

В. М. РЫБАКОВ

Дуговая и газовая сварка



ПРОФЕССИОНАЛЬНО-
ТЕХНИЧЕСКОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ



В. М. РЫБАКОВ

Дуговая и газовая СВАРКА

Издание второе, переработанное

**Одобрено Ученым советом Государственного
комитета СССР по профессионально-техни-
ческому образованию в качестве учебника
для средних профессионально-технических
училищ**



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1986

ББК 30.616
Р93
УДК 621.791.5

Рецензент — д-р техн. наук В. М. Ямпольский (доцент МВТУ им. Баумана)

Рыбаков В. М.
Р93 **Дуговая и газовая сварка: Учеб. для сред. ПТУ. — 2-е изд., перераб. — М.: Высш. шк., 1986. — 208 с., ил. — (Профтехобразование).**

50 к.

Описаны устройство и правила эксплуатации оборудования и аппаратуры для ручной дуговой и газовой сварки и наплавки металлов, а также для механизированной дуговой сварки и кислородной резки; приведены сведения о технологии сварки и резки углеродистых и легированных сталей, чугуна и цветных металлов и их сплавов; рассмотрены виды сварных соединений и швов, возможные дефекты и способы их исправления.

Во второе издание (1-е — в 1981 г.) внесены изменения, связанные с новыми тенденциями развития сварочного производства. Учебник может быть использован при профессиональном обучении рабочих на производстве.

Р 2704060000 — 032
052(01) — 86 65 — 86

ББК 30.616
6П4.3

© Издательство «Высшая школа», 1981
© Издательство «Высшая школа», 1986, с изменениями

ВВЕДЕНИЕ

В условиях научно-технического прогресса особенно важно развитие тех областей науки, техники и производства, которые определяют технический прогресс. К таким областям могут быть причислены сварка и резка металлов, которые во многих отраслях промышленности являются одним из основных факторов, определяющих темпы технического прогресса, и оказывают существенное влияние на эффективность общественного производства.

Сварку и термическую резку широко используют в народном хозяйстве страны.

Советский Союз занимает ведущее место среди крупнейших стран мира по развитию сварочной науки и техники, а по некоторым показателям сварочного производства — первое место, например по объему сварочных работ, по темпам роста производства сварочных материалов, оборудования и по количеству подготавливаемых сварщиков.

Наша страна — родина наиболее распространенного вида сварки сталей — дуговой. В СССР впервые была применена подводная, электрошлаковая, диффузионная сварка, сварка в космосе.

На предприятиях возрастают мощности по производству сварных изделий, неуклонно развивается производство наплавочных работ. Все больше производится сварных изделий не только из сталей, но и из алюминия, меди, никеля, титана и их сплавов, а также из разнородных материалов, например алюминия и стали.

Одним из способов повышения износостойкости деталей в механизмах, поверхности которых работают на истирание, является наплавка сплавами с особыми свойствами.

Весьма распространенным и прогрессивным процессом разделения металла и его поверхностей обработки является термическая резка, во многих случаях полностью заменяющая механическую обработку. В настоящее время применяется кислородная резка сплавов железа, титана и некоторых других металлов. Наряду с кислородной выполняется резка металлов низкотемпературной плазмой. Очень важной для научно-технического прогресса является газолазерная резка, широкое внедрение которой даст значительный экономический эффект.

Для контроля качества сварки применяют как разрушающие, так и неразрушающие виды контроля, основанные, как правило, на последних достижениях науки и техники.

Выпускать продукцию отличного качества, совершенствовать приемы труда, соблюдать новейшую передовую технологию могут только рабочие, хорошо овладевшие теорией и передовой практикой. Большое значение имеет повышение профессионального мастерства и культурно-технического уровня рабочих.

Изучение теоретических основ сварочного производства в сочетании с производственным обучением позволит учащимся стать квалифицированными сварщиками.

ГЛАВА I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СВАРКЕ, СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ И ШВАХ

§ 1. Сущность и классификация процесса сварки

Сваркой называется процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и (или) пластическом деформировании (ГОСТ 2601 – 84).

Определение сварки относится к металлам, неметаллическим материалам (пластмассы, стекло и т. д.) и к их сочетаниям.

Для образования неразъемного соединения одного соприкосновения частей с зачищенными поверхностями недостаточно. Межатомные связи могут установиться между частями (детальями) только тогда, когда соединяемые атомы получают энергию извне. В результате затраченной энергии атомы получают соответствующее смещение (движение), позволяющее им занять в общей атомной решетке устойчивое положение, т. е. достигнуть равновесия между силами притяжения и отталкивания. Энергию извне называют энергией активации. Ее при сварке вводят путем нагрева (термическая активация) или пластического деформирования (механическая активация).

Соприкосновение свариваемых частей и применение при сварке энергии активации являются необходимыми условиями для образования неразъемных сварных соединений из однородных частей. Эти условия совмещаются при выполнении процесса сварки.

По признаку применяемого вида активации в момент образования межатомных связей в неразъемном соединении различают два вида сварки: сварку плавлением и сварку давлением.

Сущность сварки плавлением (рис. 1) состоит в том, что образующийся от нагрева посторонним источником жидкий металл одной оплавленной кромки самопроизвольно соединяется (в какой-то мере перемешивается) с жидким металлом второй оплавленной кромки, создается общий объем жидкого металла, который называется сварочной ванной. После охлаждения металла сварочной ванны получается металл шва. Металл шва может образоваться только за счет переплавления металла по кромкам или дополнительного присадочного металла, введенного в сварочную ванну.

Источниками местного нагрева при сварке плавлением могут быть электрическая дуга, газовое пламя, химическая реакция с выделением теплоты, расплавленный шлак, энергия электронного излучения, плазма, энергия лазерного излучения.

Образование межатомных связей в кромках соединяемых деталей при сварке плавлением достигается благодаря тому, что металл по кромкам (каждый

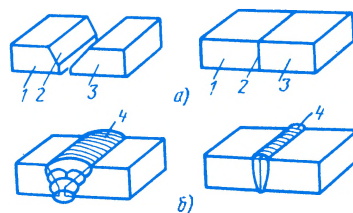


Рис. 1. Соединение деталей сваркой плавлением:

а – перед сваркой, *б* – после сварки; 1, 3 – свариваемые детали, 2 – оплавливаемые кромки, 4 – сварной шов

в отдельности) первоначально расплавляется, а потом вновь оплавленные кромки смачиваются и заполняются расплавленным металлом из сварочной ванны.

Зона вблизи границы оплавленной кромки свариваемой детали и шва называется зоной сплавления. В ней содержатся прежде всего образовавшиеся межатомные связи. В поперечном сечении сварного соединения она измеряется микрометрами, но роль ее в прочности металла очень велика.

Сущность сварки давлением (рис. 2) состоит в пластическом деформировании металла по кромкам свариваемых частей. Пластическое деформирование по кромкам свариваемых частей достигается статической или ударной нагрузкой. Для ускорения получения пластически деформированного состояния металла по кромкам свариваемых частей обычно сварку давлением выполняют с местным нагревом. Благодаря пластической деформации металл по кромкам подвергается трению между собой, что ускоряет процесс установления межатомных связей между соединяемыми частями. Зона, где образовались межатомные связи соединяемых частей при сварке давлением, называется зоной соединения.

Источником теплоты при сварке давлением с нагревом служат: печь, электрический ток, химическая реакция, индукционный ток, вращающаяся электрическая дуга и др.

Характер процесса сварки давлением с нагревом может быть и другим. Например, при стыковой контактной сварке оплавлением свариваемые кромки первоначально оплавляются, а затем пластически деформируются. При этом часть пластически деформированного металла совместно с некоторыми загрязнениями выдавливаются наружу, образуя грат.

Распределение деформаций по сечению сварного соединения в зоне сварки является неравномерным (рис. 2, б), в результате чего происходит скольжение у частиц металла в зоне соединения. Все это приводит к получению повышенных механических свойств сварных соединений. Оптимальная зависимость между температурой нагрева и давлением для железа дана на рис. 2, в.

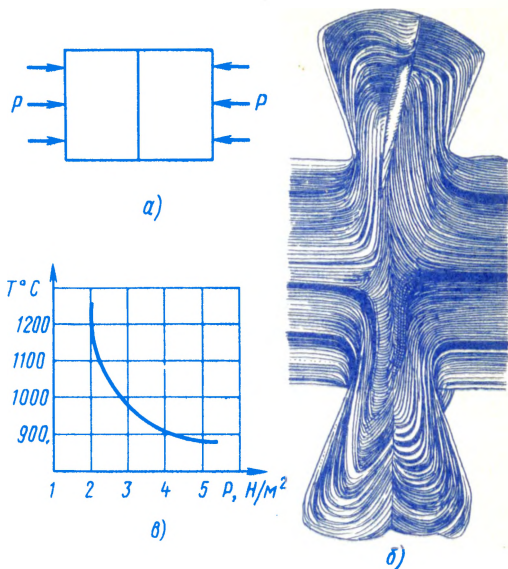


Рис. 2. Соединение деталей сваркой давлением без внешнего нагрева:

а — детали перед сваркой, б — после сварки (макроструктура соединения алюминия), в — оптимальная зависимость между температурой нагрева и давлением для железа

Согласно ГОСТ 19521 — 74, предусматривается три класса сварки: термический, термомеханический и механический. Термический класс объединяет виды сварки, осуществляемые местным плавлением металла. К термическому классу относят дуговую, газовую, термитную, электрошлаковую, электронно-лучевую, плазменно-лучевую, лазерную и другие виды сварки. Термомеханический класс объединяет виды сварки, осуществляемые давлением (механической энергией) с использованием тепловой энергии общего или местного характера. К этому классу относят печную (кузнечную, прокаткой, выдавливанием — у этих видов сварки общий нагрев свариваемых частей), контактную, термитно-прессовую, индукционно-прессовую, газопрессовую, диффузионную и дугопрессовую (эти виды сварки выполняют с местным нагревом свариваемых частей). Каждый вид сварки термомеханического класса выполняется по схеме сварки давлением без оплавления или с оплавлением металла кромок деталей.

Механический класс сварки объединяет виды сварки, выполняемые давлением (механической энергией). К этому

классу относят холодную, трением, ультразвуковую, взрывом и магнитно-импульсную сварки.

§ 2. Основные условия сваривания разнородных металлов

Прочность сварных соединений зависит от многих факторов, включая прочность металла в зонах сплавления или соединения. Поэтому при разработке технологии сварки добиваются получения определенной прочности металла в зонах сплавления или соединения.

Для однородных металлов основными условиями сваривания являются соприкосновение свариваемых поверхностей с использованием энергии активации. При сварке разнородных металлов кроме указанных условий нужно выполнить еще условие сходимости металлов, например по атомному размеру, температуре плавления и другим свойствам.

Выполнение последнего условия особенно важно при сварке плавлением, так как сваркой давлением можно соединять большее число пар разнородных металлов, чем сваркой плавлением. Это объясняется тем, что при сварке давлением общая атомная решетка у соединяемых частей образуется не только методом «замещения», присущим сварке плавлением, но также действует преимущественно и метод «внедрения».

В зонах сплавления и соединения при сварке двух чистых металлов, которые могут смешиваться в жидком состоянии (например, железо с медью, железо с никелем), образуются твердые растворы; могут образоваться и химические соединения при сварке, например, железа с алюминием, никеля с алюминием и др. Более пластичными материалами являются твердые сплавы, чем химические соединения, вызывающие хрупкость в межатомных зонах. При соединении сваркой несмешивающихся металлов (например, железа со свинцом, меди со свинцом и др.) зоны сплавления или соединения отсутствуют, т. е. атомного сцепления между ними не будет, произойдет «слипание» соединяемых металлов.

§ 3. Краткая характеристика основных видов сварки

Дуговая сварка. Источником нагрева при сварке является электрическая дуга, открытие которой принадлежит русскому профессору бывшей Санкт-Петербургской медико-хирургической академии Василию Владимировичу Петрову. Он первым в мировой литературе описал электрическую дугу, ее свойства, в частности плавление ею электродного металла.

Долгое время ни в одной стране мира дуга Петрова не применялась из-за отсутствия практически пригодных источников электрического тока.

Для сварки металлических деталей ею пользуются с 1881 г. Сохранившиеся в архиве нашего соотечественника Николая Николаевича Бенардоса описания, чертежи и рисунки указывают, что по существу все виды ручной и автоматической дуговой сварки, применяющиеся ныне, предложены им. В ряде стран мира Н. Н. Бенардосу выданы соответствующие документы на изобретения по дуговой сварке угольным электродом.

Николай Гаврилович Славянов разработал оборудование и технологию дуговой сварки металлов стальными электродами, организовал на Пермском заводе электросварочный цех, применял автоматы собственной конструкции и опубликовал несколько научных работ по сварке. Первый патент по дуговой сварке был выдан Н. Г. Славянову первоначально во Франции в 1890 г., позднее — в других странах мира, включая Россию.

В советское время крупный вклад в развитие дуговой сварки в стране внесли ученые В. П. Вологдин, В. П. Никитин, Е. О. Патон и др.

Условия получения дуги. Сварочной или электрической дугой или дуговым разрядом называется явление с образованием прежде всего концентрированной лучистой энергии, теплоты, звука и других эффектов в промежутке между электродом и изделием, заполненным воздухом или газами и парами металла, при прохождении электрического тока по ним.

Для получения дуги нужна электрическая цепь со специальным источником питания. Для питания дуги электриче-

ским током пользуются при переменном токе сварочным трансформатором, при постоянном токе — сварочным преобразователем, агрегатом с двигателем внутреннего сгорания или сварочным выпрямителем. От источника питания 5 ток подводится сварочными проводами 4 через электрододержатель 3 к электроду 2 и свариваемому изделию 6 (рис. 3), между которыми горит дуга 1. Включив источник питания, сварщик зажигает дугу и поддерживает ее горение. Для зажигания дуги на зажимах источника питания должно быть напряжение в несколько десятков вольт. Ток, проходящий по сварочной цепи, может достигать нескольких тысяч ампер.

Дуговая сварка плавящимся и неплавящимся электродами. При сварке плавящимся электродом шов образуется вследствие расплавления электрода и кромок основного металла. При сварке неплавящимся электродом шов заполняется металлом свариваемых частей.

К плавящимся электродам относят стальные, медные и алюминиевые, к неплавящимся — угольные, графитовые (графитизированные — искусственный графит) и вольфрамовые (вольфрамовые сплавы).

При горении дуги плавящийся электрод по мере его плавления необходимо непрерывно подавать в дугу (в зону сварки) и поддерживать по возможности постоянную длину дуги. Длиной дуги называют расстояние между концом электрода и поверхностью кратера (углубления) в сварочной ванне (рис. 4). При горении дуги с неплавящимся электродом длина дуги с течением времени возрастает и в процессе сварки необходима корректировка.

Защита металла шва от воздуха при дуговой сварке. При горении дуги и плавлении свариваемого и электродного металлов требуется защита сварочной ванны от действия газов воздуха (кислорода, азота, водорода), с тем чтобы они не проникали в жидкий металл и не ухудшали качество металла шва. Поэтому при сварке защищают зону дуги (нагреваемый электрод, саму дугу и сварочную ванну). По способу защиты металла от воздуха дуговую сварку раз-

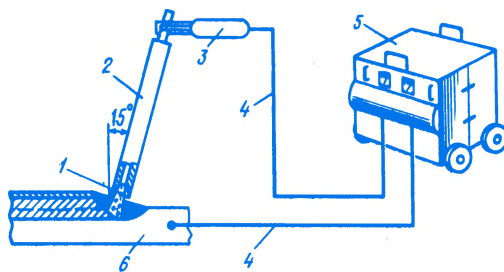


Рис. 3. Сварочная электрическая цепь с дугой

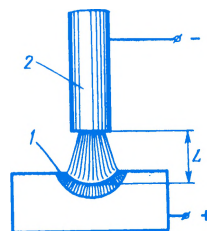


Рис. 4. Сварочная дуга:

1 — сварочная ванна, 2 — электрод; L — длина дуги

деляют на следующие виды: покрытыми электродами, под флюсом, порошковой проволокой, в защитном газе и др.

Покрытый электрод представляет собой металлический стержень с нанесенным на его поверхность слоем из смеси порошкообразных материалов на клеящем растворе. Сварка покрытыми электродами улучшает качество металла шва, так как при расплавлении они создают шлаковую и газовую защиту сварочной ванны от вредного влияния кислорода и азота воздуха. Покрытые электроды предназначены для ручной сварки, где две обязательные операции процесса (подача электрода в зону дуги и перемещение дуги по изделию с целью образования шва) сварщик выполняет вручную. Ручной сваркой покрытыми электродами можно выполнять швы в любом пространственном положении и в труднодоступных местах.

При дуговой сварке под флюсом (рис. 5) дуга 4 горит под порошкообразным флюсом 7, слой которого полностью закрывает дугу и место плавления металла. Электродом служит сварочная проволока 1. Флюс защищает расплавленный металл от газов воздуха и улучшает качество металла шва. Дуговая сварка под флюсом выполняется автоматами и полуавтоматами. Сварочный

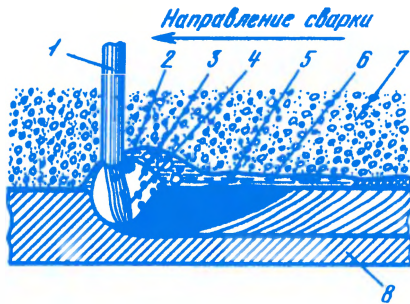


Рис. 5. Сварка под флюсом:

1 — сварочная проволока, 2 — образующаяся капля, 3 — газовый пузырь, 4 — дуга, 5 — сварочная ванна, 6 — расплавленный флюс, 7 — нерасплавленный флюс, 8 — изделие

автомат — это аппарат, в котором подача сварочной проволоки в дугу и перемещение дуги по изделию механизированы. В сварочном полуавтомате дуга перемещается вручную, механизирована только подача проволоки в дугу. Сварочная проволока вместе с токопроводящим проводом проходит внутри гибкого шланга, поэтому полуавтоматы называются шланговыми.

Для дуги, горячей под флюсом, нужны большие токи, кроме того, управление электродом вручную под флюсом сильно затруднено из-за невидимости дуги, поэтому механизированная сварка под флюсом практически заменена механизированной сваркой открытой дугой. Сварка открытой дугой выполняется порошковой проволокой, в защитном газе, самозащитной проволокой и сваркой со смешанной защитой.

Порошковая проволока (см. рис. 135) представляет собой свернутую из тонкой стальной ленты оболочку, внутри которой находится порошок из смеси веществ, играющих ту же роль в повышении устойчивости сварочной дуги и улучшении качества металла шва, что и электродное покрытие или флюс. Сварка порошковой проволокой осуществляется обычно шланговыми полуавтоматами.

Сварку в защитном газе проводят с подачей в зону дуги струи защитного газа. Сварка выполняется как плавящимся, так и неплавящимся электродом и может быть ручной, механизированной и автоматической. В качестве защитных газов применяют углекислый газ, аргон, гелий, иногда (для сварки меди) азот и смеси газов. Инертные газы (аргон, гелий) чаще используют для сварки легированных сталей и химически активных металлов (алюминий, титан) и их сплавов.

Дуговую сварку применяют как со свободным формированием металла шва, так и с принудительным.

