессов, Одесса

12. Станок для расшлифовки волок

Техническая характеристика станка модели ВС-8 для расшлифовки волок приведена ниже:

Обрабатываемые изделия	Волоки из твердых сплавов ВК8, ВК10, ВК3, ВК6, запрессованные в обоймы
Диаметры обойм для волок, *мм*	70, 80, 100
Диаметры калибрующей части обрабатываемых волок, *мм*	
наибольший	25
наименьший	5
Число оборотов шпинделя при наладке на расшлифовку, об/мин	535—730—920
Число двойных ходов шпинделя при соответствующих оборотах шпинделя в минуту	57,8—78,8—99,6
Число оборотов стола, об/мин.	50
Расстояние от конца шпинделя до плоскости установки изделия, *мм*:	
наибольшее	212
наименьшее	92
Ход шпиндельной головки по направляющей стойке, *мм*	120
Подача абразивной смеси	От насоса
Электродвигатель привода шпинделя:	
тип	АО-32/4
мощность, *квт*	1,0
число оборотов, об/мин	1420
Электродвигатель привода стола:	
тип	ФТ-025/4
мощность, *квт*	0,25
число оборотов, об/мин	1400
Вес машины, *кг*	434

§ 8. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И НОРМАТИВЫ ПРЕССОВО-ВОЛОЧИЛЬНОГО ЦЕХА

1. Выход годного

Ориентировочные данные по отходам и потерям металла и по выходу годного при производстве труб и прутков из цветных металлов и сплавов приведены в табл. 151.

Таблица 151

Ориентировочные данные по выходу годного, отходам и потерям металла при производстве прессованных и тянутых изделий из цветных металлов и сплавов (отнесенные к слитку)

Металл или сплав	Наименование изделий	Диаметр *мм*	Технологические и геометрические отходы %	Стружка %	Угар %	Выход годного %	Заправочный коэффициент
Медь	Трубы	6×4	39,6	0,8	0,6	59	1,695
		16×14	35,8	0,8	0,4	63	1,587
		24×18	32,0	0,4	0,6	67	1,493
		50×30	31,4	0,2	0,4	68	1,470
		55×50	37,8	0,6	0,6	61	1,639
		106×100	32,0	0,6	0,4	67	1,493
		145×110	45,4	0,2	0,4	54	1,852
		181×175	50,2	0,6	1,2	48	2,083
		308×300	58,4	0,4	1,2	40	2,500
	Прутки	10	20	0,6	0,4	79	1,286
		70	19,5	0,2	0,3	80	1,250
Л68	Трубы	16×14	32,6	5,6	0,8	61	1,639
		24×22	33,6	5,6	0,8	60	1,667
Л62	Трубы	6×4	45,0	0,8	1,2	53	1,887
		16×15	38,4	0,8	0,8	62	1,613
		42×40	34,8	0,6	0,6	64	1,563
		90×70	39,6	0,2	0,2	60	1,667
Л62, ЛО62-1	Прутки	5	22,2	0,4	0,4	77	1,300
		22	21,2	0,4	0,4	78	1,280
		80	22,6	0,2	0,2	77	1,300
ЛЖМц 59-1-1 ЛО70-1	Трубы	65×45	37,6	0,2	0,2	62	1,613
		19×17	32,8	5,6	0,6	61	1,639
ЛС59-1	Трубы	65×45	34,6	0,2	0,2	65	1,538
		150×130	48,6	0,2	0,2	51	1,961
	Прутки	5	19,2	0,4	0,4	80	1,250
		12	19,4	0,2	0,4	80	1,250
		22	21,2	0,4	0,4	78	1,280
		35	19,4	0,2	0,2	80	1,250
		50	19,6	0,2	0,2	80	1,250
		80	20,6	0,2	0,2	79	1,267
Бр.АЖМц10-3-1,5	Трубы	65×45	47,6	0,2	0,2	52	1,923
		105×80	40,6	0,2	0,2	59	1,695
	Прутки	60	36,6	0,2	0,2	63	1,588
		120	34,6	0,2	0,2	65	1,540
БХ, БХЦ, БХБ	Прутки	12	32,2	0,4	0,4	67	1,492
		85	34,4	0,2	0,4	65	1,540

Продолжение табл. 151

Металл или сплав	Наименование изделий	Диаметр *мм*	Технологические и геометрические отходы %	Стружка %	Угар %	Выход годного %	Заправочный коэффициент
МН5	Трубы	65×57	38,8	0,8	0,4	60	1,667
МНЖМц 30-0,8-1		16×14	30,1	25,3	0,6	44	2,273
Куниаль А	Прутки	60	39,6	0,2	0,4	60	1,670
Алюминий	Трубы	38×34	30,2	0,6	0,2	69	1,450
	Шины прямоугольные	стороны 29×250	9,6	0,2	0,2	90	1,110

2. Расход топлива и электроэнергии

Примерные нормы расхода топлива и электроэнергии на технологические цели приведены в табл. 152.

Таблица 152

Примерные нормы расхода топлива и электроэнергии на 1 *т* готовых прутков и труб

Металл или сплав	Наименование изделий	Наружный диаметр *мм*	Топливо условное 7000 *кал/кг*	Электроэнергия *квт·ч*	Металл или сплав	Наименование изделий	Наружный диаметр, *мм*	Топливо условное, 7000 *кал/кг*	Электроэнергия, *квт·ч*
Медь	Трубы тянутые	До 9	64	531	Л68	Трубы тянутые	Все размеры	69	1009
		10—14	59	462					
		15—20	51	342	ЛО70	Трубы тянутые	То же	78	1261
	Трубы тянутые и прессованные	21—30	56	278	ЛС59-1	Трубы прессованные	»	50	185
		31—45	60	227					
		46—80	55	190					
		81—120	64	600		Прутки тянутые	5—39	49	253
		121—179	83	968					
		180 и выше	79	2137		Прутки прессованные	40 и выше	49	253
	Прутки тянутые и прессованные	14 и выше	49	127	МН5 и мельхиор	Трубы тянутые	—	110	2362
Л62	Трубы тянутые	До 9	81	1825	А5	Прутки тянутые	—	60	170
		10—14	79	1088	Алюминий	Трубы тянутые	—	62	357
		15—20	71	1043					
	Трубы тянутые и прессованные	21—39	54	875	ЛЖМц59-1-1	Трубы прессованные	—	61	174
		40—80	55	530					
		81—99	58	297	БрАЖН10-4-4	Трубы прессованные	—	64	168
		101 и выше	61	297	БрАЖМц10-3-1,5	Трубы прессованные	—	64	168
	Прутки тянутые	5—39	49	337		Прутки прессованные	30 и выше	59	136
	Прутки прессованные	40 и выше	49	337	БХ и БХЦ	Прутки прессованные	—	61	204

3. Расход пара

Норма расхода пара на обогрев травильных и промывных ванн и приготовление эмульсии для волочильных станов принимается равной 0,6 *т* на одну тонну готовых тянутых изделий.

4. Расход воды

Норма расхода воды на пополнение травильных и промывных ванн, испытание труб на герметичность, пополнение системы воды высокого давления, приготовление эмульсии составляет примерно 2 *м*³ на 1 *т* готовых изделий.

5. Расход сжатого воздуха

Норма расхода сжатого воздуха на работу вспомогательных механизмов волочильных станов, прессов, роликовых правильных машин, транспортных механизмов, на операции чистки и продувки труб составляет (по всасываемому воздуху) 63 *м*³ на 1 *т* готовых изделий.

6. Расход вспомогательных материалов

Примерные нормы расхода вспомогательных материалов приведены в табл. 153.

Таблица 153

Примерные нормы расхода вспомогательных материалов на одну тонну готовых прутков и труб

Наименование материала	Трубы					Прутки	
	медные	из Л62 и ЛС59-1	из Л60 и ЛО70-1	из МН70-30 и МН5	алюминевые	медные	латунные
Масло машинное, *кг*	1,65	1,65	1,65	2,2	0,96	1,34	1,45
Мыло хозяйственное, *кг*	1,2	1,8	1,8	4,5	—	—	0,8
Сода кальцинированная, *кг*	0,03	0,03	0,03	0,05	—	—	0,03
Кислота олеиновая, *кг*	0,1	0,23	0,23	1 5	—	—	0,12
Эмульсол, *кг*	—	0,4	0,4	5,5	—	—	—
Смазка СП-3, *кг*	15	—	15	15	—	—	0,103
Сало техническое, *кг*	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Солидол, *кг*	0,06	0,1	0,1	1,6	—	—	—
Гудрон, *кг*	0,14	0,14	0,14	0,14	—	—	5,5
Керосин, *кг*	0,85	0,7	0,7	1,5	0,03	0,7	0,7
Кислота серная, *кг*	8,0	4,0	5	120	—	4,5	3,5
Кислота соляная, *кг*	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
Хромпик, *кг*	—	—	—	40	—	—	—
Хромовый ангидрид, *кг*	0,03	0,02	0,02	0.05	—	0,02	0,02
Графит чешуйчатый, *кг*	0,15	0,15	0,15	0,2	0,1	0,08	0,08
Ветошь и концы, *кг*	1,25	1,25	1,05	2,7	0,3	1,25	1,25
Победит-фильеры, *г*	50	50	80	320	—	22	22
Победит-резцы, *г*	2,5	3,7	7,5	85	—	—	5,2
Пилы ленточные, *м*	0,15	0,9	0,9	0,13	0,03	—	—
Пилы дисковые диаметром 275 *мм*, шт.	—	—	—	0,1	—	0,1	0,005
То же, 410 *мм*, шт.	0,0052	0,0052	0,0052	0,0052	—	—	—
То же, 510 *мм*, шт.	0,0016	0,0015	0,0020	0,0020	—	—	0,0015
То же, 610 *мм*, шт.	0,0015	0,0015	0,0015	—	—	0,0006	—
Напильники, шт.	0,17	0,17	0,17	0,30	—	0,17	0,17
Бумага оберточная, *кг*	4,2	4,2	4,2	15,0	—	—	—
Шпагат, *кг*	0,9	0,9	0,8	0,9	—	0,3	0,3
Проволока, *кг*	0,25	0,25	0,25	—	—	0,5	0,255

7. Загрузка оборудования

Примерные нормы загрузки оборудования для выпуска одной тонны готовых прутков и труб из цветных металлов и сплавов (в станко-часах) приведены в таблицах: 154 — по гидравлическим прессам; 155 — по волочильным станкам и по электрическим печам; 156 — по трубопрокатным станам; 157 — по правильным станкам; 158 — по правильно-отрезным станкам; 159 — по токарным автоматам

8. Производительность оборудования

Примерные данные производительности различных видов оборудования за 8 час. работы приведены в табл. 160.