Контактная сварка. Сварку осуществляют с применением давления и местного нагрева (рис. 6). Различают точечную, стыковую, шовную, рельефную и шовностыковую сварку.

Точечная контактная сварка изобретена в России Н. Н. Бенардосом в 1885 г. Для получения различной величины тока в трансформатор помещают регулируемое устройство. Витки первичной об-

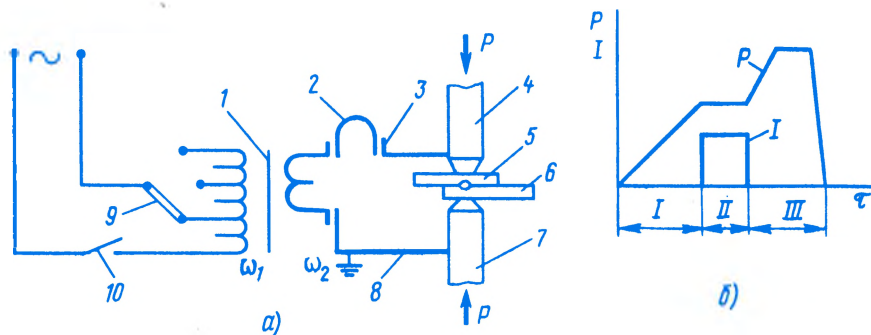


Рис. 6. Точечная контактная сварка:

а — электрическая схема машины и подвод тока к свариваемым деталям, б — диаграммы зависимостей давления P и тока I от времени сварки τ ; 1 — сердечник понижающего трансформатора, 2 — гибкая переключатель, 3, 8 — токоподводы, 4, 7 — электроды, 5, 6 — свариваемые детали, 9 — переключатель тока, 10 — прерыватель тока (контактор); ω_1 и ω_2 — витки обмоток трансформатора, I — сжатие свариваемых деталей, II — время прохождения сварочного тока, III — время проковки

мотки разбивают на секции, от которых делают отпайки к переключателю, что позволяет регулировать вторичное напряжение и ток для сварки, исходя из соотношений: $U_1/U_2 = \omega_1/\omega_2$; $U_2 = U_1\omega_2/\omega_1$; $I_2 = U_2 = \text{Const}/\omega_1$, где U_1 , ω_1 , U_2 , ω_2 — соответственно напряжение и число витков первичной и вторичной обмоток трансформатора.

Процесс точечной сварки имеет три этапа (рис. 6, б): предварительное сжатие деталей между электродами (*I*), нагрев сжатых деталей до температуры сварки (*II*) и охлаждение места сварки при увеличенном усилии сжатия (*III* — проковка). Длительность каждого этапа определяется технологическими условиями сварки. Например, при слишком быстром снятии усилия возможно ослабление горячей сварочной точки и низкое качество сварного соединения.

Контактная сварка широко применяется в производстве автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных машин, строительных конструкций и др. Сварка выполняется с применением ручных и автоматических устройств; имеются автоматы и роботы для выполнения контактной сварки.

Газовая и газопрессовая сварка. Изобретение газовой сварки относится к 1896 г. В России газовая сварка начала применяться с 1903 г. Газовая сварка применяется прежде всего для сварки чугунов и латуней, редко для соединений стальных листов толщиной 1–2 мм и в ремонтном деле.

Из горючих газов для сварки применяют в основном ацетилен. Ацетиленокислородная сварка выполняется плавлением (вручную), давлением (на машинах) — газопрессовой сваркой. Газопрессовая сварка в настоящее время утратила свое значение из-за относительно низкой получаемой прочности сварных соединений.

Электрошлаковая сварка. Впервые предложена в СССР, получила практическое применение в стране с 1949 г. В других странах мира она стала применяться благодаря технической помощи СССР.

Сущность процесса электрошлаковой сварки показана на рис. 7. Первоначально в пространстве, образованном кромками свариваемых деталей и формирующими

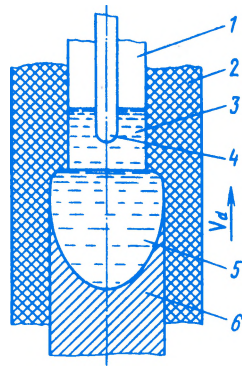


Рис. 7. Электрошлаковая сварка:

1 — изделие, 2 — формирующее приспособление, 3 — расплавленный шлак, 4 — металлический электрод, 5 — сварочная ванна, 6 — сварной шов

ми приспособлениями, соответствующими способами (электрической дугой и др.) создается ванна расплавленного шлака. В ванну погружают металлический электрод. Ток, проходящий между электродом и основным металлом через шлак, в силу электрического сопротивления поддерживает шлак в расплавленном состоянии, электрод и кромки деталей расплавляются, образуя металлическую ванну, а затем закристаллизовавшийся металл шва.

В процессе сварки флюс расходуется на образование шлаковой тонкой корки между поверхностями ползуна и шва, испарение, поэтому флюс периодически подается в плавильное пространство.

Бездуговой процесс при электрошлаковой сварке достигается значительным расстоянием (более 10 мм) от торца электрода до металлической ванны и применением шлака с соответствующими свойствами.

Обычно электрошлаковую сварку применяют для соединения стальных листов толщиной от 50 мм до нескольких метров; используют для соединения металла различного химического состава. Она в основном применяется при сооружении кожухов домен, толстостенных турбин, в производстве сварно-литых и сваркованных конструкций.

Электрошлаковый процесс применяют также для переплава стали, отливок деталей и др. Для электрошлакового процесса промышленность изготавливает специальное оборудование с автоматическим управлением.

Электронно-лучевая сварка. Первоначально появилась в пятидесятых годах во Франции; в СССР впервые в 1958 г. создана для сварки электронным лучом установка мод. МВТУ—МЭИ.

Электронный луч получают в вакуумном приборе — электронной пушке (рис. 8). В вакууме с раскаленного катода выделяются электроны, которые направляются к аноду — свариваемому изделию. Для получения электронного луча электроны фокусируются магнитным полем, создаваемым специальным устройством.

Электронный луч бомбардирует свариваемый металл непрерывно или импульсами и нагревает его до высоких температур. Температура нагрева свариваемого металла регулируется плотностью электрической энергии в луче. Для перемещения луча по шву служит магнитная отклоняющая система.

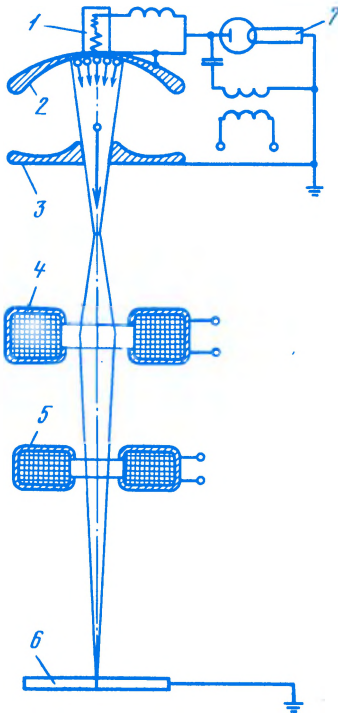


Рис. 8. Сварка электронным лучом в вакууме: 1 — катодная спираль, 2 — фокусирующая головка катода, 3 — первый анод с отверстием, 4 — фокусирующая магнитная катушка для регулирования диаметра пятна нагрева на изделии, 5 — магнитная система отклонения пучка, 6 — свариваемое изделие (анод), 7 — высоковольтный источник постоянного тока для питания катода

Длина луча изменяется фокусирующим устройством. Лучом можно манипулировать на расстояниях до 900 мм от изделия, что очень важно для сварки в труднодоступных местах.

Удельная тепловая мощность электронного луча в сотни и тысячи раз больше, чем удельная тепловая мощность обычной сварочной дуги. Если сварочная дуга при напряжении 20 В, токе 200 А и диаметре 10 мм имеет плотность энергии $\sim 4 \cdot 10^7$ Вт/м², то электронный луч при напряжении 100 кВ, токе 8 мА и диаметре 0,05 мм имеет плотность $4 \cdot 10^{11}$ Вт/м², т. е. в 10 000 раз большую. Это обеспечивает более высокие скорости сварки, узкие и глубокие швы, малый нагрев металла околошовной зоны, практически без перегрева металла и, как следствие этого, низкие сварочные деформации и повышенную прочность сварного соединения.

Плазменная сварка. Источником местного нагрева при этом виде сварки служит плазма. Плазмой называют высокотемпературный ионизирующийся газ. Минимальной температурой, при которой начинается самопроизвольная (автоматическая) ионизация, является температура свыше 5500 °С. В сварочной практике применяют плазменные струи с температурами до 50 000 °С. На рис. 9, а схематически показано получение плазменной струи. Питание осуществляется от источника постоянного тока. Минус подводится к электроду, плюс — к соплу. Дуга горит между электродом и соплом и выдувается газом с образованием струи плазмы. В горелках для сварки плазменной дугой (рис. 9, б) одним из электродов является изделие. Сварочную плазму редко применяют для сварки, для резки — широко.

Лазерная сварка. Ученые Н. Басов, А. Прохоров (СССР) и Ч. Таунс (США) удостоены Нобелевской премии в 1964 г. за создание лазеров, с помощью которых получают энергию в виде узконаправленного и одноцветного (для данного лазерного материала) излучения (луча). Излучателем квантового генератора может быть твердое тело, газ и газовые смеси, различные жидкости и др. Различают электрические и химические лазеры. Для формирования испускаемого электриче-

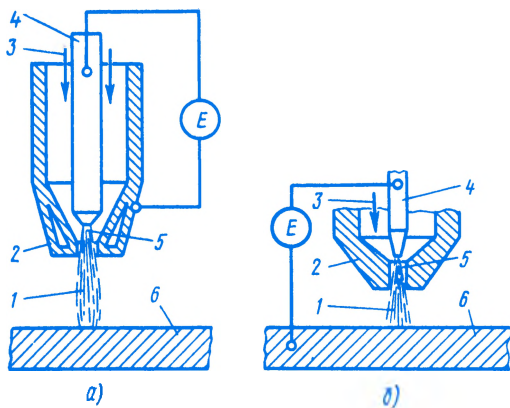


Рис. 9. Схема получения плазменной струи (а) и плазменной дуги (б):

1 — плазменная струя, 2 — плазмообразующее сопло, 3 — направление подачи газа, 4 — электрод, 5 — столб дуги, 6 — изделие, E — источник тока

ского лазера излучения и направления его на место сварки служит оптическая система, состоящая из призмы, линзы и сменного объектива. Луч лазера фокусируется оптической линзой в пятно диаметром от 0,01 до 0,1 мм. Лазерная сварка в СССР и за рубежом находится в стадии освоения и поэтому редко используется. Для резки металлов лазерный луч перспективен, особенно от химических лазеров.

Диффузионная сварка. Впервые в мире предложена в СССР Н. Ф. Казаковым. Процесс сварки применяется с 1953 г. Сущность процесса диффузионной сварки состоит в том, что детали с полированными поверхностями плотно прижимаются друг к другу и нагреваются в вакууме. Это приводит к взаимной диффузии атомов по контактирующим поверхностям и получению прочного соединения. Диффузионную сварку применяют для получения сварных соединений с высокоточными размерами, для соединения разнородных материалов, не поддающихся сварке плавлением, для изделий с высокой прочностью сварных соединений. Диффузионной сваркой соединяют до 560 пар разнородных материалов, не поддающихся другим видам сварки.

Кузнечная сварка начинается с подготовки металла. Концы заготовок нагревают в горне (печи) дважды: сначала низкоуглеродистую сталь доводят до ярко-красного цвета (900—1000 °С), а затем с нанесенным на поверхность флю-

сом (бурой, поваренной солью и кварцевым песком) до температуры, при которой металл имеет ослепительно белый цвет. Затем заготовки очищают от окалины и шлака, накладывают друг на друга и проковывают сначала легкими, но частыми, а затем сильными ударами кувалды (молота). Место сварки отделяют гладилками, обжимками и другим инструментом. Кузнечной сваркой обычно пользуются в сельских ремонтных мастерских.

Термитная и термитно-прессовая сварка. Источником энергии при термитной сварке служит теплота, выделяемая при горении термита (порошка из железной окалины и алюминия). Первоначально термитную сварку применяли для соединения трамвайных рельсов, позднее для железнодорожных. В настоящее время термитная сварка утратила свое значение из-за трудности автоматизации процесса, низкой прочности сварных соединений и относительной дороговизны.

Индукционно-прессовая сварка осуществляется индуцированным переменным током и прессованием нагретого металла. Индуктор представляет собой инструмент в виде металлического кольца, надеваемого на стык труб, подлежащих сварке. Под воздействием высокочастотного тока, проходящего по индуктору, образуется высокочастотное магнитное поле. Это поле создает в металле индуцированный ток, плотность которого регулируется частотой тока в индукторе. Применение тока радиочастотного диапазона (300 000—500 000 Гц) позволяет получать более высокую концентрацию энергии, чем при контактной и дуговой сварке. Токами повышенных частот сваривают более тонкий металл. С помощью индуктора выполняют также термическую обработку сварных соединений. Индукционно-прессовую сварку применяют не только для соединения тонкостенных труб, но и для изготовления тонкостенных балок, стоек.

Сварка трением осуществляется теплотой, возникающей от трения при перемещении соединяемых деталей относительно друг друга, которые сжаты осевой силой. Сварку выполняют на спе-

циальных машинах. Одна из свариваемых деталей подвижна, вторая, прижатая к первой, вращается. Когда нагрев в стыке достигает температуры сварки (для стали 900–1200 °С), трение резко прекращают, а осевое усилие увеличивают.

Сварка трением весьма экономична в отношении использования энергии. Она широко применяется в сельскохозяйственном машиностроении. Существует ряд видов сварки трением, различаемых определенными признаками.

Ультразвуковая сварка по существу процесса аналогична сварке трением. Она выполняется совместным действием механических колебаний высокой частоты (свыше 20 кГц) и небольших сжимающих усилий. Механические колебания создаются ультразвуком. Колебания и сжимающие усилия передаются свариваемым листам через специальные устройства. Эти колебания разрушают поверхностные загрязнения, нагревают свариваемые поверхности и с помощью давления обеспечивают атомную связь между свариваемыми деталями. Получается точечная сварка. Наложением одной точки на другую получают шов.

Ультразвуковую сварку можно применять для соединения тонких материалов (алюминия толщиной менее 1,5 мм, сплавов железа – менее 1 мм). Ультразвуком сваривают неметаллические материалы: полиэтиленовые пленки, пластмассы и др.

Сваркой взрывом выполняют нахлесточные соединения. На внешнюю поверхность тонкого листа, находящегося с определенным зазором от нижнего толстого листа, наносят определенное количество взрывчатого вещества, при зажигании которого образуется детонационная волна, приводящая к ударному прижиму тонкого листа к толстому. Между листами от начала соединения получается направленная сила (кумулятивный эффект), которая очищает поверхности с внутренних сторон от загрязнений, выбрасывая их наружу. При установленном процессе тонкая пластина на некоторой длине неоднократно перегибается, происходит высокоскоростное соударение тонкого металла с неподвижной толстой пластиной. Все это приводит к тесному

сближению свариваемых частей и образованию у контактирующих металлов пластической деформации и атомного сцепления.

Сварку взрывом применяют для соединения разнородных металлов и сплавов (получение биметаллических листов, нанесение порошковых покрытий на металлические поверхности и др.).

Холодную сварку осуществляют без нагрева металла внешним источником теплоты, но с нагревом, возникающим от пластической деформации при сварке. Сварке подвергают только пластичные материалы (медь, алюминий, свинец и др.). Специальными клещами соединяют алюминиевые шины, провода.

Сварку прокаткой применяют на металлургических заводах по производству слоистого прокатного металла (например, тонкую нержавеющую сталь сваривают с толстой низкоуглеродистой сталью). Сварка является высокопроизводительной и экономичной.

§ 4. Основные типы сварных соединений

Сварным соединением называют неразъемное соединение двух деталей, выполненное сваркой. При ручной дуговой сварке применяют стыковое, угловое, тавровое, нахлесточное и торцовое соединения. Применяется также соединение нахлесточное с точечным сварным швом, выполненное дугой (ГОСТ 14776–79). Некоторые формы поперечных сечений основных типов сварных соединений представлены на рис. 10. Тип сварного соединения определяет проектировщик, а форму поперечного сечения данного типа соединения устанавливает технолог.

Каждый тип сварного соединения имеет свои преимущества и недостатки. Стыковое соединение наиболее распространено в сварных изделиях, так как имеет преимущества перед остальными:

1. Широкий диапазон толщин свариваемых частей (1–175 мм).
2. Наименьший расход электродного металла на образование соединения.
3. Надежность и удобство контроля качества соединения.

Недостатки стыковых соединений перед другими типами:

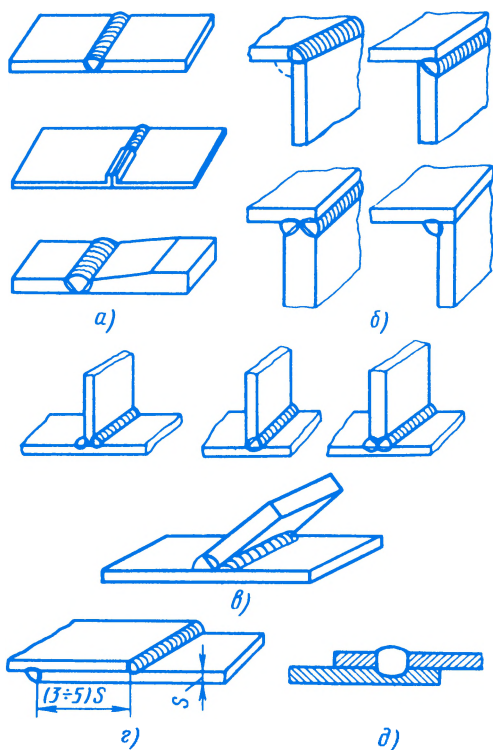


Рис. 10. Основные типы сварных соединений: а – стыковые, б – угловые, в – тавровые, г – нахлесточное, д – нахлесточное точечное

1. Необходимость более точной сборки деталей под сварку.

2. Сложность обработки кромок под сварку профильного металла (уголки, швеллеры, тавры, двутавры).

Недостатки нахлесточных соединений перед другими типами:

1. Повышенный расход основного металла на перекрытие в соединении. Величина нахлестки по ГОСТу должна быть не менее трех толщин тонкой детали; ограничивается максимальная толщина для соединения не более 60 мм.

2. Распределение силового потока в нахлесточном соединении является нелинейным, поэтому оно хуже работает на переменную или динамическую нагрузку, чем стыковое (рис. 11).

3. Возможность проникновения влаги в щель между перекрываемыми листами, что вызывает коррозию сварного соединения.

4. Сложность определения дефектов сварки.

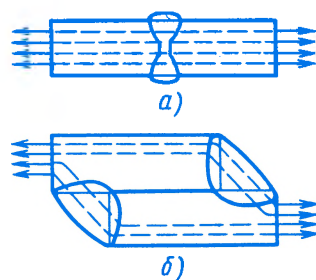


Рис. 11. Распределение силовых линий в соединениях:

а – стыковым, б – нахлесточном

Преимущества нахлесточного соединения:

1. Отсутствие скоса кромок под сварку.