Таблица 154

Примерные нормы загрузки гидравлических прессов для выпуска одной тонны готовых прутков и труб, в станко-часах

Металл или сплав	Наименование изделий	Диаметр готового изделия *мм*	Диаметр и длина слитка *мм*	Диаметр заготовки после прессования *мм*	Число прессовок, час.	Производительность пресса, *т/час*	Заправочный коэффициент	Норма на 1 *т* готовых изделий, станко-час
			3000-т горизонтальный пресс					
	Трубы	50×30	200×350	50×30	25	2,47	1,470	0,594
		106×100	300×500	130×110	20	6,29	1,493	0,237
		145×110	300×500	145×110	20	6,29	1,825	0,293
Медь		181×175	400×500 Отверстие 200	240×220	13	5,45	2,079	0,382
		308×300	400×240	408×384	10	2,68	2,500	0,93
	Прутки	70	250×650	70	27	7,66	1,250	0,162
МН5	Трубы	67×57	250×400	110×65	28	4,88	1,665	0,341
Л68	Трубы	16×14	200×750	97,5	32	6,48	1,639	0,252
Л62	Трубы	90×70	250×400	90×70	25	4,17	1,667	0,400
	Прутки	80	300×750	80	27	12,18	1,298	0,107
ЛО70	Трубы	19×17	200×750	97,5	25	5,06	1,639	0,323
		65×45	200×400	65×45	33	3,53	1,538	0,435
ЛС59-1	Трубы	150×130	300×500	150×130	22	6,6	1,961	0,294
		105×80	400×650	105×80	16	4,76	1,695	0,355
Бр.АЖМц10-3-1,5	Трубы	65×45	200×400	65×45	22	2,13	1,92	0,900
	Прутки	60	200×650	60	30	4,71	1,588	0,336
МНЖМц30-0,8-1	Трубы	16×14	200×750	88	22	4,6	2,273	0,493
ЛЖМц59-1-1	Прутки	80	300×750	80	27	12,18	1,300	0,107
БХ	Прутки	85	300×500	85	15	4,71	1,540	0,326
Куниаль А	Прутки	60	200×450	60	20	2,46	1,670	0,676
Алюминий	Шины	Стороны 29×250	400×500	Стороны 29×250	42	7,0	1,110	0,156
			1500-т горизонтальный пресс					
	Трубы	12×10	150×200	30×26	4,1	1,29	1,690	1,31
		24×18	200×500	50×30	32	4,47	1,493	0,334
Медь		45×40	175×350	57×50	32	2,41	1,639	0,68
	Прутки	10	150×300	11,3	35	1,65	1,286	0,765
		22	200×400	24,6	40	4,48	1,235	0,274
	Трубы	6×4	150×200	30×26	35	1,065	1,887	1,770
		16×15	150×300	32×26	35	1,575	1,610	1,02
Л62		42×40	200×350	61×55	26	2,43	1,563	0,64
	Прутки	5	200×300	5,4	30	2,4	1,298	0,54
		22	200×600	24,6	44	7,05	1,278	0,181
ЛО62	Прутки	5	200×300	5,4	30	2,4	1,298	0,54
ЛС59-1	Прутки	5	200×400	5,4	33	3,52	1,250	0,354
		22	200×600	24,6	40	6,41	1,280	0,203
		50	250×650	50	30	8,1	1,250	0,153
ЛЖМц59-1-1	Прутки	22	200×600	24,6	37	5,94	1,300	0,218
БХ	Прутки	12	175×250	15	20	1,09	1,492	1,39
			600-т вертикальный пресс					
Л68	Трубы	16×14	97,5×105	32×26	85	0,575	1,398	2,43
		24×22	97,5×105	38×31	85	0,575	1,439	2,5
ЛО70	Трубы	19×17	97,5×105	32×26	85	0,575	1,393	2,43
МНЖМц30-0,8-1	Трубы	16×14	83×26×120	32×26	105	0,546	1,520	2,78

Таблица 155

Примерные нормы загрузки волочильного оборудования и электрических печей сопротивления для выпуска одной тонны готовых прутков и труб, в станко-часах