2. Простота сборки соединения (возможность подгонки размеров за счет величины нахлестки).

Соединения с точечными швами применяют в нахлесточных и тавровых соединениях, при этом получают прочные, но неплотные соединения. Верхний лист пробивается или просверливается, а отверстие заваривается так, чтобы был частично проплавлен нижний лист (или профиль). При толщине верхнего листа до 12 мм его можно предварительно не просверливать, а проплавливать дугой.

§ 5. Классификация сварных швов

Сварные швы подразделяют по типу сварного соединения и геометрическому очертанию сечения шва на стыковые и угловые (рис. 12). Стыковой шов характеризуется шириной e и усилением q , глубиной провара h , зазором b ; угловой – катетом K .

Стыковые швы применяют для выполнения стыковых соединений. Угловые швы применяют в нахлесточных, тавровых и угловых соединениях. Размеры сечения швов установлены ГОСТ 5264–80.

По форме наружной поверхности стыковые швы могут быть плоские или выпуклые. Угловые швы могут выполняться и вогнутыми. Сварные соединения с выпуклыми швами лучше работают на статическую нагрузку, чем соединения с плоскими или вогнутыми швами. Однако швы со слишком большой выпуклостью

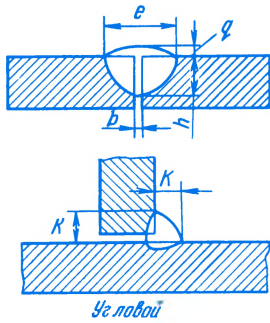


Рис. 12. Геометрические параметры сварных швов

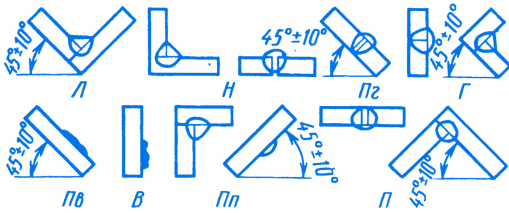


Рис. 13. Основные положения сварки и их обозначения

вследствие большого количества наплавленного металла неэкономичны. Стыковые соединения с плоскими швами и угловые, тавровые и нахлесточные соединения с вогнутыми швами лучше работают на динамическую или знакопеременную нагрузку, чем соединения с выпуклыми швами. Это объясняется тем, что при плоских и вогнутых швах нет резких переходов от основного к наплавленному металлу, в которых имеется концентрация напряжений и от которых может начаться разрушение соединения. В соответствии со стандартом допускается выпуклость шва при нижней сварке до 2 мм и не более 3 мм для швов, выполненных в остальных положениях. Вогнутость допускается во всех случаях не более 3 мм.

Согласно ГОСТ 11969—79, швы подразделяют по положению: в лодочку — Л, нижние — Н, полугоризонтальные — Пг, горизонтальные — Г, полувертикальные — Пв, вертикальные — В, полупотолочные — Пп, потолочные — П (рис. 13).

Сварка нижних швов наиболее удобна, легко поддается механизации. Наиболее сложен и труден потолочный шов,

выполнение которого требует специальной тренировки. Выполнение горизонтальных и вертикальных швов несколько труднее, чем нижних, но легче потолочных. Вертикальные, горизонтальные и потолочные швы в большинстве случаев применяют в строительстве и монтаже крупных сооружений и значительно реже — в заводских условиях, где с помощью приспособлений удастся почти полностью сваривать конструкцию только в нижнем положении. Многие сварщики высокой квалификации выполняют вертикальные швы с лучшим качеством, чем нижние, так как в этом случае из сварочной ванны легче удаляются загрязнения и металл шва становится чище, плотнее и прочнее.

По отношению к направлению действующих усилий швы подразделяют на фланговые (продольные, боковые), оси которых параллельны направлению усилия; лобовые (поперечные), оси которых перпендикулярны направлению усилия; комбинированные и косые (рис. 14).

По протяженности различают швы сплошные и прерывистые. Прерывистый шов может быть цепным или шахматным. Цепной шов представляет собой двусторонний прерывистый шов таврового соединения, в котором участки сварки и промежутки расположены по обеим сторонам стенки один против другого (рис. 14, а). Шахматный шов — двусторонний прерывистый шов таврового соединения, в котором промежутки на

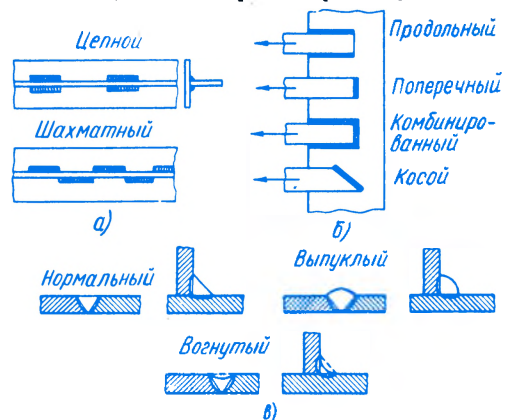


Рис. 14. Классификация сварных швов по протяженности (а), отношению к направлению действующих усилий (б), форме наружной поверхности (в)

одной стороне стенки расположены против сваренных участков шва на другой стороне. Расстояние от начала проваренного участка шва до начала следующего участка называется шагом шва.

По условиям работы швы подразделяются на рабочие, воспринимающие внешние нагрузки, и связующие (соединительные швы), предназначенные только для скрепления частей изделия. Связующие швы часто называют нерабочими швами.

§ 6. Условные обозначения швов сварных соединений

На чертежах сварных изделий применяют систему условного изображения и обозначения швов сварных соединений по ГОСТ 2.312-72.

В планах и боковых видах чертежа место видимого шва изображают сплошной линией, а невидимого — штриховой линией (рис. 15, а, б). В поперечных сечениях границы шва изображают сплошными полужирными линиями, а кромки свариваемых частей — сплошными тонкими линиями (рис. 15, в).

Обозначение шва отмечается выноской, состоящей из наклонной линии и полки. Наклонная линия заканчивается односторонней стрелкой на месте шва.

Характеристика шва проставляется или над полкой (когда односторонней стрелкой указана лицевая сторона шва), или под полкой (когда указана обратная сторона шва) и состоит из следующих элементов (табл. 1):

обозначения стандарта на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений;

буквенно-цифрового обозначения швов, принятого в стандарте;

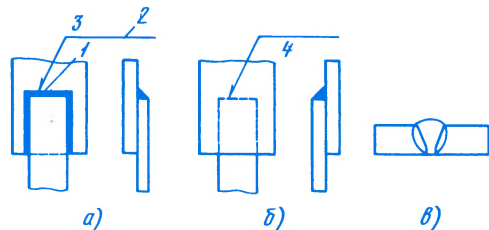


Рис. 15. Условное изображение сварных швов: 1 — односторонняя стрелка, 2 — полка, 3, 4 — элементы видимого и невидимого швов

условного обозначения вида сварки, принятого в стандарте (иногда не указывается);

знака профиля шва и размера его катета (только для швов угловых, тавровых и нахлесточных соединений);

размера длины провариваемого участка (для прерывистого шва), шага и знака, обозначающего цепной или шахматный шов;

вспомогательных знаков (табл. 2).






Все элементы условного обозначения (табл. 3) располагаются в указанной последовательности и отделяются друг от друга знаком дефис (за исключением вспомогательных знаков).

Буквенные обозначения вида сварки необходимо проставлять на чертеже только в случае применения нескольких видов сварки в данном изделии, например П — полуавтоматическая дуговая сварка, Г — газовая, У — дуговая в углекислом газе, А — автоматическая дуговая и др. Ручная дуговая сварка не имеет буквенного обозначения. Можно не указывать на полке линии-выноски обозначения стандарта, если все швы в изделии выполняются по одному стандарту. В этом случае следует сделать соответствующее указание в примечаниях на чертеже.

Таблица 1. Буквенно-цифровое обозначение швов сварных соединений

ГОСТ	Наименование ГОСТа	Тип соединения	Буквенно-цифровое обозначение швов
5264-80	Ручная дуговая сварка. Соединения сварные	Стыковое Угловое Тавровое Нахлесточное	C1 — C40 У1 — У10 Т1 — Т9 Н1 — Н2
14771-76	Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные	Стыковое Угловое Тавровое Нахлесточное	C1 — C27 У1 — У10 Т1 — Т9 Н1 — Н4

Таблица 2. Вспомогательные знаки

Особенность шва	Условный знак
Прерывистый шов с цепным расположением участков То же, с шахматным расположением	
Монтажный шов	
Шов по замкнутому контуру То же, по незамкнутому	
Шов со снятым усилением	
Шов, имеющий местную обработку в переходах к основному металлу	

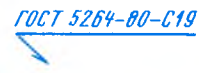
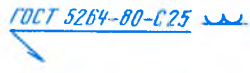
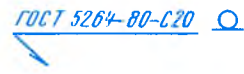
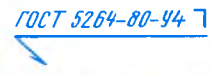
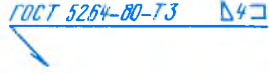
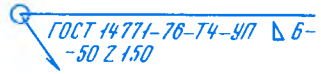



§ 7. Расчет сварных швов на прочность

При проектировании сварных конструкций прочность их определяется на основании расчетов, которые сводятся к определению напряжений, возникающих в деталях изделия от нагрузок.

Существуют два основных метода расчета конструкций: по допускаемым напряжениям и по предельным состояниям.

При расчете конструкций по допускаемым напряжениям условие прочности имеет вид $\sigma = [\sigma]$, где σ — напряжение в опасном сечении детали, $[\sigma]$ — допускаемое напряжение, которое составляет некоторую часть от предела текучести стали: $[\sigma] = \sigma_t/n$, где n — коэффициент запаса прочности.

Таблица 3. Условное обозначение сварных швов

Наименование шва	Обозначение
Стыковой односторонний на остающейся подкладке, со скосом двух кромок, выполненный дуговой сваркой покрытыми электродами	
Стыковой двусторонний, с двумя симметричными скосами двух кромок, выполненный дуговой сваркой покрытыми электродами. Участки перехода от шва к основному металлу дополнительно обработаны	
Стыковой односторонний, со скосом двух кромок, замковый. Усиление шва снято механической обработкой	
Шов углового соединения односторонний, без скоса кромок, выполненный дуговой сваркой покрытыми электродами на монтаже. Катет шва 5 мм	
Шов, таврового соединения двусторонний, без скоса кромок, выполненный полуавтоматической сваркой по незамкнутому контуру. Катет шва 4 мм	
Шов таврового соединения невидимый односторонний, выполненный по замкнутому контуру дуговой сваркой в углекислом газе плавящимся электродом. Шов прерывистый, с шахматным расположением участков. Катет шва 6 мм, длина провариваемого участка 50 мм, шаг 150 мм	
Стыковой двусторонний, с двумя симметричными скосами двух кромок, выполненный ручной дуговой сваркой. Обозначение упрощенное, если стандарт указан в примечаниях чертежа	
Упрощенное обозначение при наличии на чертеже одинаковых швов и при указании обозначения у одного из них за № 1	
То же, если все швы на чертеже одинаковы	

Коэффициент запаса прочности имеет различные значения в зависимости от ряда условий (характера нагрузки, толщины листов, марки стали и др.). Обычно коэффициент запаса прочности для изделий, выполняемых из низкоуглеродистой стали, составляет 1,5–1,7.

Метод расчета по допускаемым напряжениям прост. Коэффициент запаса прочности устанавливают без точного учета условий работы конструкции.

Более точным методом расчета конструкций, учитывающим условия работы, однородность материала конструкции и др., является метод расчета по предельным состояниям.

При расчете конструкций по предельному состоянию условие прочности записывается: $N/F \leq mR$, где N – расчетное усилие, Н; F – площадь сечения, м²; R – расчетное сопротивление материала, Н/м²; m – коэффициент условий работы, который учитывает степень ответственности конструкции, жесткость узлов.

Стыковые швы на прочность рассчитывают по формуле $N = R_c^{cb} S l$, где N – расчетная продольная сила, действующая на соединение, Н; R_c^{cb} – расчетное сопротивление сварного стыкового соединения растяжению или сжатию, Н/м²; S – толщина металла в расчетном сечении, м; l – длина шва м.

Максимальное усилие N для угловых лобовых швов рассчитывают по формуле $N = 0,7 K l R_c^{cb}$, где K – катет шва, м; l – длина шва, м; R_c^{cb} – расчетное сопротивление срезу, Н/м².

Коэффициент 0,7 показывает, что расчет ведется из предположения разрушения шва по гипотенузе прямоугольного треугольника (форма сечения углового шва).

Максимальное усилие N для угловых фланговых швов рассчитывается по формуле $N = 2 \cdot 0,7 K l R_c^{cb}$.

Примеры. 1. Определить расчетное усилие в стыковом соединении, выполненном ручной сваркой, если расчет-

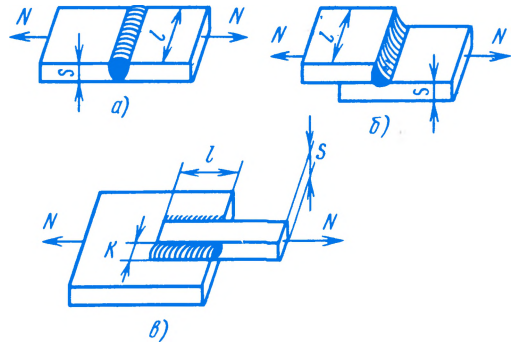


Рис. 16. Определение расчетных усилий на сварные швы:

а – стыковой, б – угловой лобовой, в – угловой фланговый

ное сопротивление растяжению металла шва $18 \cdot 10^7$ Па, толщина шва $S = 0,01$ м, $l = 0,2$ м (рис. 16, а). $N = 18 \cdot 10^7 \cdot 0,01 \cdot 0,2 = 36 \cdot 10^4$ Н.

2. Определить расчетное усилие в нахлесточном соединении с лобовым швом, если $R_c^{cb} = 15 \cdot 10^7$ Па, катет шва $K = 0,01$ м, $l = 0,2$ м (рис. 16, б). $N = 0,7 \cdot 0,01 \cdot 0,2 \cdot 15 \cdot 10^7 = 21 \cdot 10^4$ Н.

3. Определить расчетное усилие в нахлесточном соединении с двумя фланговыми швами, если $K = 0,01$ м, $l = 0,1$ м (рис. 16, в). $N = 2 \cdot 0,7 \cdot 0,01 \cdot 0,1 \cdot 15 \cdot 10^7 = 21 \cdot 10^4$ Н.

Контрольные вопросы

1. Что называется сваркой?
2. Назовите основные виды сварки плавлением, давлением.
3. Перечислите основные виды дуговой сварки, различаемые по способу защиты металла сварочной ванны от воздуха.
4. Назовите основные типы сварных соединений, их преимущества и недостатки?
5. Расскажите о классификации сварных швов.
6. Изобразите условные обозначения некоторых швов сварных соединений.

ГЛАВА II. ОБОРУДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ПОСТА ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ И ЕГО ОБСЛУЖИВАНИЕ

§ 8. Сварочный пост

Сварочный пост — рабочее место сварщика, оборудованное всем необходимым для выполнения сварочных работ. Сварочный пост укомплектован источником питания, электрическими проводами, электрододержателем, сборочно-сварочными приспособлениями и инструментом, щитком.

Сварочные посты в зависимости от рода применяемого тока и типа источника питания дуги делят на виды: постоянного тока с питанием от сварочного выпрямителя или сварочного преобразователя; переменного тока с питанием от сварочного трансформатора.

Сварочные посты могут быть стационарными или передвижными.

Стационарные посты представляют собой открытые сверху кабины для сварки изделий небольших размеров.

В кабине обычно помещают однопостовой сварочный трансформатор или сварочный выпрямитель. Вращающийся преобразователь постоянного тока создает при работе сильный шум, поэтому его лучше размещать за пределами кабины. При питании сварочных постов от многопостовых выпрямителей сварочный ток разводят по кабинам проводами или шинами. В кабине устанавливают рубильник или магнитный пускатель для включения источника сварочного тока. На рабочем столе располагают специальные приспособления для сборки и зажатия свариваемых деталей, а также ящики для покрытых электродов и инструмента. На стенке кабины подвешивают сушильный шкаф для прокалики электродов.

Передвижные посты применяют при сварке крупногабаритных изделий непосредственно на производственных площадях цехов или строи-

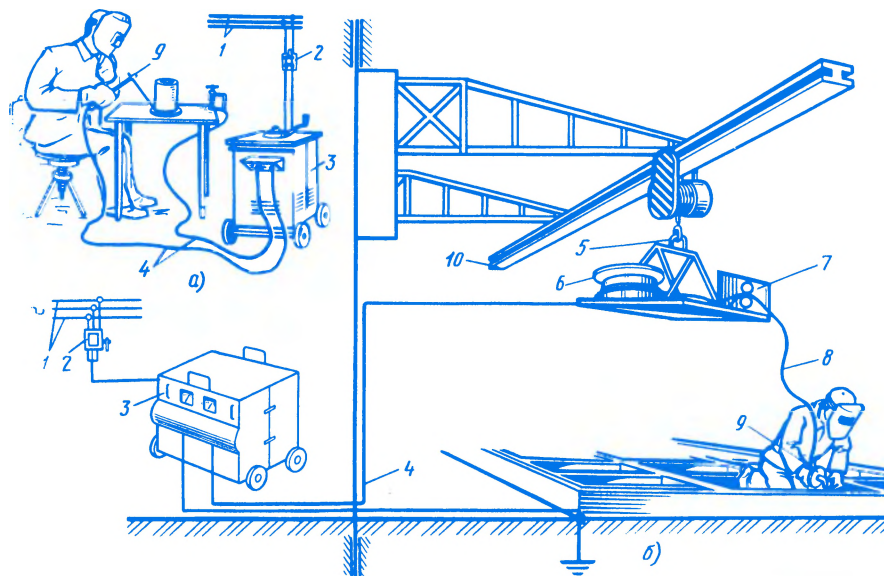


Рис. 17. Сварочные посты для ручной и механизированной сварки:

a — ручная сварка от сварочного трансформатора или сварочного выпрямителя, *б* — сварка шланговым полуавтоматом; 1 — сеть электропитания, 2 — рубильник или магнитный пускатель, 3 — источник питания дуги, 4 — сварочные провода, 5 — подвеска полуавтомата, 6 — катушка с электродной проволокой, 7 — механизм подачи проволоки, 8 — шланг для подачи электродной проволоки, 9 — горелка или электрододержатель, 10 — консоли с рельсом

тельных площадках. Защита от лучей дуги в этих случаях производится щитами, а защитой источников питания дуги от дождя и снега служат навесы или на монтаже передвижные машинные залы.

Сварочные посты для ручной и механизированной дуговой сварки показаны на рис. 17.

§ 9. Устройство сварочного трансформатора

Сварочный трансформатор преобразует переменный ток одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты и служит для питания сварочной дуги. Трансформатор имеет стальной сердечник (магнитопровод) и две изолированные обмотки. Обмотка, подключенная к сети, называется первичной, а обмотка, подключаемая к электрододержателю и свариваемому изделию — вторичной. Для надежного зажигания дуги вторичное напряжение сварочных трансформаторов должно быть не менее 60–65 В; напряжение дуги при ручной сварке обычно не превышает 20–30 В.

Одним из наиболее распространенных источников переменного тока является сварочный трансформатор типа ТД-401У2 (рис. 18). Расшифровка условного обозначения: Т — трансформатор, Д — дуговой, 4 — условное обозначение номинального сварочного тока, 01 — регистрационный номер, У2 — климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150–69. В нижней части сердечника 1 находится первичная обмотка 3, состоящая из двух катушек, расположенных на двух стержнях. Катушки первичной обмотки закреплены неподвижно. Вторичная обмотка 2, также состоящая из двух катушек, расположена на значительном расстоянии от первичной. Катушки как первичной, так и вторичной обмоток соединены параллельно. Вторичная обмотка — подвижная и может перемещаться по сердечнику с помощью винта 4 и рукоятки 5, находящейся на крышке кожуха трансформатора.

Сварочный ток регулируют изменением расстояния между первичной и вторичной обмотками. При вращении рукоятки 5 по часовой стрелке вторичная обмотка приближается к первичной, маг-

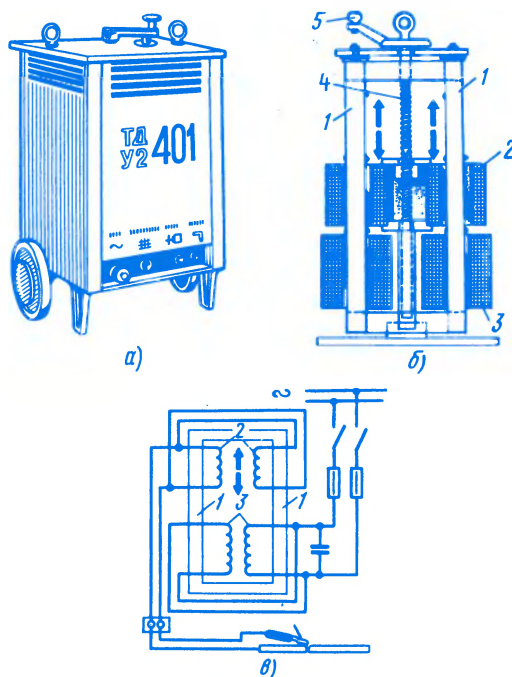


Рис. 18. Сварочный трансформатор ТД-401У2: а — общий вид, б — вид без кожуха, в — электрическая схема

нитный поток рассеяния и индуктивное сопротивление уменьшаются, сварочный ток возрастает. При вращении рукоятки против часовой стрелки вторичная обмотка удаляется от первичной, магнитный поток рассеяния растет (индуктивное сопротивление увеличивается) и сварочный ток уменьшается. Пределы регулирования сварочного тока 65–460 А. Последовательное соединение катушек первичной и вторичной обмоток позволяет получать малые сварочные токи с пределами регулирования 40–180 А.

Диапазоны тока переключают выведенной на крышку рукояткой. Однотипными являются трансформаторы ТД-307У2, ТД-503У2 и другие серии ТД (см. § 93).

§ 10. Устройство сварочного выпрямителя

Свойство некоторых материалов пропускать электрический ток в одном направлении используется в сварочной технике для преобразования переменного тока в пульсирующий постоянный ток. Материалами выпрямительного элемента

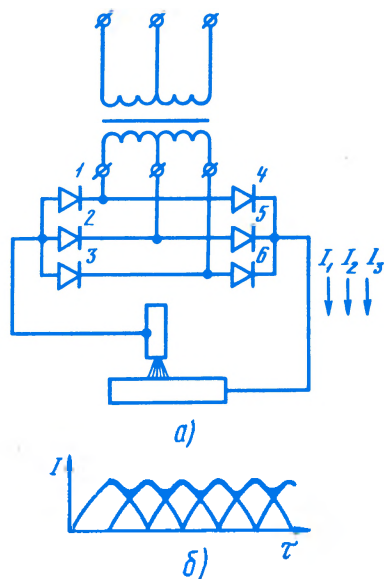


Рис. 19. Трехфазная схема выпрямления переменного тока:

a — схема включения, *б* — выпрямленный ток внешней цепи; 1–6 — полупроводниковые вентили (диоды)

(вентиль) служат селен и кремний. Сварочные выпрямители выполняют в большинстве случаев по трехфазной схеме, преимущества которой заключаются в большом числе пульсаций напряжения (рис. 19) и более равномерной нагрузке трехфазной сети.

Одним из распространенных является сварочный выпрямитель ВД-306. Он состоит из понижающего трехфазного трансформатора с подвижной обмоткой, блока вентилей и устройства, регулирующего сварочный ток. Трансформатор выпрямителя имеет два диапазона регулирования сварочного тока: малых токов — при включении обмоток трансформатора звездой и больших токов — при включении треугольником. Первичная обмотка сварочного трансформатора выпрямителя ВД-306 подвижная, катушки вторичной обмотки закреплены в верхней части сердечника. Сварочный выпрямитель имеет три панели с зажимами для присоединения к ним электрических проводов. Две из них предназначены для подключения проводов сети и сварочных проводов, третья — для переключения диапазонов сварочного тока.

Сварка пульсирующим постоянным током может производиться на прямой

и обратной полярности. При прямой полярности изделие присоединяется к зажиму «+» выпрямителя, а электрод — к зажиму «-»; при обратной полярности — наоборот.

Включение сварочного выпрямителя ВД-306 осуществляется пакетным выключателем ПВ.

Техническая характеристика на сварочные выпрямители других типов дана в § 94.

§ 11. Устройство сварочного преобразователя

Сварочный преобразователь состоит из сварочного генератора постоянного тока и приводного электродвигателя, размещенных обычно в общем корпусе и на общем валу. Приводной электродвигатель преобразует электрическую энергию переменного тока в механическую, а сварочный генератор преобразует механическую энергию постоянного тока в электрическую энергию постоянного тока, питающую сварочную дугу. Для вращения генератора в сварочных генераторах применяется трехфазный асинхронный электродвигатель. Сварочный генератор постоянного тока состоит из статора с магнитными полюсами и якоря с обмоткой и коллектором. При работе генератора якорь вращается в магнитное поле, создаваемое полюсами, обмотка якоря пересекает магнитные линии полюсов генератора и в витках обмотки возникает переменный ток, который с помощью коллектора преобразуется в постоянный. К коллектору прижаты угольные щетки, через которые постоянный ток подводится к зажимам. К этим зажимам присоединяют сварочные провода, идущие к электрододержателю и изделию.

Снижение напряжения при нагрузке (при горении дуги) и ограничение силы тока короткого замыкания осуществляется взаимодействием магнитных потоков, создаваемых обмотками полюсов.

Преобразователь установлен на тележке для перемещения по цеху или рабочей площадке.

Регулирование сварочного тока производится реостатом, включенным в обмотку магнитных полюсов.

Сварочные преобразователи изготовляют по различным электрическим схемам, описания которых приведены в гл. XVIII.

Наряду с генераторами коллекторного типа применяют сварочные генераторы бесколлекторного типа (вентильные сварочные генераторы постоянного тока — см. гл. XVIII).

§ 12. Обслуживание источников питания дуги

Обслуживание электросварочного оборудования, в том числе источников питания дуги, обычно входит в обязанности главного сварщика или главного энергетика или другого ответственного, назначенного приказом по предприятию. Он организует монтаж оборудования, обучение обслуживающего персонала (электромонтеров по сварочному оборудованию, наладчиков и др.), наблюдение за правильностью эксплуатации и ремонта оборудования. Подключение и отключение от сети, заземление и техническое обслуживание с ремонтом источников питания производятся обученными электромонтерами, допущенными к этим работам.

На предприятиях, где нет специально прикрепленных к сварочным постам электромонтеров, сварщикам разрешается подключать и отключать сварочные провода, продувать сжатым воздухом сварочные преобразователи и трансформаторы, чистить коллекторы, закреплять контакты сварочной цепи.

Основные обязанности сварщика по обслуживанию источника питания:

1. Перед включением источника питания очистить его от пыли и грязи, проверить надежность изоляции сварочных проводов и их соединения, а также оградить место сварки щитами, ширмами или брезентовыми занавесями. При обнаружении дефектов в источнике и в сварочных проводах сообщить об этом мастеру, наладчику или электромонтеру для их устранения. Рекомендуется иметь журнал для регистрации неисправностей и их устранения.

2. Убедиться в наличии заземления.

3. Обеспечить защиту оборудования от атмосферных осадков.

4. Включить источник питания магнитным пускателем или рубильником.

5. Во время сварки работать в брезентовых рукавицах и брезентовом костюме. В сырую погоду или в сыром помещении пользоваться резиновыми ковриками.

§ 13. Принадлежности и инструмент сварщика

Для зажатия электрода и подвода к нему сварочного тока служит электрододержатель. Более совершенными являются электрододержатели с пружинами (рис. 20); применяют также винтовые, пластинчатые, вилочные и другие типы электрододержателей.

Согласно ГОСТ 14651—78Е, электрододержатели выпускают трех типов в зависимости от силы сварочного тока: I типа — для тока 125 А; II типа — 125—315 А; III типа — 315—500 А. Во всех типах электрододержатель должен выдерживать без ремонта 8000 зажимов электродов. Время смены электрода не должно превышать 4 с.

Щитки изготовляют согласно ГОСТ 12.4.035—78 из легких и негорючих материалов (спецпластмасс). Масса ручного щитка не должна превышать 0,48 кг, наголовного — 0,50 кг.

Защитные стекла (светофильтры) предназначены для защиты глаз и кожи лица от лучей дуги, брызг металла и шлака. ГОСТ 12.4.080—79 предусматривает 13 классов (номеров) светофильтров при сварке на токах от

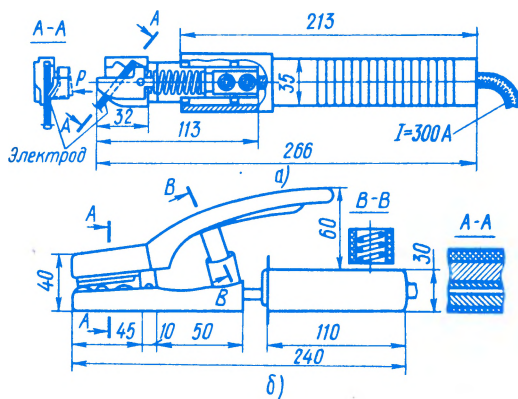


Рис. 20. Типы электрододержателей с пружиной:

а — продольной, б — поперечной

5 до 1000 А. Номер светофильтра подбирают в зависимости от тока, состава свариваемого металла, вида дуговой сварки, различаемой способом защиты сварочной ванны от действия газов воздуха и индивидуальных особенностей зрения сварщика. Сварка покрытыми электродами при токе 100 А выполняется со светофильтром С5; 200 А—С6; 300 А—С7; 400 А—С8; 500—600 А—С9 и т. д. При сварке плавящимся электродом тяжелых металлов в инертном газе пользуются светофильтром на номер меньше, а легких металлов — на номер больше по сравнению со светофильтром при сварке покрытыми электродами. Шланговая сварка в СО₂ при токе 50—100 А выполняется со светофильтром С1; 100—150 А—С2; 150—250 А—С3; 250—300 А—С4; 300—400 А—С5 и т. д.

Размер светофильтра 52 × 102 мм. Светофильтр вставляют в рамку щитка. Светофильтр защищают от брызг снаружи обычным оконным стеклом. Прозрачное стекло меняют по мере загрязнения.

Кабели и сварочные провода служат для подвода тока от источника питания к электрододержателю и изделию. Электрододержатели присоединяют к гибкому с медными жилами кабелю ПРГД или ПРГДО (ГОСТ 6731—77 Е). При отсутствии значительных механических воздействий можно использовать кабель АПРГДО с алюминиевыми жилами. Медный кабель ПРГД может противостоять воздействию ударных нагрузок, а также трению о металлические конструкции, абразивные материалы. Медный кабель ПРГДО и алюминиевый АПРГДО не могут подвергаться значительному механическому воздействию. Длина гибкого кабеля, к которому присоединяется электрододержатель, обычно равна 2—3 м, остальная часть его может быть заменена кабелями марок КРПТ, КРПТН, КРПГ, КРПС, КРПСН с медными жилами и АКРПТ, АКРПТН с алюминиевыми жилами (ГОСТ 13497—77Е). Кабель марки КРПС имеет повышенную гибкость и может в процессе работы подвергаться значительным ударным нагрузкам. Кабель разных марок соединяют муфтами, пайкой или медными наконечниками и болтами.

Провод, соединяющий свариваемое изделие с источником питания, может быть менее гибким и более дешевым. В этом случае применяют провод марки ПРГ (ГОСТ 20 520—80).

Для присоединения к свариваемому изделию провод часто снабжают быстродействующим зажимом, изготовленным из электропроводного металла (меди, бронзы). Зажимы могут быть пружинного или винтового типа (рис. 21). Проводом от источника питания до изделия может служить алюминиевая или стальная шина, уложенная в деревянном кожухе.

Сечения медных проводов (жил) выбирают по установленным нормативам для электротехнических установок 5—2 А/мм² при токах 100—300 А.

Одежда сварщика (костюм и халат) шьется из брезентовой парусины, иногда из специальной (пленочной) ткани. Брюки надевают поверх обуви для предохранения ног от ожогов горячими огарками, образующимися при смене электродов, и брызгами металла. Одежда из прорезиненного материала не применяется, так как легко прожигается нагретыми частицами металла. Все сварщики должны пользоваться брезентовыми рукавицами. При выполнении сварочных работ внутри замкнутых сосудов (котлов, емкостей, резервуаров и др.) сварщиков обеспечивают резиновыми ковриками, галошами, особыми наколенниками, подлокотниками и деревянными подставками.

Администрация предприятия обязана следить за тем, чтобы рабочие обязательно пользовались средствами защиты и не

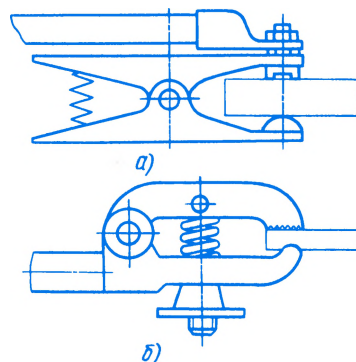


Рис. 21. Зажимы для присоединения сварочного провода к свариваемому изделию:

а — пружинный, б — винтовой

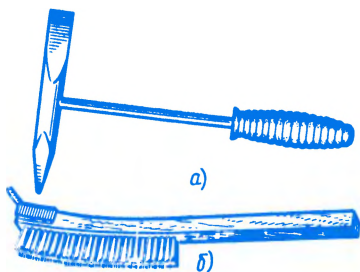


Рис. 22. Инструмент для зачистки шва и свариваемых кромок:

а – молоток-шлакоотделитель, б – щетка

выносили их за пределы предприятия. Средства защиты хранят в специальных помещениях.

Инструмент сварщика: стальная щетка для зачистки кромок перед сваркой и для удаления с поверхности швов остатков шлака; молоток-шлакоотделитель для удаления шлаковой корки,

особенно с угловых швов или швов, расположенных в узкой, глубокой разделке между кромками (рис. 22), зубило, набор шаблонов для проверки размеров швов или для этой же цели универсальный измеритель швов (см. рис. 64); стальное клеймо для швов; стальная линейка; отвес; угольник; чертилка, а также ящик для хранения и переноски инструмента.

Контрольные вопросы

1. Что называется сварочным постом?
2. Объясните принцип действия сварочного трансформатора типа ТД.
3. Расскажите об устройстве сварочного выпрямителя типа ВД-306.
4. Как устроен и работает сварочный преобразователь?
5. В чем заключаются обязанности сварщика по обслуживанию источников питания сварочной дуги?
6. Перечислите принадлежности и инструмент электросварщика.

ГЛАВА III. ТЕХНОЛОГИЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

§ 14. Виды электродов

Электродом для дуговой сварки называют стержень, предназначенный для подвода тока к сварочной дуге. Для ручной дуговой сварки электроды представляют собой стержни круглого сечения различной длины и диаметра. Для механизированной дуговой сварки в качестве электрода применяют сварочную, порошковую и самозащитную металлическую проволоку.

Электроды подразделяют на плавящиеся (из стали, чугуна, алюминия, меди и их сплавов) и неплавящиеся (см. § 17). Плавящиеся электроды служат и присадочным металлом.

§ 15. Проволока стальная сварочная

Для сварки сталей применяют специальную стальную проволоку, изготовляемую по ГОСТ 2246–70. Стандарт распространяется на холоднотянутую гладкую проволоку из низкоуглеродистой, легированной и высоколегирован-

ной стали, поставляемую в мотках или бухтах массой до 80 кг (по требованию потребителя масса может быть и большей).

Стандартом предусмотрено 75 марок сварочной проволоки различного химического состава; выпускается шесть марок низкоуглеродистой проволоки (Св-08, Св-08А, Св-08АА, Св-08ГА, Св-10ГА и Св-10Г2), 30 марок легированной проволоки (Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-12ГС, Св-15ГСТЮЦА и др.) и 39 марок высоколегированной проволоки (Св-12Х13, Св-12Х11НМФ, Св-10Х17Т и др.).

В легированной стали легирующих элементов содержится от 2,5 до 10%, в высоколегированной – более 10%.

Буквы и цифры в написании марок проволоки обозначают: Св-08 – сварочная 0,08% углерода (среднее содержание); А – пониженное, АА – еще более пониженное содержание серы и фосфора; Г – легированная марганцем; Г2 – содержащая до 2% марганца.

Условные обозначения легирующих элементов следующие: С – кремний, Н –

никель, М — молибден, Т — титан, Ю — алюминий, Ц — цирконий, Х — хром, Ф — ванадий, Б — ниобий, В — вольфрам, Д — медь, Г — марганец.

В проволоке из низкоуглеродистой стали содержание углерода допускается не более 0,12%. Первые три марки (Св-08, Св-08А, Св-08АА) изготавливают из кипящей стали ($Si < 0,03\%$). Проволоку марок Св-08ГА, Св-10ГА и Св-10Г2 изготавливают из полуспокойной стали. Повышенное содержание углерода в проволоке приводит к снижению пластичности металла шва, а повышенное содержание кремния при ручной сварке покрытыми электродами — к пористости. Поры в швах образуются от газов СО и СО₂, которые получаются от окисления углерода. Образованию этих газов способствует кремний, содержащийся в электродной проволоке из спокойной стали. В этом случае при высокой температуре сварочной ванны сначала окисляется кремний, как более активный, чем углерод, и позднее при охлаждении сварочной ванны — углерод, образуя газы СО и СО₂, при выходе которых из затвердевающей сварочной ванны получают наружные поры и свищи (крупные конусообразные поры).

При сварке электродом из кипящей стали более высокая концентрация углерода, чем кремния, способствует образованию СО и СО₂ при более высокой температуре, поэтому газы успевают улетучиться из сварочной ванны до затвердевания металла шва.

Кроме пористости применение проволоки из спокойной стали вызывает сильное разбрызгивание металла электрода, меньшее проплавление основного металла и худшее формирование шва.

При медленном остывании металла шва (газовая, электрошлаковая сварка) применение проволоки из спокойной стали пористости не вызывает.

Химический состав некоторых из наиболее распространенных марок сварочной проволоки приведен в табл. 4.