Наименование и размер готового изделия, *мм*	Маршрут волочения, *мм*	Скорость волочения, *м/мин*	Вес 1 *пог. м*, *кг*	Коэффициент машинного времени	Расчетная производительность, *кг/час*	Заправочный коэффициент	Норма на 1 *т* готовых изделий, станко/час	Производительность печи, *т/час*	Норма на 1 *т* готовых изделий, пече/час
				Волочильные цепные станы					
Трубы медные, 12×10	30×26	40	1,06	0,3	762	1,205	1,58	—	—
	25,2×22								
	20,7×18	40	0,73	0,3	525	1,171	2,24	—	—
	17,2×15	40	0,495	0,3	357	1,165	3,26	—	—
	14,8×13	60	0,35	0,3	378	1,130	3,0	—	—
	12×10	60	0,307	0,3	332	1,121	3,38	—	—
Трубы медные, 45×40	57×50	40	4,02	0,3	2 895	1,143	0,396	—	—
	51×45								
	45×40	40	2,969	0,3	2 160	1,135	0,525	650	1,59
Трубы медные, 106×100	120×110	15	10,82	0,3	2 920	1,142	0,390	—	—
	111,2×104								
	106×100	15	8,64	0,3	2 330	1,135	0,487	650	2,25
Трубы медные, 181×175	226×210	14	43,5	0,3	11 000	1,452	0,132	—	—
	215×200								
	211×197	14	40	0,3	10 050	1,44	0,143	650	2,21
	205×193	14	33,4	0,3	8 400	1,43	0,170	—	—
	201×190	14	30,1	0,3	7 600	1,42	0,187	650	2,19
	195×186	14	24	0,3	6 100	1,40	0,230	—	—
	190×182	14	20,8	0,3	5 230	1,391	0,266	650	2,13
	181×175	14	14,93	0,3	3 760	1,378	0,366	—	—
Трубы медные, 308×300	389×372	7	81,6	0,3	10 270	1,672	0,163	650	2,59
	373×357							—	—
	365×350	7	75	0,3	9 450	1,660	0,176	650	2,54
	353×339	7	67,75	0,3	8 550	1,641	0,192	—	—
	343×330	7	61,1	0,3	7 610	1,630	0,214	650	2,49
	332×320	7	54,7	0,3	6 900	1,612	0,234	—	—
	322×311	7	48,65	0,3	6 150	1,600	0,260	650	2,45
	314×305	7	38,95	0,3	4 900	1,585	0,324	—	—
	308×300	7	34,0	0,3	4 300	1,572	0,366	—	—
Трубы из Л62, 6×4	30×26	40	1,01	0,3	725	1,381	1,91	1 000	1,338
	25,2×22								
	20,7×18	40	0,7	0,3	504	1,325	2,63	—	—
	17,2×15	40	0,472	0,3	339	1,322	3,91	1 000	1,222
	14,8×13	40	0,346	0,3	249	1,220	4,9	—	—
Трубы из Л62, 16×15	19,7×18*	40	0,321	0,3	231	1,158	5,01	—	—
	18,3×17								
Прутки медные, 22	24,6	25	3,38	0,4	2 030	1,055	0,520	—	—
	22								
Прутки из Л62 и ЛС59, 22	24,6	40	3,23	0,4	1 940	1,052	0,543	1 000	1,048
	22								
Прутки из БХ, 12	15								
	13	12	1,18	0,4	340	1,055	3,10	—	—
	12	12	1,17	0,4	337	1,045	3,10	—	—

Продолжение табл. 155

Наименование и размер готового изделия, *мм*	Маршрут волочения, *мм*	Скорость волочения, *м/мин*	Вес 1 *пог. м*, *кг*	Коэффициент машинного времени	Расчетная производительность, *кг/час*	Заправочный коэффициент	Норма на 1 *т* готовых изделий, станко-час	Производительность печи, *т/час*	Норма на 1 *т* готовых изделий, пече/час
Однократные волочильные машины									
Трубы из Л62, 6×4	14,8×13 / 10×8	67	0,240	0,4	386	1,210	3,14	1 000	1,200
	8×6	67	0,187	0,4	304	1,198	3,95	—	—
	6×4	67	0,134	0,4	216	1,190	5,51	1 000	1,152
Прутки медные, 10	11,3 / 10	103	0,70	0,4	1 730	1,085	0,625	—	—
Прутки из Л62, 5	5,4 / 5	154	0,17	0,4	626	1,025	1,64	300	3,36
Прутки из ЛС59-1, 12	12,7 / 12	103	0,96	0,4	2 370	1,035	0,436	300	3,44

* Заготовка получается на трубопрокатном стане (см. табл. 156).

Таблица 156

Примерная норма загрузки трубопрокатных станов для выпуска 1 *т* готовых труб из цветных металлов и сплавов, в станко-часах

Металл или сплав	Размер, *мм*: готовой трубы	заготовки до прокатки	трубы после прокатки	Вытяжка	Подача за один ход, *мм*	Число ходов клети в минуту	Коэффициент использования оборудования	Производительность *м/час*: теоретическая	расчетная	Вес 1 *пог. м* трубы после прокатки, *кг*	Расчетная производительность, *кг/час*	Заправочный коэффициент	Норма на 1 *т* готовых изделий, станко-час
Медь МН5	24×18	50×30	25×19*	6,06	8	89	0,7	259	181	1,844	334	1,093	3,28
	67×57	110×65	67×57	6,35	8	60	0,85	183	155	8,67	1350	1,172	0,87
Л68	16×14	32×26	16×14	5,8	6,5	110	0,85	249	211	0,405	85,5	1,110	7,57
	24×22	38×31	24×22	5,25	7	110	0,85	242	206	0,621	128	1,102	5,06
Л62	16×15	32×26	19,7×18*	5,44	6	104	0,7	200	140	0,427	60	1,200	20,0
	26×21,5	45×30	26×21,5	5,26	8	89	0,7	225	157	1,568	246	1,112	4,52
	42×40	61×55	42×40	4,25	8	89	0,7	181,5	127	1,094	139	1,200	8,65
ЛО70	19×17	32×26	19×17	4,83	8	110	0,85	255	217	0,486	105,5	1,113	10,5
МНЖМц30-0,8-1	16×14	32×26	16×14	5,8	8	104	0,7	210	203	0,419	85	1,232	14,5
Алюминий	38×34	57×42	38×34	5,15	9	60	0,85	167	142	0,627	89	1,122	12,62

Примечание. Теоретическая производительность трубопрокатных станов подсчитывается по формуле

$$A = \frac{\lambda t \cdot 60 Nk}{1000},$$

где A — производительность, *м/час*; λ — вытяжка N — число двойных ходов в минуту; t — подача за один ход, *мм*; k — коэффициент, учитывающий количество одновременно прокатываемых труб.

* Трубы после прокатки подвергаются однократной протяжке на готовый размер.

Таблица 157

Примерная норма загрузки роликовых правильных машин для выпуска 1 *т* готовых труб и прутков из цветных металлов и сплавов, в станко-часах

Металл или сплав	Изделие	Размер готового изделия, *мм*	Размер изделия на операции, *мм*	Вес 1 *пог. м* изделия, кг	Скорость правки, *м/мин*	Теоретическая производительность, *т/час*	Коэффициент машинного времени	Расчетная производительность, *т/час*	Заправочный коэффициент	Норма на 1 *т* готовых изделий, станко-час
Медь	Трубы тянутые	12×10	12×10	0,307	35	0,645	0,5	0,322	1,115	3,46
		24×18	50×30	11,18	25	16,8	0,5	8,4	1,100	0,131
		106×100	106×100	8,64	33,4	17,3	0,5	7,68	1,050	0,136
	Трубы прессованные	145×110	145×100	62,35	10	37,4	0,4	14,95	1,100	0,073
	Трубы тянутые	16×15	16×15	0,207	35	0,435	0,5	0,217	1,032	4,76
		42×40	61×55	4,64	25	6,95	0,5	3,481	1,205	0,35
Л62	Трубы прессованные	90×70	90×70	21,35	10	12,8	0,4	5,12	1,087	0,212
Л68	Трубы тянутые	16×14	97,5	64,2	33,4	128,4	0,5	64,2	1,520	0,024
		16×14	32×26	2,35	25	3,53	0,5	1,76	1,117	0,635
		24×22	38×31	3,26	25	4,9	0,5	2,45	1,110	0,45
ЛО70-1	Трубы тянутые	19×17	32×26	2,35	25	3,53	0,5	1,77	1,112	0,63
Алюминий	Трубы тянутые	38×34	57×42	3,14	25	4,7	0,5	2,35	1,130	0,48
	Трубы прессованные	65×45	65×45	14,68	10	8,8	0,4	3,52	1,070	0,304
		150×130	150×130	37,36	10	22,4	0,4	8,96	1,105	0,123
	Прутки тянутые	12	12	1,01	33,4	2,02	0,5	1,01	1,040	1,03
		22	22	3,23	33,4	6,56	0,5	3,28	1,048	0,32
ЛС59-1	Прутки прессованные	35	35	8,18	33,4	16,4	0,5	8,2	1,030	0,13
		50	50	16,7	33,4	33,5	0,5	16,75	1,020	0,06
		80	80	42,7	33,4	25,6	0,5	12,8	1,032	0,08
		120	120	96,1	33,4	192,5	0,45	86,5	1,020	0,012

Таблица 158

Примерная норма загрузки правильно-отрезных станков для выпуска 1 *т* готовых труб и прутков из цветных металлов и сплавов, в станко-часах

Металл или сплав	Изделие	Размер готового изделия, *мм*	Вес 1 *пог. м*, *кг*	Скорость правки, *м/мин*	Теоретическая производительность, *т/час*	Коэффициент машинного времени	Расчетная производительность, *т/час*	Заправочный коэффициент	Норма на 1 *т* готовых изделий, станко-час
Медь	Прутки тянутые	10	0,7	50	2,1	0,5	1,05	1,025	0,975
Л62		5	0,17	50	0,51	0,5	0,255	1,020	4,0
ЛС59-1		12	1,22	50	3,68	0,5	1,84	1,025	0,56
Л62	Трубы тянутые	6×4	0,134	50	0,48	0,5	0,24	1,162	4,84

Таблица 159

Примерная норма загрузки токарных автоматов для выпуска 1 *т* готовых труб из сплавов цветных металлов, в станко-часах

Металл или сплав	Размер труб, *мм*	Диаметр и длина шашек, *мм*	Вес 1 шашки, *кг*	Производительность автомата, *шт/час*	Теоретическая производительность, *т/час*	Коэффициент машинного времени	Расчетная производительность, *т/час*	Заправочный коэффициент	Норма на 1 *т* готовых изделий, станко-час
Л68	16×14	97,5×105	6,74	120	0,81	0,8	0,65	1,510	2,32
	24×22	97,5×105	6,74	120	0,81	0,8	0,65	1,535	2,36
ЛО70-1	19×17	97,5×105	6,74	120	0,81	0,8	0,65	1,510	2,32
МНЖМц30-0,8-1	16×14	83×26×120	5,21	80	0,42	0,8	0,34	2,075	6,10

Таблица 160

Примерная производительность вспомогательного оборудования для производства прутков и труб из цветных металлов и сплавов за 8 час.