Проволоку выпускают следующих диаметров, мм: 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0. Проволока с диаметром до 3 мм применяется для шланговой сварки; от 1,6 до 6,0 мм — для ручной сварки покрытыми электродами; от 2 до 5 мм — для автоматической сварки под флюсом; проволока больших диаметров — для наплавочных работ.

В стандарте указаны технические условия на маркировку, упаковку, транспортирование и хранение проволоки. Каждый моток или бухту проволоки снабжают металлической биркой, на которой указано наименование завода-изготовителя, условное обозначение проволоки, номер партии, клеймо технического контроля.

По требованию потребителя проволоку изготавливают из стали, выплавленной электрошлаковым или вакуумно-дуговым переплавом, или в вакуумно-индукционных печах; с омедненной поверхностью и ограниченным содержанием вредных примесей.

Таблица 4. Химический состав сварочной проволоки некоторых марок

Сталь и марка проволоки	Содержание элементов, %					Примерное назначение
	углерод	кремний	марганец	сера	фосфор	
				не более		
Низкоуглеродистая Св-08	Не более 0,10	Не более 0,03	0,35—0,60	0,04	0,04	Обычные изделия
Низкоуглеродистая Св-08А	То же	То же	0,35—0,60	0,03	0,03	Ответственные изделия
Низкоуглеродистая Св-08АА	»	»	0,35—0,60	0,02	0,02	Особо ответственные изделия
Низкоуглеродистая Св-08ГА	»	»	0,80—1,10	0,025	0,03	Сварка под флюсом
Легированная Св-08Г2С	0,05—0,11	0,70—0,95	1,8—2,1	0,025	0,03	Сварка в СО ₂
Высоколегированная Св-06Х19Н9Т	Не более 0,08	0,4—1,0	1,0—2,0	0,015	0,03	Сварка хромоникелевой аустенитной стали

Каждая партия проволоки сопровождается сертификатом (удостоверением), содержащим основные технические данные.

§ 16. Покрытые электроды

Покрытый электрод представляет собой определенных размеров стальной стержень, на поверхность которого опрессовкой или окунанием нанесено специальное покрытие.

Электродные покрытия создают при сварке защиту от кислорода и азота воздуха расплавленного металла в процессе переноса его и в самой сварочной ванне, а также стабилизируют горение дуги, очищают металл сварочной ванны от вредных примесей и легируют металл шва для улучшения его свойств.

Защита расплавленного металла от кислорода и азота воздуха при сварке достигается газами и шлаком, которые образуются из покрытия в зоне дуги. Для создания газовой защиты зоны дуги в покрытие вводят целлюлозу и другие органические вещества.

Для устойчивого горения дуги в покрытие вводят вещества, обладающие малой величиной потенциала ионизации, главным образом соли щелочноземельных металлов: рутил (TiO_2), полевошпат, содержащий некоторое количество солей щелочных металлов, калиевое или натриевое жидкое стекло и др.

Легирующими компонентами в составе электродных покрытий являются ферромарганец, ферросилиций, ферротитан и другие ферросплавы.

Классификация покрытых электродов (ГОСТ 9466–75). Покрытые электроды для ручной дуговой сварки и наплавки подразделяют по назначению:

для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 600 МПа, обозначаются У;

для сварки легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву свыше 600 МПа – Л;

для сварки легированных теплоустойчивых сталей – Т;

для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами – В;

для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами – Н.

По толщине покрытия в зависимости от отношения диаметра D электрода к диаметру d стального стержня:

с тонким покрытием ($D/d \leq 1,20$) – М;
со средним покрытием ($1,20 < D/d \leq 1,45$) – С;

с толстым покрытием ($1,45 < D/d \leq 1,80$) – Д;

с особо толстым покрытием ($D/d > 1,80$) – Г.

По видам покрытия: с кислым (А), рутиловым (Р), целлюлозным (Ц), с основным (Б), смешанным (соответствующее двойное условное обозначение), с прочим покрытием (П).

Кислые покрытия (АНО-2 – Академия наук, институт электросварки им. Е. О. Патона, общего назначения, модель – марка 2; СМ-5 – стальмонтаж, модель 5) состоят в основном из оксидов железа и марганца (обычно в виде руд), кремнезема, ферромарганца.

Рутиловые покрытия (МР-3; МР-4 – монтажные, рутиловые, модели 3; 4; АНО-3; АНО-4; ОЗС-3, ОЗС-4, ОЗС-6 – опытный завод по производству покрытых электродов, модели 3; 4; 6 и др.) имеют в своем составе преобладающее количество рутила. Например, покрытие электрода марки МР-3 состоит из рутила (50%), талька, мрамора, каолина, ферромарганца, целлюлозы и жидкого стекла. Рутиловые покрытия при сварке менее вредны для дыхательных органов сварщика, чем другие; шлак на шве образуется тонкий, быстрозатвердевающий и поэтому рутиловыми электродами можно выполнять швы в любом положении.

Целлюлозные покрытия (ВСЦ-1, ВСЦ-2 – Всесоюзный научно-исследовательский институт строительства трубопроводов, для сварки, с целлюлозой, модели 1; 2; ОЗЦ-1-1 – опытный завод, с целлюлозой, модель 1 и др.) состоят из целлюлозы, органической смолы, ферросплавов, талька и др.

Основные покрытия (УОНИИ-13/45 – универсальная обмазка научно-исследовательского института 13 с временным сопротивлением разрыву металла шва не ниже 45 кгс/мм²; ОЗС-2 и др.) не содержат оксидов железа и марганца. Например, покрытие марки УОНИИ – 13/45

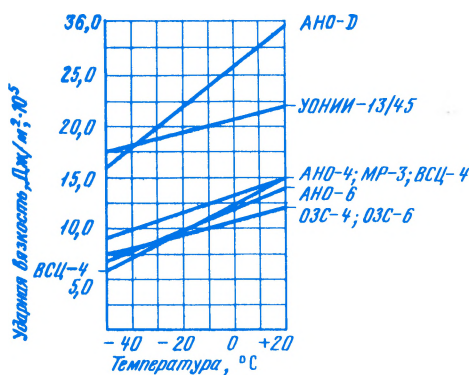


Рис. 23. Ударная вязкость металла шва, выполненного электродами разных марок

состоит из мрамора, плавикового шпата, кварцевого песка, ферросилиция, ферромарганца, ферротитана, жидкого стекла.

Металл шва, выполненный электродами с основным покрытием, обладает относительно большой ударной вязкостью (рис. 23), меньшей склонностью к старению и образованию трещин. Этими электродами сваривают особо ответственные изделия из низкоуглеродистой и легированной сталей.

Целлюлозные покрытия удобны при сварке в любом пространственном положении, но дают наплавленный металл пониженной пластичности. Их применяют главным образом для сварки низкоуглеродистой стали малой толщины.

При выборе марки электрода для сварки конструкций в монтажных условиях следует учитывать трудность поддержания постоянной длины дуги, что может привести к образованию пор в швах. Электроды с основными покрытиями очень чувствительны к изменению длины дуги. Поэтому при монтажной сварке часто применяют электроды с рутиловым (МР-3) или с рутилоосновным покрытием (СМ-11, АНО-11 и др).

По качеству, т. е. точности изготовления, состояния поверхности покрытия, сплошности выполненного данными электродами металла шва и по содержанию серы и фосфора в наплавленном металле, электроды делятся на группы 1, 2 и 3.

По допустимым пространственным положениям сварки или наплавки покрытые электроды обозначают:

для всех положений — 1; для всех положений, кроме вертикального сверху вниз, — 2; для нижнего, горизонтального на вертикальной плоскости и вертикального снизу вверх — 3; для нижнего и нижнего в лодочку — 4.

По роду и полярности применяемого при сварке или наплавке тока, а также по номинальному напряжению холостого хода используемого источника питания сварочной дуги переменного тока электроды обозначают с номера 0 до 9 (ГОСТ 9466—75).

Типы покрытых электродов для сварки конструкционных сталей (табл. 5).

В обозначении типа электрода входят буквы Э (электрод) и цифра, показывающая минимальное временное сопротивление разрыву металла шва или наплавленного металла или сварного соединения в 10^7 Па. Буква А после цифрового обозначения электродов Э42А, Э46А, Э50А указывает на повышенные пластичность

Таблица 5. Покрытые электроды для сварки конструкционных сталей

Тип электрода	Механическое свойство при нормальной температуре				
	металла шва или наплавленного металла			сварного соединения, выполненного электродами диаметром менее 3 мм	
	временное сопротивление разрыву $\sigma_v \cdot 10^7$, Па	относительное удлинение δ_s , %	ударная вязкость $a_{10} \cdot 10^5$, Дж/м ²	временное сопротивление разрыву $\sigma_v \cdot 10^7$, Па	угол загиба, град
	Не менее				
Э38	38	14	3	38	60
Э42	42	18	8	42	150
Э46	46	18	8	46	150
Э50	50	16	7	50	120
Э42А	42	22	15	42	180
Э46А	46	22	14	46	180
Э50А	50	20	13	50	150
Э55	55	20	12	55	150
Э60	60	18	10	60	120
Э70	70	14	6	—	—
Э85	85	12	5	—	—
Э100	100	10	5	—	—
Э125	125	8	4	—	—
Э150	150	6	4	—	—

и вязкость металла шва. Каждый тип включает несколько марок электродов. Например, к электродам типа Э46 относятся марки электродов АНО-3, АНО-4, МР-3, ОЗС-4, ОЗС-6 и др.

Выбор типа и марки электрода зависит от марки свариваемой стали, толщины листа, жесткости изделия, температуры окружающего воздуха при сварке, пространственного положения, условий эксплуатации сварного изделия и др. Следует учитывать, что электроды 3-й группы качества изготовления создают при сварке более плотный металл шва и с меньшим содержанием серы и фосфора в нем.

Типы и характеристики электродов для сварки легированных теплоустойчивых и высоколегированных с особыми свойствами сталей приведены в гл. XIII. Электроды для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами даны в гл. XVI.

В технических документах (чертежах, технологических картах) обозначение характеристики покрытых электродов состоит из обозначения марки, диаметра и группы электродов. Обозначения на этикетках электродной тары более сложное. Например, электроды типа Э46А по ГОСТ 9467-75 марки УОНИИ-13/45 диаметром 3,0 мм для сварки углеродистых и низколегированных сталей У с толстым покрытием Д, 2-й группы, с установленной по ГОСТ 9467-75 группой индексов 43 2(5), указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва, с основным покрытием Б для сварки во всех пространственных положениях 1, на постоянном токе обратной полярности 0 обозначаются:

Э46А – УОНИИ-13/45 – 3,0 – УД2
Е43 2(5) – Б10

ГОСТ 9466 – 75, ГОСТ 9467 – 75.

Те же электроды в технических документах обозначаются УОНИИ-13/45 – 3,0 – 2 ГОСТ 9466 – 75.

Группа индексов в структуре условного обозначения электродов, предназначенных для сварки легированных конструкционных сталей с $\sigma_b \geq 600$ МПа, содержит данные о среднем содержании основных химических элементов в напла-

вленном металле, а также минимальную температуру, при которой металл шва и наплавленный металл после термической обработки при испытании образцов составляют ударную вязкость не менее $3,5 \cdot 10^5$ Дж/м². Например, электроды типа Э85 по ГОСТ 9467-75, марки ЦЛ-18 (Центральный научно-исследовательский институт тяжелого машиностроения, легированные, модель 18) диаметром 3,0 мм для сварки легированной стали Л с временным сопротивлением разрыву более 600 МПа, с толстым покрытием Д, 2-й группы, с установлением по ГОСТ 9467-75 группой индексов, указывающих на получение наплавленного металла и металла шва со средним содержанием 0,18% углерода, 1% хрома, 1% марганца; после термической обработки при испытании образцов вязкость не менее $3,5 \cdot 10^5$ Дж/м² при температуре 10 °С (2); электроды имеют основное покрытие Б, позволяющее производить сварку во всех пространственных положениях 1, на постоянном токе обратной полярности 0, обозначаются на этикетках тары (ящиках, коробках, пачках):

Э85 – ЦЛ-18 – 3,0ЛД2
Е – 18Х1 Г1 – 2 – Б10

ГОСТ 9466 – 75, ГОСТ 9467 – 75.

Те же электроды в технических документах обозначаются ЦЛ-18 – 3,0 – 2 ГОСТ 9466 – 75.

§ 17. Неплавящиеся электроды

Неплавящиеся электродные стержни изготавливают из чистого вольфрама, из вольфрама с присадками оксидов тория, лантана или иттрия, электротехнического угля и прессованного графита.

Вольфрам – тугоплавкий металл (температура плавления 3410 °С), имеет достаточно высокую электропроводность и теплопроводность. При сварке вольфрамовым электродом на постоянном токе применяют прямую полярность.

Для электродов применяют стержни следующих марок: ЭВЧ – электродный вольфрам чистый; ЭВЛ-10 и ЭВЛ-20 – электродный вольфрам с присадкой 1–2% оксида лантана; ЭВТ-15 – элек-

тродный вольфрам с оксидом тория; ЭВИ-30 – электродный вольфрам с 1,5–2% оксида иттрия. Присадки к вольфраму способствуют устойчивому горению дуги, а также позволяют увеличивать плотность тока на электроде. Для уменьшения окисления вольфрамового электрода и защиты сварочной ванны сварка производится в инертном газе. Диаметр вольфрамовых электродов составляет 2–10 мм в зависимости от силы сварочного тока.

§ 18. Подготовка металла под сварку

Подготовка металла под сварку заключается в правке, очистке, разметке, резке и сборке.

Правкой устраняют деформацию прокатной стали. Листовой и сортовой металл правят в холодном состоянии на листопрямильных и углопрямильных вальцах и прессах. Сильно деформированный металл правят в горячем состоянии.

Перенос размеров детали в натуральную величину с чертежа на металл называют разметкой. При этом пользуются инструментом: рулеткой, линейкой, угольником и чертилкой. Проще и быстрее разметка выполняется шаблоном, изготовляемым из тонкого металлического листа. При разметке заготовок учитывается укорачивание их в процессе сварки конструкции. Поэтому предусматривается припуск из расчета 1 мм на каждый поперечный стык и 0,1–0,2 мм на 1 м продольного шва.

При подготовке деталей к сварке применяют преимущественно термическую резку. Механическую резку целесообразно выполнять при заготовке однотипных деталей, главным образом с прямоугольным сечением.

Часто кислородную резку, особенно машинную, сочетают со снятием угла скоса кромок. После термической резки иногда проводят механическую обработку по кромкам для удаления науглероженного металла.

Сборка деталей под сварку. Трудоемкость сборки деталей под сварку составляет около 30% от общей трудоемкости изготовления изделия. Она зависит от ряда условий (серийности производства, ти-

па изделий и др.). Для уменьшения времени сборки, а также для повышения ее точности применяют различные приспособления. Приспособления могут быть предназначены только для сборки деталей под сварку или только для сварки уже собранного изделия (например, для выполнения швов в изделии только в нижнем положении) или пользуются комбинированными сборочно-сварочными приспособлениями.

Изделия чаще собирают на сварочных прихватках. Сварочные прихватки представляют собой неполноценные короткие швы с поперечным сечением до $\frac{1}{3}$ сечения полного шва. Длина прихватки от 20 до 100 мм в зависимости от толщины свариваемых листов и длины шва; расстояние между прихватками в зависимости от различных условий достигает 1 м.

Прихватки придают изделию жесткость и препятствуют перемещению деталей, что может привести к трещинам в прихватках при их охлаждении. Чем больше толщина свариваемых листов, тем больше растягивающая усадочная сила в прихватках и больше возможность образования трещин. Поэтому сборку на сварочных прихватках применяют для конструкций из листов небольшой толщины (до 6–8 мм). При значительной толщине листов необходимо обеспечить податливость деталей и сборку изделия

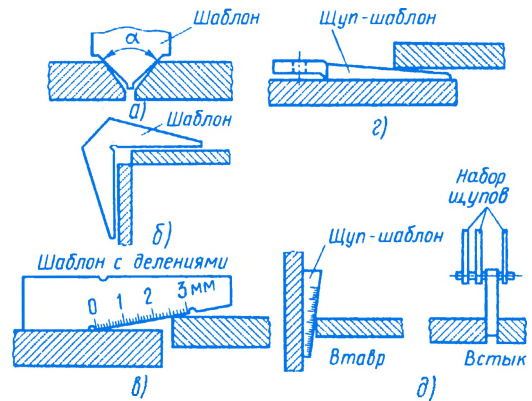


Рис. 24. Инструмент для проверки качества сборки:

а – угла разделки кромки, б – прямого угла, в – смещения листов, г – зазора между листами при сварке внахлестку, д – зазора при сварке встык и встык

выполняют на механических приспособлениях.

Точность сборки проверяют с помощью инструмента (рис. 24).

§ 19. Техника выполнения швов

Зажигание дуги. Зажигание дуги между покрытым электродом и свариваемым изделием выполняют в два приема: коротким замыканием конца электрода с изделием и отрывом электрода от поверхности изделия на расстояние, равное примерно диаметру покрытого электрода.

Короткое замыкание электрода с изделием необходимо для нагревания металла до соответствующей температуры в катодном пятне (см. § 53), что обеспечивает выход первичных электронов и, следовательно, дуги.

Существует два способа зажигания дуги покрытыми электродами — впритык и скольжением, чирканьем. По первому способу зажигания дуги металл нагревается в точке короткого замыкания, по второму — в нескольких точках, в результате скольжения торца электрода по поверхности свариваемого изделия.

Используются оба способа зажигания дуги, причем первый чаще применяется при сварке в узких и неудобных местах.

Длина дуги. Немедленно после зажигания дуги начинается плавление основного и электродного металлов. На изде-

лии образуется ванна расплавленного металла. Сварщик должен поддерживать горение дуги так, чтобы ее длина была постоянной. От правильно выбранной длины дуги зависят производительность сварки и качество сварного шва. Сварщик должен подавать электрод в дугу со скоростью равной скорости плавления электрода. Умение поддерживать дугу постоянной длины характеризует квалификацию сварщика.

Нормальной считают длину дуги, равную $0,5-1,1$ диаметра стержня электрода в зависимости от типа и марки электрода и положения сварки в пространстве. Увеличение длины дуги снижает ее устойчивое горение, глубину проплавления основного металла, повышает потери на угар и разбрызгивание электрода, вызывает образование шва с неровной поверхностью и усиливает вредное воздействие окружающей атмосферы на расплавленный металл.

Положение электрода. Наклон электрода при сварке зависит от положения сварки в пространстве, толщины и состава свариваемого металла, диаметра электрода, вида и толщины покрытия.

Направление сварки может быть слева направо, справа налево, от себя и к себе (рис. 25, а).

Независимо от направления сварки электрод должен быть наклонен к оси шва так, чтобы металл свариваемого изделия проплавлялся на наибольшую глу-

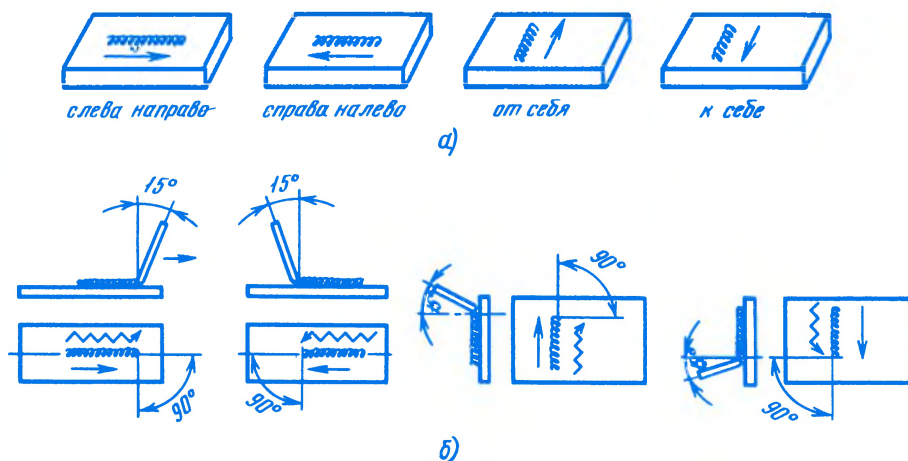


Рис. 25. Направления сварки (а) и наклон электрода (б)

бину и правильно бы формировался металл шва. Для получения плотного и ровного шва для сварки в нижнем положении на горизонтальной плоскости угол наклона электрода должен быть 15° от вертикали в сторону ведения шва — углом назад (рис. 25, б).

Обычно дуга сохраняет направление оси электрода; указанным наклоном электрода сварщик добивается не только максимального проплавления металла и лучшего формирования шва, но и также уменьшается скорость охлаждения металла сварочной ванны, что предотвращает образование горячих трещин в шве.

Угол наклона электрода при ручной сварке в нижнем, вертикальном, потолочном и горизонтальном положениях приведен на рис. 25—32.

Колебательные движения электрода. Для получения валика нужной ширины производят поперечные колебательные движения электрода. Если перемещать электрод только вдоль оси шва без поперечных колебательных движений, то ширина валика определяется лишь сварочным током и скоростью сварки и составляет от 0,8 до 1,5 диаметра электрода. Такие узкие (ниточные) валики применяют при сварке тонких листов, при наложении первого (корневого) слоя многослойного шва, при сварке по способу опирания и в других случаях.

Чаще всего применяют швы шириной от 1,5 до 4 диаметров электрода, получаемые с помощью поперечных колебательных движений электрода.

Наиболее распространенные виды поперечных движений электрода при ручной сварке (рис. 26): прямые по ломаной линии; полумесяцем, обращенным концами к наплавленному шву; полумесяцем, обращенным концами к направлению

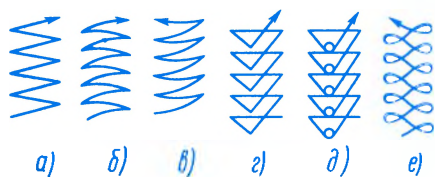


Рис. 26. Основные виды поперечных движений конца электрода:

а, б, в, г — при обычных швах, д, е — при швах с усиленным прогревом кромок

сварки; треугольниками; петлеобразные с задержкой в определенных местах.

Поперечные движения по ломаной линии часто применяют для получения наплавочных валиков, при сварке листов встык без скоса кромок в нижнем положении и в тех случаях, когда нет возможности прожога свариваемой детали.

Движения полумесяцем, обращенным концами к наплавленному шву, применяют для стыковых швов со скосом кромок и для угловых швов с катетом менее 6 мм, выполняемых в любом положении электродами диаметром до 4 мм.

Движения треугольником применяют при выполнении угловых швов с катетами шва более 6 мм и стыковых со скосом кромок в любом пространственном положении. В этом случае достигается хороший провар корня и удовлетворительное формирование шва.

Петлеобразные движения применяют в случаях, требующих большого прогрева металла по краям шва, главным образом при сварке листов из высоколегированных сталей. Эти стали обладают высокой текучестью и для удовлетворительного формирования шва приходится задерживать электрод на краях, с тем чтобы предотвратить прожог в центре шва и вытекание металла из сварочной ванны при вертикальной сварке. Петлеобразные движения можно заменить движениями полумесяцем с задержкой дуги по краям шва.

Способы заполнения шва по длине и сечению. Швы по длине выполняют напроход и обратноступенчатым способом. Сущность способа сварки напроход заключается в том, что шов выполняется от начала до конца в одном направлении.

Обратноступенчатый способ состоит в том, что длинный предполагаемый к исполнению шов делят на сравнительно короткие ступени (см. рис. 61).

По способу заполнения швов по сечению различают однопроходные, однослойные швы (рис. 27, а), многопроходные многослойные (рис. 27, б) и многослойные (рис. 27, в).

Если число слоев равно числу проходов дугой, то такой шов называют многослойным. Если некоторые из слоев выполняются за несколько проходов, то такой шов называют многопроходным.

Многослойные швы чаще применяют в стыковых соединениях, многопроходные — в угловых и тавровых.

Для более равномерного нагрева металла шва по всей его длине швы выполняют двойным слоем, секциями, каскадом и блоками, причем в основу всех этих способов положен принцип обратноступенчатой сварки (рис. 28).

Сущность способа двойного слоя заключается в том, что наложение второго слоя производится по неостывшему первому после удаления сварочного шлака: сварка на длине 200—400 мм ведется в противоположных направлениях. Этим предотвращается появление горячих трещин в шве при сварке металла толщиной 15—20 мм, обладающего значительной жесткостью.

При толщине стальных листов 20—25 мм и более для предотвращения трещины применяют сварку каскадом, блоками и поперечной горкой.

Заполнение многослойного шва для сварки секциями и каскадом производится по всей свариваемой толщине на определенной длине ступени. Длина ступени подбирается такой, чтобы металл в корне шва имел температуру не менее 200 °С в процессе выполнения шва по всей толщине. В этом случае металл обладает высокой пластичностью и трещин не образуется. Длина ступени при сварке секциями и каскадной равна 200—400 мм.

При сварке блоками многослойный шов сваривают отдельными ступенями, промежутки между ними заполняют по всей толщине слоями. При соединении деталей из закаливающих при сварке сталей рекомендуется применять сварку блоками, из незакаливающих (низкоуглеродистых) сталей — лучше (с точки зрения получения мелкозернистой и пластичной структуры) сварку каскадом.

При сварке блоками каждый участок (примерно в 1 м) желательно выполнять отдельным сварщиком. Направление слоев (проходов) на каждом участке желательно менять. Такое одновременное выполнение многопроходного шва по длине и сечению обеспечивает наиболее равномерное распределение температур, что значительно уменьшает общие остаточные деформации свариваемого изделия.



Рис. 27. Сварные швы

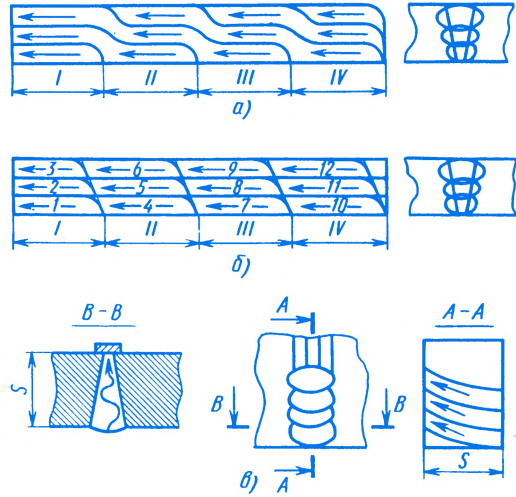


Рис. 28. Схемы заполнения шва при сварке: а — каскадом, б — блоками, в — поперечной горкой; 1—12 — слои в шве, I, II, III, IV — ступени шва, S — толщина стыка

Способ сварки поперечной горкой (рис. 28, в) успешно используется для соединения толстостенных труб (толщина 40 мм и более) слоями по всей толщине одновременно.

Многослойная сварка имеет перед однослойной следующие преимущества:

1. Объем сварочной ванны относительно мал, в результате чего скорость остывания металла возрастает и размер зерен уменьшается.

2. Химический состав металла шва близок к химическому составу наплавленного металла, так как малый сварочный ток при многослойной сварке способствует расплавлению незначительного количества основного металла.

3. Каждый последующий слой шва термически обрабатывает металл предыдущего слоя, в результате чего металл шва и околошовный имеют мелкозернистое строение с повышенной пластичностью и вязкостью.

Каждый слой шва должен иметь толщину 3–5 мм (при сварке низкоуглеродистой стали) в зависимости от сварочного тока.

При сварочном токе 100 А дуга расплавляет металл на глубину порядка 1 мм, металл нижнего слоя термически обрабатывается толщиной 1–2 мм с образованием мелкозернистой литой структуры. При сварочном токе 200 А толщина наплавленного слоя может быть увеличена до 4 мм, термическая обработка нижнего слоя произойдет на глубине 2–3 мм. Термическая обработка металла корневого шва с получением мелкозернистой структуры осуществляется нанесением подварочного валика, который выполняется электродом диаметром 3 мм при сварочном токе 100 А. Перед нанесением подварочного валика корень шва очищают термической строжкой, фрезой, резцом. Подварочный валик накладывается по длине способом напроход.

Термическая обработка металла верхнего слоя выполняется нанесением отжигающего (декоративного) слоя. Толщина отжигающего слоя должна быть минимальной (1–2 мм), обеспечивающей высокую скорость остывания и мелкозернистую структуру металла верхнего слоя. Отжигающий слой выполняется электродами диаметром 5–6 мм при токе 200–300 А в зависимости от толщины листа, числа слоев и проходов в шве.

Окончание шва. В конце шва нельзя сразу обрывать дугу и оставлять на поверхности металла шва кратер. Кратер может вызвать появление трещины в шве вследствие содержания в нем примесей, прежде всего серы и фосфора. При сварке низкоуглеродистой стали кратер заполняют электродным металлом или выводят его в сторону на основной металл. При сварке стали, склонной к образованию закалочных микроструктур, вывод кратера в сторону недопустим в виду возможности образования трещины. Не рекомендуется заваривать кратер за несколько обрывов и зажиганий дуги ввиду образования оксидных загрязнений металла. Лучшим способом окончания шва будет заполнение кратера металлом вследствие прекращения поступательного движения электрода в дугу и медленного удлинения дуги до ее обрыва.

§ 20. Выбор режима ручной дуговой сварки

Под режимом сварки понимают группу показателей, определяющих характер протекания процесса сварки. Эти показатели влияют на количество теплоты, вводимой в изделие при сварке. К основным показателям режима сварки относятся: диаметр электрода или сварочной проволоки, сварочный ток, напряжение на дуге и скорость сварки. Дополнительные показатели режима сварки: род и полярность тока, тип и марка покрытого электрода, угол наклона электрода, температура предварительного нагрева металла.

Выбор режима ручной дуговой сварки часто сводится к определению диаметра электрода и сварочного тока. Скорость сварки и напряжение на дуге устанавливаются самим сварщиком в зависимости от вида (типа) сварного соединения, марки стали и электрода, положения шва в пространстве и т. д.

Диаметр электрода выбирается в зависимости от толщины свариваемого металла, типа сварного соединения, типа шва и др. При сварке встык листов толщиной до 4 мм в нижнем положении диаметр электрода берется равным толщине свариваемой стали. При сварке стали большей толщины применяют электроды диаметром 4–6 мм при условии обеспечения полной возможности провара металла соединяемых деталей и правильного формирования шва. Применение электродов диаметром более 6 мм ограничивается вследствие большой массы электрода и электрододержателя. Кроме того, прочность сварных соединений, выполненных электродами больших диаметров, снижается вследствие возможного непровара в корне шва и большой столбчатой макроструктуры металла шва.

В многослойных стыковых и угловых швах первый слой или проход выполняется электродом диаметром 2–4 мм; последующие слои и проходы выполняются электродом большего диаметра в зависимости от толщины металла и формы скоса кромок.

В многослойных швах сварка первого слоя электродом малого диаметра рекомендуется для лучшего провара корня

шва. Это относится как к стыковым, так и угловым швам.

Сварка в вертикальном положении выполняется обычно электродами диаметром не более 4 мм, реже 5 мм; электроды диаметром 6 мм могут применяться только сварщиками высокой квалификации.

Потолочные швы, как правило, выполняются электродами не более 4 мм.

Ток выбирают в зависимости от диаметра электрода. Для выбора тока можно пользоваться зависимостью: $I = Kd$, где $K = 35 \div 60$ А/мм; d — диаметр электрода, мм. Относительно малый сварочный ток ведет к неустойчивому горению дуги, непровару и малой производительности. Чрезмерно большой ток ведет к сильному нагреву электрода при сварке, увеличению скорости плавления электрода и непровару, повышенному разбрызгиванию электродного материала и ухудшению формирования шва. На величину коэффициента K влияет состав электродного покрытия: для газообразующих покрытий K берется меньше, чем для шлакообразующих покрытий, например для электродов с железным порошком в покрытии (АНО-1, ОЗС-3) сварочный ток на 30–40% больше, чем для электродов с обычными покрытиями.

При сварке с вертикальными и горизонтальными швами ток должен быть уменьшен против принятого для сварки в нижнем положении примерно на 5–10%, а для потолочных — на 10–15%, с тем чтобы жидкий металл не вытекал из сварочной ванны.

Влияние показателей режима сварки на размеры шва и коэффициент формы провара. Сварной шов характеризуется коэффициентом формы провара $\psi = e/h$ и коэффициентом выпуклости шва e/q (см. рис. 12).

Числовыми коэффициентами формы и выпуклости шва задаются при проектировании сварных изделий. Например, коэффициент формы провара при ручной дуговой сварке может быть принят от 1 до 20.

Уменьшение диаметра электрода при постоянном сварочном токе повышает плотность тока в электроде и глубину провара. С уменьшением диаметра элект-

рода ширина шва уменьшается вследствие уменьшения катодного и анодного пятен. С изменением тока меняется глубина провара. Под влиянием давления дуги, которое увеличивается с возрастанием тока, расплавленный металл вытесняется из-под основания дуги, что может привести к сквозному проплавлению.

Повышение напряжения дуги за счет увеличения ее длины приводит к снижению сварочного тока (при ручной сварке) и глубины провара. Ширина шва при этом повышается независимо от полярности сварки. С увеличением скорости ручной сварки глубина провара и ширина шва понижаются.

§ 21. Выполнение валиков и швов в нижнем положении

Наплавка валиков производится для восстановления изношенного металла деталей механизмов и машин. Получение ровной наплавленной поверхности достигается, когда один валик перекрывается другим на величину 0,3–0,5 его ширины. Для наплавки уширенных валиков применяют поперечные колебательные движения электрода.

Нормальной считается ширина валика, равная 3–4 диаметрам электрода. Наложение валиков рекомендуется производить слева направо или на себя. В этих случаях сварщик четко видит место дуги, ее длину, перенос электродных капель и формирование валика. Обычно наплавка поверхностных слоев производится электродами больших диаметров (5–12 мм) при больших токах (200–500 А и более).

Выполнение стыковых швов. Односторонние стыковые швы без скоса кромок выполняют покрытыми электродами диаметром, равным толщине свариваемых листов, если она не превышает 4 мм. Ток подбирают в зависимости от диаметра электрода, вида и толщины покрытия (табл. 6). Листы без скоса кромок толщиной от 2 до 8 мм сваривают двусторонним швом. Положение и поперечные движения электрода при сварке приведены на рис. 29.

Стыковые соединения со скосом двух кромок в зависимости от толщины металла выполняют однослойными, многослойными или многопроходными швами.

Таблица 6. Ориентировочные режимы сварки стыковых соединений без скоса кромок

Толщина металла, мм	Шов	Зазор, мм	Диаметр электрода, мм	Среднее значение тока, А	
				нижнее положение шва	вертикальное и потолочное положение шва
3—4	Односторонний	1,0	3—4	180	160
5—6	Двусторонний	1,0—1,5	4—5	180—260	160—230
7—8	»	1,5—2,0	5	260	230
10	»	2,0	6	330	290

Примечание. Максимальные значения тока должны уточняться по данным паспорта электродов.

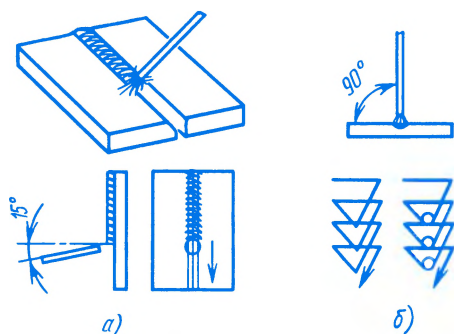


Рис. 29. Положение (а) и движения электрода (б) при выполнении стыковых швов со скосом кромок

Оптимальный угол раскрытия шва определяется следующими соображениями. Большой угол разделки ($80-90^\circ$) обеспечивает большую удобства сварщику, уменьшает опасность непровара корня шва, но увеличивает объем наплавленного металла, следовательно, уменьшает производительность и увеличивает деформации изделия. Для нормального процесса ручной дуговой сварки принят угол разделки ($50 \pm 4^\circ$) (сварное соединение типа С17).

Зазор между стыкуемыми элементами и притупление кромок составляет от 1,5 до 4,0 мм в зависимости от толщины листов, режима сварки и характера свариваемой конструкции.

Наиболее трудным при сварке является получение полного (надежного) провара корня шва. Здесь чаще всего бывают дефекты, например непровар, газовые

и шлаковые включения. Поэтому (если это возможно) следует подваривать корень шва с обратной стороны.

Металл толщиной от 1 до 6 мм без скоса кромок сваривается однослойным (однопроходным) швом. Однослойные швы со скосом двух кромок выполняют поперечными колебательными движениями электрода в виде треугольников без задержки в корне шва (листы толщиной 1—4 мм) и с задержкой в корне шва (толщиной 4—6 мм).

Листы толщиной 12 мм и более соединяются встык с двумя несимметричными скосами двух кромок многопроходным швом.

Многослойный шов выполняется быстрее многопроходного. Выбор многопроходного или многопроходного шва зависит от химического состава и толщины свариваемой стали и от установленной технологии на сварку.

Многопроходной шов выполняется тонкими и узкими валиками, без поперечных колебательных движений электрода. Сварку рекомендуется выполнять электродами, предназначенными для опирания. В этом случае применяют электроды диаметром от 1,6 до 3 мм (редко 4 мм). Весь многопроходной шов может выполняться электродами одного и того же диаметра.

Каждый слой многослойного шва имеет увеличенное в несколько раз сечение по сравнению с сечением каждого валика при многопроходной сварке. Режимы дуговой сварки покрытыми элект-

тродами нижних стыковых многослойных швов даны в табл. 7.

Иногда для обеспечения провара по всей толщине металла сварка ведется на медной подкладке толщиной 4–6 мм. В этом случае сварочный ток можно повысить на 20–30%. Если конструкция и назначение сварного изделия допускают сквозное проплавление, сварка может вестись на остающейся стальной подкладке.

В особо ответственных конструкциях перед подваркой шва его (с обратной стороны) предварительно зачищают резком для поверхностной резки или резцом для удаления возможных дефектов (непровара, трещин, газовых и шлаковых включений).