Наименование оборудования	Сплав	Наименование операции	Размер изделия		Производительность, кг
			диаметр мм	толщина стенки, мм	
Электромолот 75 кг	Все сплавы	Ковка и правка захваток у труб	До 20	До 1,0	3 600
				До 2	6 000
			Свыше 20	До 1	5 200
			» 20	До 2	9 000
Электромолот 250 кг	Все сплавы	Ковка и правка захваток у труб весом до 15 кг	—	—	11 000
		То же, у труб весом 16—25 кг	—	—	15 000
		То же, у труб весом 26—40 кг	—	—	23 000
		То же, у труб весом свыше 40 кг	—	—	28 000
		Горячая ковка захваток у труб и прутков	Всех размеров		18 000
Вальцы захваток	Мельхиор, медь и латуни	Ковка захваток у труб	32	3	8 000
		Вальцовка захваток у труб	10—15	1—1,5	3 900
			16—20	1—1,5	5 300
			26—30	1—1,5	9 000
			10—15	1,6—2,0	5 000
			16—20	1,6—2,0	7 000
			21—25	1,6—2,0	9 000
			26—30	1,6—2,0	11 000
	Медь	Вальцовка захваток у прутков	12	—	2 900
			13—16	—	4 500
			17—18	—	5 800
			19—25	—	7 000
			26 и выше	—	8 000
Дисковая пила	Медь и латуни	Резка труб мерной длины с проверкой толщины стенки независимо от длины	До 4,0	До 0,75	640
			До 4,0	Свыше 0,75	800
			5—6	До 0,75	1 750
			5—6	Свыше 0,75	2 400
			21—25	1—1,5	7 700
			7—10	Свыше 0,75	3 300
			11—20	До 0,75	4 600
			11—20	Свыше 0,75	5 600
			21—30	До 1,0	7 200
			21—30	Свыше 1,0	8 000
	Мельхиор	То же, при 1 резе	До 30	1—1,5	3 700
		» » » 2 резах	До 30	1—1,5	2 700
		» » » 3 »	До 30	1—1,5	1 700
	Медь и латуни	Резка трубной заготовки	До 35	Все размеры	9 500
			36—50	То же	11 000
			51—100	» »	12 000
	Алюминий	Резка трубной заготовки	30—50	2—3	4 000
Ленточная пила	Медь и латуни	Резка трубной заготовки мерной длины независимо от длины и количества резов	До 6	Все размеры	4 000
			6,1—10	То же	6 700
			10,1—20	» »	11 000
			20,1—35	» »	15 000
			35,1—100	» »	17 000

Продолжение табл. 160

Наименование оборудования	Сплав	Наименование операции	Размер изделия: диаметр *мм*	Размер изделия: толщина стенки *мм*	Производительность, *кг*
Ленточная пила	Медь	Резка труб наготово в мерy с проверкой толщины стенки	101—150	Все размеры	10 000
			151—200	То же	11 000
			201—360	» »	8 000
	Медь и латуни	Обрезка двух концов у труб в бухтах	До 15	» »	10 000
	Алюминий	Резка труб наготово	До 35	2	4 500
	Мельхиор		До 20	1	8 000
	Все сплавы	Резка прутков наготово	6	—	5 000
			7—8	—	7 000
			9—13	—	9 000
			14—18	—	11 000
			19—30	—	12 500
	Латуни	Надрезка одного конца у труб для испытания на сплющивание	До 10	Все размеры	5 400
			11—20	То же	9 500
			21—35	» »	14 000
Эксцентриковый пресс	ЛО70-1	Сплющивание надрезанных концов у труб	16	1,0	7 200
			17—20	1,0	8 600
			21—28	1,0	10 000
Гидравлический насос	Латуни	Испытание труб на внутреннее давление	До 15	1—1,5	1 400
			16—20	1—1,5	2 800
			21—30	1—1,5	4 300
	Мельхиор	Испытание труб на внутреннее давление	16	1,0	2 100
			16	1,5	2 400
Электропечь	Медь и латуни	Отжиг трубной заготовки	Все размеры	До 5	14 000
			То же	Свыше	12 500
	Латуни	Низкотемпературный отжиг прутков	» »	—	35 000
Электронагревательный аппарат	Мельхиор	Отжиг труб наготово	10—12	1,0	1 200
			16	1,0	1 950
			16	1,5	2 100
	Латуни	Отжиг труб наготово	32	1,5	2 400
Волочильный барабан	Медь	Волочение труб в бухтах без оправки	8	1,0	700
			10	1,0	910
			12	1,0	1 100
			8	1,5	1 000
			10	1,5	1 300
			12	1,5	1 600

9. Продолжительность цикла прессования

Ориентировочная продолжительность цикла прессования при работе на 3000-т прессе приведена в табл. 161.

Таблица 161

Ориентировочная продолжительность цикла прессования при работе на 3000-*т* гидравлическом прессе сек.

Сплав	Размер слитка, *мм*	Изделия и их размеры *мм*	Цикл, сек.	Сплав	Размер слитка, *мм*	Изделия и их размеры *мм*	Цикл, сек.
				Бр.АЖМц10-3-1,5	200×550	Пруток 5	112,1
						Труба 5	
					200×375	65×40	112,8
Л68	200×750	Пруток 97,5	81,4			Труба 135×110	151,7
					300×475		
Л62	200×375	Труба 90×70	111,5			Труба 60×40	123,7
					200×250		
ЛС59-1	300×475	Пруток 80	109,3	Бр. АЖН10-4-4	300×475	Пруток 100	118,9
	400×650	» 150	106,4	Куниаль	200×475	Пруток 75	104,0

10. Стоимость прессового инструмента

Ориентировочная стоимость одной штуки прессового инструмента в руб.:

Горизонтальный пресс

Втулка контейнера диам. 180 *мм* 1500-*т* пресса	3660
Втулка контейнера диам. 200 *мм* 2500-*т* пресса	10228
Матрица под контейнер диам. 180 *мм* 1500-*т* пресса	50
Матрица под контейнер диам. 200 *мм* 1500-*т* пресса	67
Матрица под контейнер диам. 200 *мм* 2500-*т* пресса	230
Матрицедержатель под контейнер диам 200 *мм* 2500-*т* пресса	1910
Матрицедержатель под контейнер диам. 180 *мм* 1500-*т* пресса	113
Игла 1500-*т* пресса	260
Игла диам. 80 *мм* 2500-*т* пресса	315
Игла диам. 260 *мм* 2500-*т* пресса	3780
Пресс-шайба под контейнер диам. 180 *мм* 1500-*т* пресса	235
Пресс-шайба под контейнер диам. 200 *мм* 1500-*т* пресса	275
Пресс-шайба под контейнер диам. 200 *мм* 2500-*т* пресса	275
Шплинтон трубный диам. 200 *мм* 2500-*т* пресса	8785

Вертикальный пресс

Втулка контейнера цельная диам. 85 *мм*	1250
Втулка контейнера составная диам 85 *мм*	1400
Шплинтон трубный диам. 85 *мм*	540
Шплинтон прутковый диам. 85 *мм*	350
Матрица диам 32 *мм*	61
Опорное кольцо	83
Держатель опорного кольца	328
Игла диам 26 *мм*	42
Обрубной пуансон	22
Пуансонодержатель	340

11. Площадь склада готовой продукции

Площадь склада, необходимая для хранения готовой продукции, выпускаемой прессово-волочильным цехом, определяется по формуле

$$F = \frac{Qn}{qk},$$

где F — общая площадь склада, $м^2$;
Q — программа цеха в сутки, $т$;
q — нагрузка на 1 $м^2$ полезной площади склада, $т$;
$к$ — коэффициент использования площади склада;
n — срок хранения готовой продукции на складе в днях.