Стальные листы толщиной от 12 до 60 мм могут соединяться сваркой покрытиями электродами встык с двумя симметричными скосами двух кромок. Подготовка кромок, угол скоса, величина зазора, притупление и техника выполнения швов при этом такие же, как и при сварке листов со скосами двух кромок. Чтобы достаточно прогревался и отжигался металл каждого нижележащего слоя, толщина слоев должна быть не более 4–5 мм и не менее 2 мм. Например, для выполнения швов при сварке листов толщиной 12 мм, нужно положить 4–6 слоев, а для толщины 40 мм – 10–16 слоев (отжигающий и декоративный слои не учитываются).

Стыковые швы листов большой толщины (более 20 мм) целесообразно сваривать с криволинейным скосом двух кромок. Такая подготовка позволяет применять электроды повышенного диаметра, обеспечивает надежный провар и равномерную усадку металла шва.

Швы с двусторонним симметричным скосом двух кромок имеют следующие преимущества перед швами с односторонним скосом двух кромок:

1. Уменьшение объема наплавленного металла в 1,6–1,7 раза и, следовательно, увеличение производительности сварки.
2. Уменьшение деформаций от сварки.
3. Возможный непровар в корне шва расположен в нейтральном сечении и поэтому менее опасен.

Для уменьшения коробления сварного

Таблица 7. Ориентировочные режимы сварки стальных листов со скосом двух кромок встык

Толщина металла, мм	Зазор, мм	Число слоев, кроме подварочного и декоративного	Диаметр электрода, мм, при наплавке		Среднее значение тока, А (нижнее положение шва)
			первого	последующего	
10	1,5–2,0	2	4	5	180–260
12	2,0–2,5	3	4	5	180–260
14	2,5–3,0	4	4	5	180–260
16	3,0–3,5	5	4	5	180–260
18	3,5–4,0	6	5	6	220–320

Примечание. Максимальные значения тока должны уточняться по данным паспорта электродов.

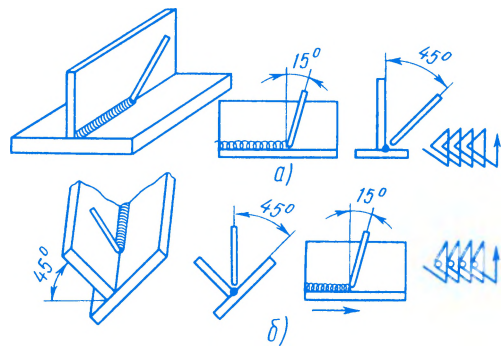


Рис. 30. Положение и движения электрода при выполнении угловых швов

изделия рекомендуется выполнять швы попеременно с одной и с другой стороны листа. При сварке в нижнем положении для этого требуется частая кантовка изделия. Поэтому целесообразно устанавливать изделие вертикально и сваривать его одновременно с двух сторон. Работу в этом случае выполняют два сварщика.

Выполнение угловых швов. При выполнении угловых швов наклонным электродом (рис. 30, а) жидкий металл под действием гравитационной силы стремится стекать на нижнюю плоскость. Поэтому выполнение этих швов лучше производить «в лодочку» (рис. 30, б) электродами, которые позволяют вести сварку опиранием покрытия на свариваемые кромки изделия.

Сварка «в лодочку» угловых швов для листов толщиной до 14 мм возможна без скоса кромок (двусторонняя сварка) или

Таблица 8. Режимы сварки угловых швов «в лодочку» с опоранием электрода

Толщина свариваемых листов, мм	Катет шва, мм	Диаметр электрода, мм	Ток, А
4–6	5	5	250–300
6–8	6	6	300–350
10–14	8	8	480–560

Примечание. Максимальные значения тока должны уточняться по данным паспорта электродов.

с частичной разделкой кромок и увеличенным размером притупления. Зазор между свариваемыми элементами не должен превышать 10% толщины листа. Режимы сварки «в лодочку» с опоранием электрода даны в табл. 8.

Однако не всегда можно установить сварное изделие для сварки «в лодочку»; тогда угловые швы выполняют наклонным электродом. В этом случае возможен непровар корня шва и кромки нижнего листа. Тщательный прогрев кромок свариваемых частей достигается правильным движением электрода, который следует держать под углом 45° к поверхности листов и производить поперечные движения треугольником без задержек или с задержками в корне шва. В процессе сварки электрод следует наклонять то к одной, то к другой плоскости листов.

Угловые швы в нижнем положении с катетами до 10 мм выполняют сваркой в один слой электродами диаметром до 5 мм, иногда без поперечных движений.

Угловые швы без скоса кромок с катетами более 10 мм могут выполняться

в один слой, но с поперечными движениями электрода треугольником, причем лучший провар корня шва обеспечивается с задержкой электрода в корне шва.

Угловые швы с односторонним или двусторонним скосом кромок применяют при изготовлении особо ответственных изделий.

Скос кромок у стенки тавра делают под углом $(50 \pm 5)^\circ$. При толщине стенки до 4 мм шов со скосом кромки выполняют в один слой; при большей толщине сварка ведется в несколько слоев и проходов. При выполнении многослойных тавровых швов наклонным электродом швы обычно получаются с неравными катетами на полке и стенке. Поэтому при проектировании сварных изделий допускаются угловые швы с неравными катетами. Примерные режимы сварки тавровых соединений со скосом кромок даны в табл. 9.

§ 22. Выполнение вертикальных, горизонтальных и потолочных швов

Вертикальные швы (стыковые и угловые) выполняют в направлении снизу вверх. Предварительно подготавливается сваркой металлическая горизонтальная площадка сечением, равным сечению наплавленного металла шва. Площадка создается поперечными движениями электрода треугольником (рис. 31). Провар в корне шва обеспечивается задержкой горения дуги в этом месте при движении электрода треугольником. Наибольший провар корня достигают, когда электрод перпендикулярен вертикаль-

Таблица 9. Примерные режимы ручной дуговой сварки угловых швов со скосом кромок

Тип шва	Толщина металла, мм	Число слоев или проходов	Диаметр электрода, мм	Ток, А
Односторонний таврового или углового соединения, со скосом одной кромки под углом $(45 \pm 2)^\circ$	4	1	3–4	120–160
	6	1	4–5	160–220
	8	1–2	4–5	160–220
	12	3–4	4–6	160–300
	20	6–8	4–6	160–300
	10	2–4	4–6	160–320
Двусторонний таврового или углового соединения, с двумя симметричными скосами одной кромки под углом $(45 \pm 2)^\circ$ каждого скоса	20	4–6	4–6	160–360
	40	8–16	4–6	160–360
	60	16–30	5–6	220–360
	80	30–40	5–6	220–360

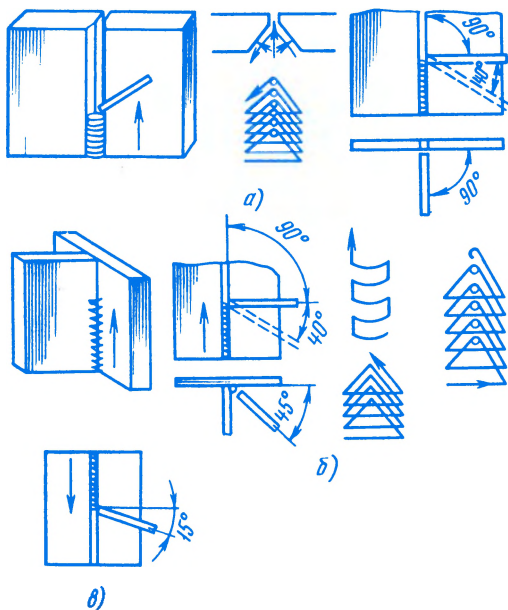


Рис. 31. Положение и движения электрода при сварке в вертикальном положении:

a – стыковые швы со скосом кромок, *б* – угловые швы, *в* – сварка в направлении сверху вниз

ной оси. Стеkanie расплавленного металла предотвращают наклоном электрода со стороны электрододержателя вниз, как показано пунктиром на рис. 31, *a, б*.

Сварка вертикальных швов электродами больших диаметров и при большом токе затруднительна из-за стекания металла и неудовлетворительного формиро-

вания шва. Поэтому применяют электроды диаметром до 4 мм, редко 5 мм, а сварочный ток понижают по сравнению со сваркой в нижнем положении.

Вертикальная сварка в направлении сверху вниз (рис. 31, *в*) возможна электродами, дающими тонкий слой шлака. В этом случае металл в сварочной ванне затвердевает быстрее и стекания его практически не происходит. Для вертикальной сварки сверху вниз применяют электроды с целлюлозным, пластмассовым покрытием органического вида (ОЗС-9, АНО-9, ВСЦ-2, ВСЦ-3 и др.). Производительность сварки сверху вниз выше производительности сварки снизу вверх. Вертикальные швы также удобно выполнять электродами с опиранием покрытия на свариваемые кромки.

Горизонтальные и потолочные швы выполнять сложнее, чем вертикальные (рис. 32). При выполнении горизонтальных швов на верхнем листе часто образуются подрезы, а при сварке в потолочном положении полный провар корня шва затруднен. В обоих случаях сварка должна производиться короткой дугой с достаточно быстрыми колебательными движениями. Металл толщиной более 8 мм сваривают многопроходными швами. Первый валик в корне горизонтального шва наносится электродом диаметром 4 мм, а последующие – диаметром 5 мм. Первый валик в корне потолочного

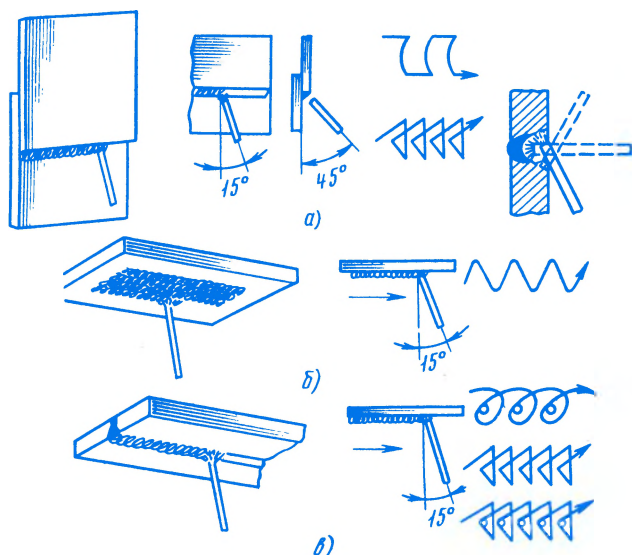


Рис. 32. Положение и движения электрода при сварке в горизонтальном и потолочном положениях:

a – горизонтальный угловой шов, *б* – наплавка в потолочном положении, *в* – потолочный стыковой шов

шва выполняется электродом диаметром 3 мм, а последующие — диаметром не более 4 мм. Валики горизонтального и потолочного швов удобно выполнять электродами с опиранием покрытия. При выполнении потолочных швов газы, выделяющиеся при сварке покрытыми электродами, поднимаются вверх и могут оставаться в шве. Поэтому для сварки в потолочном положении следует пользоваться хорошо просушенными электродами и дающими небольшой шлак.

§ 23. Соединения сварные точечные, выполненные дуговой сваркой

Точечные швы обычно выполняют в нахлесточных соединениях плавящимся или неплавящимся электродом (рис. 33). Сварка удобна в сборке конструкций, для соединения тонколистовой обшивки с рамами из профильного проката, где из-за крупных размеров конструкций затруднено применение контактной точечной сварки, для образования соединений из пакета элементов, приварки шпилек.

Основной трудностью применения точечных сварных соединений является обеспечение плотного прилегания поверхностей свариваемых деталей. Для предупреждения вытекания расплавленного металла зазор не должен превышать 1 мм.

Точечная сварка выполняется с проплавлением металла сварочной дугой или через круглое отверстие, предварительно подготовленное сверлением или прокаливанием. Экономично применять точечную сварку без отверстия в верхней детали.

При пользовании покрытого электрода с проплавлением при сварке сталей

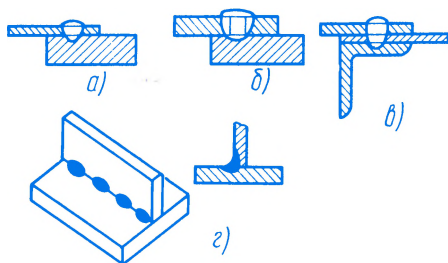


Рис. 33. Соединения сварные точечные: а — без отверстия в верхнем листе, б — с предварительным отверстием, в — сварка двух листов с профильным элементом, г — угловое соединение

толщиной верхней детали достигает 12 мм.

При пользовании плавящегося электрода в углекислом газе с отверстием в верхней детали при сварке сталей толщина верхней детали достигает 30 мм.

Применяется точечная дуговая сварка под флюсом, в различных газах неплавящимся электродом и др.

Сварка может выполняться с подачей электрода или без его подачи до естественного обрыва дуги (с помощью специальных конструкций электрододержателей).

Сварка неплавящимся электродом позволяет получать швы без усиления и с большой глубиной проплавления металла, чем сварка плавящимся электродом. Неплавящимся графитированным электродом можно сваривать листы толщиной каждый 6 мм и более постоянным током 400—700 А. В качестве электродного материала рекомендуется графитированная масса. Защитой металла шва при сварке могут служить флюс или различные защитные газы.

В институте электросварки им. Е. О. Патона разработана механизированная установка ОБ-1970, выполняющая дуговую точечную сварку под флюсом плавящимся электродом на повышенных режимах через отверстие в верхнем элементе. Установка позволяет получить точечный шов диаметром ядра точки до 30 мм в большом диапазоне толщин соединяемых элементов (5—20 мм). Сварка ведется электродным стержнем диаметром 12—16 мм на токе 1400—1800 А, напряжении на дуге 34—38 В, под флюсом АН-348 или АН-60. Время сварки 4—15 с.

Сварка под водой. Впервые в мире дуговую сварку под водой предложил и разработал К. К. Хренов.

Сварка под водой производится электродами с водонепроницаемыми покрытиями, порошковой проволокой, а также и неплавящимся электродом. Для питания дуги используют постоянный или переменный ток. Напряжение дуги, горячей под водой, на 6—7 В больше, чем на воздухе.

Институт электросварки им. Е. О. Патона разработал специальную порошковую проволоку для шланговой механизированной сварки под водой. Если швы,

выполненные покрытыми электродами, имеют пористость, низкую пластичность и вязкость металла, объясняемую влиянием водорода, то при сварке порошковой проволокой плотность и прочность швов отвечает требованиям, предъявляемым к сварке ответственных изделий.

Техника сварки под водой покрытыми электродами и порошковой проволокой аналогична сварке на воздухе.

Сварку выполняют на более высоких токах (на 10–25% выше, чем для работы на воздухе). Сварочные работы под водой производятся на глубине до 50 м. При большей глубине работа почти не возможна, так как сварщик не может находиться под водой длительное время.

Сварка под водой широко используется для ремонта подводной части судов, прокладки трубопроводов, строительства оснований нефтяных вышек и других работ.

Наиболее перспективными видами подводной сварки являются дуговая механизированная шланговая, взрывом и др.

§ 24. Основные требования безопасности труда при ручной дуговой сварке

При выполнении сборочных и сварочных работ существуют следующие основные опасности для здоровья рабочих: поражение электрическим током, поражение лучами дуги глаз и открытых поверхностей кожи, ушибы и порезы во время подготовки изделий к сварке и во время сварки, отравление вредными газами и пылью, ожоги от разбрызгивания электродного расплавленного металла и шлака.

Поражение электрическим током. Травма возникает при замыкании электрической цепи сварочного аппарата через тело человека (рис. 34). Причинами являются: недостаточная электрическая изоляция аппаратов и питающих проводов, плохое состояние спецодежды и обуви сварщика, сырость и теснота помещений и другие факторы.

В условиях сварочного производства электротравмы происходят при движении тока по одному из трех путей: рука – туловище – рука; рука – туловище – нога; обе руки – туловище – обе ноги.

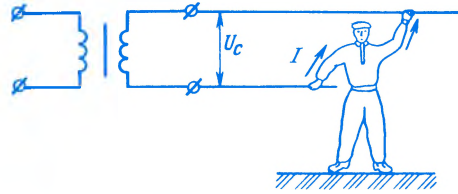


Рис. 34. Двухполюсное прикосновение к сварочной сети

При движении тока по третьему пути сопротивление цепи наибольшее, следовательно, степень травматизма наименьшая. Наиболее сильное действие тока будет при движении его по первому пути.

В зависимости от величины электрический ток, проходящий через тело человека (при частоте 50 Гц), вызывает следующие травмы: при 0,6–1,5 мА – легкое дрожание рук; 5–7 мА – судороги в руках; 8–10 мА – судороги и сильные боли в пальцах и кистях рук; 20–25 мА – паралич рук, затруднение дыхания; 50–80 мА – паралич дыхания; 90–100 мА – паралич дыхания, при длительности более 3 с – паралич сердца; 3000 мА и при длительности более 0,1 с – паралич дыхания и сердца, разрушение тканей тела. Следовательно, смертельным следует считать величину тока 0,1 А. С повышением частоты электрического тока более 500 Гц действие его существенно ослабевает.

Сопротивление организма человека. Электрическое сопротивление разных частей тела человека различно: наибольшее сопротивление имеет сухая кожа, ее верхний роговой слой, в котором нет кровеносных сосудов, а также костная ткань; значительно меньшее сопротивление имеют кровь и спинно-мозговая жидкость. Сопротивление зависит от внешних условий: оно понижается при повышении температуры, влажности, загазованности помещения. Сопротивление зависит от состояния кожных покровов: при наличии повреждений кожи (ссадин, царапин) сопротивление тела уменьшается.

При напряжении выше 100 В происходит пробой верхнего рогового слоя кожи, что также ведет к уменьшению сопротивления тела. Сопротивление человека, находящегося под действием электрического

го тока, зависит также от плотности контактов, площади соприкосновения с токоведущими поверхностями и пути электрического тока (см. рис. 34). При определении условий электробезопасности считают величину сопротивления, равную 1000–2000 Ом в зависимости от напряжения.

Безопасным считается напряжение 12 В, а при работе в сухих, отапливаемых и вентилируемых помещениях – 36 В.

Защита от поражения электрическим током. Для защиты сварщика от поражения электрическим током необходимо надежно заземлять корпус источника питания дуги и свариваемое изделие; не использовать контур заземления в качестве сварочного провода; хорошо изолировать рукоятку электрододержателя; работать в сухой и прочной спецодежде и рукавицах (ботинки не должны иметь в подошве металлических шпилек и гвоздей); прекращать работу при дожде и сильном снегопаде (если нет укрытий); не производить ремонта оборудования и аппаратуры (должен выполнять электрик); при работе внутри сосудов пользоваться резиновым ковриком и переносной лампой напряжением не более 12 В.

Заземление. Защитное заземление представляет собой соединение металлическим проводом частей электрического устройства (например; корпуса сварочного трансформатора) с землей.

Заземление служит для защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим частям электрических устройств (корпуса источников питания, шкафы управления и др.), оказавшимся под напряжением в результате повреждения электрической изоляции.

Земля в аварийном режиме работы электрооборудования используется в качестве проводника в цепи замыкания. При правильном заземлении электрооборудования образуются параллельные электрические ветви: одна с малым сопротивлением (3–4 Ом), а другая, в которую входит человек или группа людей, с большим сопротивлением (2000 Ом). Поэтому практически ток не пройдет через тело человека в случае соприкосновения его с корпусом источника питания, случайно оказавшимся под напряжением.