ЛИТЕРАТУРА

1. С И. Губкин. Теория обработки металлов давлением. Металлургиздат. 1947
2. И. Л. Перлин. Теория волочения. Металлургиздат, 1957.
3. Л. Е. Альшевский. Тяговые усилия при холодном волочении труб. Металлургиздат. 1952
4 В. В Жолобов. А Д Ландихов и др. Обработка цветных металлов и сплавов давлением. Металлургиздат, 1955.
5 А. П Смирягин Промышленные цветные металлы и сплавы. Металлургиздат. 1956
6. А. К. Чертавских Трение и смазка при обработке цветных металлов. Металлургиздат, 1945.
7. П. С. Истомин. Прессование металлов. Металлургиздат, 1944.
8 Е. Н Тарангов. Влияние метода прессования на структуру и механические свойства прутков дуралюмина. Оборонгиз. 1940.
9. И. Л. Перлин. Цветные металлы, 1957, № 9.
10. К. В Гаген-Торн. Цветные металлы, 1957. № 9.
11. Ю. Ф. Шевакин. О методике расчета калибровки для станов холодной прокатки труб из алюминиевых сплавов. Сб. «Легкие сплавы». Изд. АН СССР. 1958. вып. 1
12. М Б. Таубкин. Автореферат кандидатской диссертации. Московский институт цветных металлов и золота им М И Калинина. 1951.
13. Материалы совещания работников прессовых и волочильных цехов заводов по обработке цветных металлов. ЦИИН ЦМ, 1957.
14. И. М. Павлов, Ю. Ф. Шевакин, М. З. Ерманок. Цветные металлы. 1955. № 6.
15. И М. Павлов. Д. П. Пирязев. Цветные металлы. 1957. № 7.
16. К. Н Портной. А. А. Лебедев. Магниевые сплавы. Металлургиздат. 1952.
17 Б. Н. Гольдреер. Цветные металлы, 1957. № 8
18. Волочение труб на плавающей оправке. ЦБГИ Свердловск 1959
19 Copper tube production. New I. C. I. plant at Kirky. Metallurgia. 1955. oct. v. 52, № 312. pp. 159–163
20. Р. С. Быков, Н. Д. Хабаров, Л Г. Огурчиков. Е. М Непомнящий. Т Н Голокматова. Сб. статей под редакцией Н. И Корнеева и И. Г. Скугарева, Оборонгиз, 1958.
21. В П. Карасевич. Цветные металлы, 1948. № 5.
22. Н З. Днестровский Волочение цветных металлов и сплавов. Металлургиздат, 1954.
23 Л. В. Прозоров Прессование стальных профилей и труб. Машгиз. 1951.
24 А. М. Когос Механическое оборудование волочильных и лентопрокатных цехов. Металлургиздат, 1957.
25 «О применении твердых сплавов и минералокерамики». Сборник статей, ЦИИН ЦМ, 1957.
26 З А. Кофф Холодная прокатка стальных труб. Металлургиздат, 1951.
27. П И Орроия Е. Осада. Производство стальных тонкостенных бесшовных труб. Металлургиздат. 1951.
28 А. А. Шмыков. Справочник термиста, Машгиз. 1956.
29 Н. И. Раевский Методы экспериментального исследования механических параметров машин. АН СССР. 1952.
30. Б Л. Васильев. Гидропрессовые установки для прессования цветных металлов, Машгиз. 1951.
31. Э. Мюллер. Гидравлические ковочные прессы (перев. с нем. В. И. Копицына), Машгиз, 1958.
32 В. А. Кочкин. Металлург. 1937. № 5.
33. E. Frencis and F. Thomson. The Jornal of Institute of Metals v. 46 1931. № 2.
34 Перри и Г. Лисснер Основы тензометрирования (перев. с англ.), Гос. изд-во иностр. лит., 1957.
35. Ю. Ф. Шевакин и А. М. Рытиков. Цветные металлы. 1958. № 12
36 Н. И. Бражников и И. А. Крым. Цветные металлы. 1958. № 12.
37 А. Художник. Цветные металлы. 1958, № 12.
38 И А. Морозников. Цветные металлы, 1956. № 5; 1958. № 11
39. В В Жолобов. Г. И Зверев. Прессование металлов, Металлургиздат, 1959.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Колонка, строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
67	Табл. 34, примечание	В числителе в знаменателе	В знаменателе в числителе	Ред.
106	Табл. 46, графа 5 справа, 5 сн.	29,00-33,00	27,00—29,00	Авт.
135	Табл. 65, графа 6, 2 сн.	—	31	Кор.
135	То же, 1 сн.	31	—	»
142	Табл. 70, графа 3 справа, 1 сн.	60	6,0	Авт.
148	Правая, 4 сн.	свинца	цинка	Кор.
192	Правая, 13 св	α, β и	α, β и γ	Тип.
197	Правая, 11 сн.	$= \frac{2h_2 vk \operatorname{tg} \alpha}{h_1^2}$	$= \frac{2h_2 v \lambda \operatorname{tg} \alpha}{h_1^2}$	Авт
198	Левая, 11 сн.	$+ 2x\frac{x}{2}$	$+ 2x \frac{x}{2R}$	»
254	Правая 19 св.	$\mp \frac{x}{t_z}\Big)$	$\mp \frac{t_x}{t_z}\Big)$	Тип.
254	Правая, 11 сн.	$\left(h_2 + \frac{\Delta h}{l} x\right)$	$\left(h_2 + \frac{h_2}{l} x\right)$	Авт.
256	Правая, 3 св.	$[0,138\ \varepsilon^2 - 0,323\ \varepsilon]$	$[0,138\varepsilon^2 + 0,323\varepsilon]$	»
257	Левая, 13 сн.	$b_2^2 = 8m(\sqrt{R\Delta h}$	$b_2^2 (8m \sqrt{R\Delta h}$	Авт.
259	Правая, 2 св.	$\underline{b_1 \Delta h \sqrt{h_1 R}}$	$\underline{b_1 \Delta h \sqrt{b_1 R}}$	»
294	Левая, 11 св.	$M = 135\Delta NE\gamma D$ *тм*,	$M = 135\Delta NF\gamma D$ *тм*,	Кор
535	Табл 15	Цифры в таблице читать		Изд.

30	—1,3	—1,5
35 40 45 50	—1,6	—2,0
55 60 70 80	—1,9	—2,5
90 100 110 120	—2,2	—3,2

Стр.	Колонка, строка	
544	Табл. 21, графа 4 справа	
581	Правая, 9 св.	
591	Левая, 2 св.	
597	Подпись к рис. 103	
606	Левая, 14 св.	
606	11 сн.	
610	Правая, 15 св.	
621	Табл. 62, графа 4 справа, 6 сн.	
621	То же, 5 сн.	
636	Табл. 76, сноска	
694	Табл. 127, головка	Ве
749	Подпись к рис. 7, 3 сн.	
764	Левая, 3 св.	
764	То же, 6 св.	
803	Правая, 32 сн.	
838	Правая, 7 св.	
839	Левая, 20 сн.	