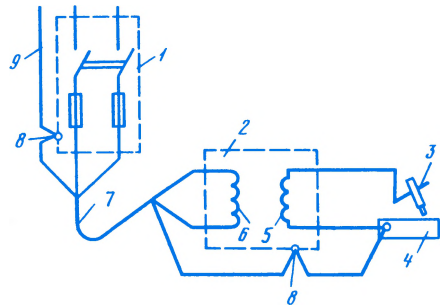


Рис. 35. Схема подключения сварочного трансформатора при питании его от сети с глухозаземленной нейтралью:

1 – пункт подключения, 2 – сварочный трансформатор, 3 – электрододержатель, 4 – свариваемое изделие, 5 – вторичная обмотка трансформатора, 6 – первичная обмотка трансформатора, 7 – питающий шланговый трехжильный провод с заземляющей жилой, 8 – заземляющий болт на корпусе трансформатора и на пункте подключения, 9 – подключение к нулевому проводу сети

Включение в работу незаземленных источников питания дуги запрещается (однако имеются некоторые исключения).

Заземление выполняется различно в зависимости от напряжения и системы электроснабжения (с глухозаземленной нейтралью или с изолированной нейтралью).

На рис. 35 дана схема подключения сварочного трансформатора при питании его от сети с глухозаземленной нейтралью. Из схемы видно, что для питания однофазного сварочного трансформатора от пункта подключения до вводной коробки трансформатора приложен трехжильный гибкий шланговый кабель. Третья жила присоединена одним концом к заземляющему болту корпуса сварочного трансформатора и другим концом к корпусу пункта подключения. Зажим-вывод обмотки низкого напряжения сварочного трансформатора присоединен к свариваемой детали и одновременно заземляющим металлическим проводником к заземляющему болту на корпусе сварочного трансформатора. На передвижных установках применяют переносные заземляющие устройства.

Оказание помощи пострадавшему от электрического тока. В первую очередь необходимо отсоединить токоведущий провод от пострадавшего; это делается перерубанием провода острым инструментом с изолирующей рукояткой или отбрасыванием провода от пострадавшего

го сухой доской. В лучшем случае (если есть возможность) надо сразу выключить рубильник или предохранители. Оказывающий помощь должен предохранить себя от попадания в электрическую цепь, пользуясь для этого изоляционными материалами (сухие доски, резиновый коврик, стекло, пластмасса). Если пострадавший находится на высоте, должны быть приняты меры, исключающие падение после его отключения от провода.

Пострадавшему должен быть обеспечен приток свежего воздуха, полный покой. При отсутствии дыхания и пульса необходимо немедленно начать искусственное дыхание. Во всех случаях при поражении электрическим током необходимо вызвать врача.

Поражение электрическим током (электрический удар) может вызвать клиническую (мнимую) смерть. Состояние клинической смерти продолжается от 4 до 12 мин. За это время человек может быть возвращен к жизни в результате оказания медицинской помощи (реанимация), непрямого массажа сердца или искусственного дыхания.

Следует иметь в виду, что констатировать смерть может только врач. Поэтому оказывать помощь пострадавшему надо непрерывно до прибытия врача.

Искусственное дыхание. Пострадавшего укладывают на живот. Надо обеспечить приток свежего воздуха, расстегнуть пояс, ворот и другие части одежды, затрудняющие дыхание и кровообращение, а также вытянуть язык, который при параличе западает в гортань и перекрывает дыхательные пути. Один человек, расположившись у головы, удерживает пальцами язык носовым платком, а два других делают искусственное дыхание — перемещением локтей пострадавшего от нижних ребер до уровня маковки головы. Локти должны перемещаться параллельно земле, необходимо производить легкое нажатие локтями на середину ребер. Число движений равно числу собственных глубоких дыханий.

В настоящее время широкое распространение получил способ искусственного дыхания «рот в рот». В этом случае оказывающий помощь вдвухает воздух непосредственно в рот пострадавшего. Пострадавший лежит на спине, под лопатки

его подложен мягкий валик (одежда), голова опрокинута назад. Оказывающий помощь делает глубокий вдох, плотно (через марлю, платок) прижимает свой рот ко рту пострадавшего и с силой вдвухает воздух. При этом нос пострадавшего должен быть зажат. После вдвухания рот и нос пострадавшего освобождают для свободного выхода воздуха. Вдвухание производят каждые 5—6 с.

Этот способ более эффективен, чем ручной, так как при каждом вдвухании в легкие пострадавшего воздуха поступает в 3—4 раза больше.

Поражение зрения. Спектр лучистой энергии, выделяемой сварочной дугой, состоит из инфракрасных, световых и ультрафиолетовых лучей. Интенсивность излучения возрастает с повышением тока дуги. При сварке на постоянном токе интенсивность выше по сравнению со сваркой на переменном токе. Различные способы сварки по степени убывания интенсивности излучения дуги можно расположить в такой последовательности: в углекислом газе, покрытыми электродами, вольфрамовым электродом в аргоне и плазменно-дуговая.

Яркость видимой части спектра достигает 16000 кд/см², что в тысячи раз превышает переносимую человеком дозу.

Ультрафиолетовые лучи вызывают заболевание слизистой и иногда роговой оболочки глаз, называемое электроофтальмией, и ожог открытой кожи сварщика. Электроофтальмия начинается спустя 5—8 ч после облучения глаз. Она сопровождается болью в глазах, ощущением засорения глаз мельчайшими частицами, веки глаз закрываются, их трудно поднять, появляется слезотечение, сопровождаемое головной болью.

Практика изготовления сварных изделий в цехах показывает, что электроофтальмия чаще наблюдается у подсобных рабочих и сборщиков, чем у сварщиков.

Максимальная допустимая продолжительность ультрафиолетового облучения глаз, без получения для глаз болей и вреда, при сварке покрытыми электродами, шланговой сварки в углекислом газе и сварке вольфрамовым электродом в аргоне при токе дуги 200 А (постоянный ток с обратной полярностью) составляет на расстоянии 1 м соответственно 6; 13

и 45 с; на расстоянии 10 м — 10; 21 и 75 мин; на расстоянии 30 м — 1,6; 3,3 и 11,1 ч.

Электроофтальмия излечивается в течение 2—3 дн цинковыми каплями или каплями «Альбуцид», промыванием слабым чаем, холодным компрессом.

Инфракрасные лучи могут вызвать повреждение глаз только при длительном действии. Это повреждение называется катарактой (помутнение) хрусталика и может привести к частичной или полной потере зрения. Однако это заболевание у сварщиков встречается редко.

Защита органов зрения. Электросварщики работают со светофильтрами, которые задерживают и поглощают излучение дуги (см. § 13).

В заводских условиях сварщики работают в изолированных кабинах. При работе на открытом воздухе сварщик должен огородить место сварки (щитами, ширмами и т. п.), учитывая, что вредные излучения дуги распространяются на 15—30 м и более.

Стены и потолки сварочных помещений должны окрашиваться матовой краской темных тонов, исключающей отражение лучей дуги.

Отравление вредной пылью и газами. Отравление возможно при сильном загрязнении воздуха сварочной пылью из оксидов и соединений марганца, углерода, азота, хлора, фтора и др. По существующим нормам запыленность помещения не должна превышать 10 мг/м³ воздуха, содержание Mn₂ не более 0,3 мг/м³, СО не более 30 мг/м³, NO не более 5 мг/м³, паров свинца не более 0,1 мг/м³ и т. д. Количество оксидной и вредной пыли при дуговой сварке образуется от 10 до 150 г на 1 кг расплавленных электродов.

Признаками отравления обычно являются: головокружение, головные боли, тошнота, рвота, слабость, учащенное дыхание и др. Отравляющие вещества могут также откладываться в тканях организма человека и вызывать хронические заболевания.

Мероприятиями по борьбе с загрязнениями воздуха служат внедрение новых марок покрытий электродов и порошков с наименьшими токсичными свойствами; приточно-вытяжная вентиляция; устрой-

ство передвижных отсосов; приток свежего воздуха от воздухопроводов через электрододержатель или шлем; пользование респиратором с химическим фильтром, а иногда и противогазом.

Ожоги. При сварке электродный металл и шлак разбрызгиваются; горячие брызги могут попасть на незащищенную кожу сварщика или вызвать тление и прогорание одежды, а тем самым ожоги. Для защиты от ожогов сварщиков обеспечивают специальной одеждой, обувью, рукавицами и головным убором. При работе рядом с легковоспламеняющимися материалами может возникнуть пожар. Опасность пожара особенно следует учитывать при работе на строительстве. Если сварочные работы проводятся наверху, то необходимо находящиеся внизу аппаратуру и любые легковоспламеняющиеся материалы защищать от падающих сверху искр. Требуется также особая осторожность при сварке в тех случаях, когда около места выполнения работ располагаются деревянные леса или имеются отходы в виде стружки, опилок и т. д. Иногда для выполнения сварочных работ требуется обязательное разрешение пожарной охраны. В местах сварочных работ должны находиться вода, ящик с песком, щит с инструментом и огнетушители.

Ушибы, порезы при сборке и сварке изделий. Основным причинами механических травм на производстве при сборочно-сварочных работах могут быть: отсутствие приспособлений для транспортировки и сборки тяжелых деталей; неисправные транспортные средства (тележки, краны и т. д.); неисправный и непроверенный такелаж (канаты, цепи, тросы, захваты и др.); неисправный инструмент (кувалды, молотки, зубила, ключи и т. д.); незнание и несоблюдение персоналом основных правил по такелажным работам.

При сборочно-сварочных работах чаще всего наблюдаются травмы в виде ушибов и ранений рук (от неумелого обращения с инструментом и деталями) и ног (от падения собираемых деталей). Правильно оснащенное рабочее место сварщика должно полностью обеспечить работающих от всяких механических повреждений.

При составлении технологии сборки и сварки следует самым тщательным образом продумать все проектируемые операции с точки зрения безопасности работы.

Контрольные вопросы

1. Назовите марки сварочной проволоки из низкоуглеродистой стали и их химический состав.

2. Как классифицируются стальные покрытые электроды?

3. Назовите типы покрытых электродов для сварки углеродистых, низколегированных и легированных конструкционных сталей.

4. Назовите марки неплавящихся электродов.

5. Как выбирают схему колебательных движений концом электрода?

6. Каковы преимущества обратноступенчатой сварки перед сваркой напроход?

7. Как выбирают число слоев и проходов при выполнении шва?

8. Что такое режим дуговой сварки?

9. Какие нужно соблюдать требования безопасности при выполнении ручной дуговой сварки?

ГЛАВА IV. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

§ 25. Газы, присадочная проволока и флюсы для газовой сварки

Кислород. Высокая температура газового пламени достигается сжиганием горючего газа или паров жидкости в кислороде.

Кислород в чистом виде при температуре 20 °С и атмосферном давлении представляет собой прозрачный газ без цвета, запаха и вкуса, несколько тяжелее воздуха. Масса 1 м³ кислорода при 20 °С и атмосферном давлении равна 1,33 кг. Кислород сжигается при нормальном давлении и температуре –182,9 °С. Жидкий кислород прозрачен и имеет голубоватый цвет. Масса 1 л жидкого кислорода равна 1,14 кг; при испарении 1 л кислорода образуется 860 л газа.

Кислород получают разложением воды электрическим током или глубоким охлаждением атмосферного воздуха.

Технический кислород выпускается трех сортов: 1-го сорта, содержащего не менее 99,7% чистого кислорода, 2-го сорта – не менее 99,5% и 3-го сорта – не менее 99,2% (по объему). Остаток составляют азот, аргон и др.

Чистота кислорода имеет большое значение, особенно для кислородной резки. Снижение чистоты кислорода ухудшает качество обработки металлов и повышает его расход.

Сжатый кислород, соприкасаясь с маслами или жирами, окисляет их с большими скоростями, в результате чего они самовоспламеняются или взрываются. Поэтому баллоны с кислородом

необходимо предохранять от загрязнения маслами.

Горючие газы. К горючим газам относят ацетилен, пропан, природный газ и др.; используют также пары керосина (табл. 10).

Ацетилен чаще других горючих применяется для сварки и резки; он дает наиболее высокую температуру пламени при сгорании в кислороде (3050–3150 °С). Без ущерба качества и производительности только для резки ацетилен заменяется другими горючими – пропаном, метаном, парами керосина и др. Технический ацетилен (C₂H₂) бесцветен, за счет содержащихся в нем примесей обладает резким неприятным запахом, в 1,1 раза легче воздуха, растворяется в жидкостях.

Ацетилен взрывоопасен; находясь под давлением 0,15–0,20 МПа взрывается от электрической искры или огня, а также при быстром нагреве выше 200 °С. При температуре выше 530 °С происходит взрывчатое разложение ацетилена.

Смеси ацетилена с кислородом или воздухом при очень малом содержании ацетилена способны при атмосферном давлении взрываться. Поэтому сварщикам необходимо соблюдать обязательные правила эксплуатации газовой аппаратуры. Самовоспламенение смеси чистого ацетилена с кислородом, выходящей из сопла газовой горелки, происходит при температуре 428 °С.

В промышленности ацетилен получают тремя способами: разложением карбида кальция (CaC₂) водой, термо-

Таблица 10. Характеристика горючих газов и жидкостей для сварки и резки

Наименование горючего	Температура пламени при сгорании горючего в кислороде, °С	Масса 1 м ³ горючего при 20 °С и нормальном давлении, кг	Кэф-фициент замены ацетилена	Количество кислорода, подаваемого в горелку на 1 м ³ горючего, м ³
Газ:				
ацетилен	3050—3150	1,09	1,0	1,0—1,3
водород	2000—2100	0,084	5,2	0,3—0,4
пиролизный	2300	0,65—0,85	1,6	1,2—1,5
нефтяной	2300	0,65—1,45	1,2	1,5—1,6
пропан технический	2400—2500	1,90	0,6	3,4—3,8
природный	2100—2200	0,7—0,9	1,6—1,8	1,5—2,0
коксовый	2000	0,4—0,5	3,2—4,0	0,6—0,8
сланцевый	2000	0,7—0,9	4,0	0,7
Пары керосина	2400—2450	800—840*	1,0—1,3	1,7—2,4 на 1 кг
Пары бензина	2500—2600	700—760*	1,4	1,1—1,4 на 1 кг

* Для керосина и бензина приведена масса 1 м³ жидкости.

окислительным пиролизом (разложением) нагретого природного газа с кислородом, разложением жидких углеводородов (нефти, керосина) электрической дугой. Для сварки и резки ацетилен получают из карбида кальция. Технический карбид кальция загрязнен вредными примесями, которые переходят в ацетилен. Они ухудшают качество сварки и должны удаляться из ацетилена промывкой водой и химической очисткой. Ацетилен должен удовлетворять определенным требованиям.

Газы-заменители ацетилена. Пропан-бутановая смесь представляет собой смесь пропана с 5—30% бутана. Смесь получают при добыче природных газов и при переработке нефти. Температура пропан-кислородного пламени низка и достигает 2400 °С (используется лишь для сварки стали толщиной не более 3 мм).

Низкотемпературное пламя целесообразно применять при резке, нагреве деталей для правки, огневой очистки поверхности металла, а также для сварки легкоплавких металлов. Пропан-кислородная сварка стальных листов толщиной до 3 мм по качеству не уступает ацетилено-кислородной сварке. Во всех этих случаях пропан можно заменить ацетиленом.

Для сварочных работ пропан-бутановая смесь доставляется потребителю в сжиженном состоянии. Переход смеси

из жидкого состояния в газообразное происходит самопроизвольно в верхней части баллона из-за меньшей удельной массы газа по сравнению с сжиженной смесью.

Технический пропан тяжелее воздуха и имеет неприятный специфический запах.

Природный газ. Состоит в основном из метана (77—98%) и небольших количеств бутана, пропана и др. Газ почти не имеет запаха, поэтому для обнаружения его утечки в него добавляют специальные резко пахнущие вещества.

Метан-кислородное пламя имеет температуру 2100—2200 °С, которая ниже пропан-кислородного пламени, поэтому природный газ можно применять в ограниченных случаях, главным образом для термической резки.

Прочие газы и горючие жидкости. Для образования газового пламени в качестве горючего можно использовать и другие газы (водород, коксовый, нефтяной газы), горючие жидкости (керосин, бензин).

Жидкие горючие менее дефицитны, но требуют специальной тары по сравнению с газообразными. Для сварки и резки горючая жидкость преобразуется в пары пламенем наконечника горелки или резака. Температура керосинокислородного пламени 2400—2450 °С, бензинокислородного 2500—2600 °С. Пары жидких горючих употребляют в основном для резки и поверхностной обработки металлов.

Карбид кальция CaC_2 представляет собой твердое вещество темно-серого или коричневого цвета, удельная плотность 2,26–2,4 г/см³. Карбид кальция получают в электрических печах сплавлением извести и кокса по реакции: $\text{CaO} + 3\text{C} \rightarrow \text{CaC}_2 + \text{CO} - \text{Q}$.

В техническом карбиде кальция содержится до 90% чистого карбида, остальное – примесь извести. После остывания, дробления и сортировки карбид кальция упаковывают по 100–130 кг в герметические барабаны из кровельной стали или оборотную тару – бидоны вместимостью 80 и 120 кг.

Получение ацетилена из карбида кальция происходит по реакции: $\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Q}$.

Теоретически для разложения 1 кг CaC_2 надо затратить 0,562 кг воды, при этом получается 0,406 кг (372,5 л) ацетилена и 1,156 кг гашеной извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Реакция происходит с выделением теплоты (около 475 ккал/кг карбида кальция). Чтобы предотвратить нагревание ацетилена, которое может вызвать взрывчатый его распад, практически расходуются воды от 5 до 15 л в зависимости от конструкции ацетиленовых генераторов, в которых получают ацетилен.

Карбид кальция жадно поглощает пары воды из воздуха с выделением ацетилена.

По ГОСТ 1460–81 карбид кальция выпускают в кусках следующих размеров (грануляции): 2 × 8; 8 × 15; 15 × 25; 25 × 80 мм. Чем крупнее куски карбида кальция, тем больше выход ацетилена.

С учетом примесей, содержащихся в карбиде кальция, и различной грануляции практически выход ацетилена из карбида кальция в среднем составляет от 250 до 280 л на 1 кг CaC_2 .

Иногда в карбидном барабане скапливается много пылевидного карбида кальция. Карбидной пылью можно пользоваться лишь в генераторах особой конструкции. Применять пылевидный карбид кальция в генераторах, предназначенных для работы с карбидом кальция крупной грануляции, нельзя во избежание взрыва.

Сварочная проволока для газовой сварки. По химическому составу сварочная проволока должна быть по возможности такой же, как и металл свариваемого из-

делия. Марки сварочной проволоки принимают те же и по тому же ГОСТ 2246–70, что и для дуговой сварки. Диаметр проволоки устанавливают в зависимости от толщины свариваемой стали и вида сварки. Обычно принимают диаметр проволоки равной половине толщины свариваемого листа. При толщине стали более 16 мм применяют прутки диаметром 8 мм.

Флюсы. Для удаления из сварочной ванны неметаллических включений, защиты от окисления металла кромок свариваемых деталей и сварочной проволоки применяют флюсы. Флюс растворяет неметаллические включения и оксиды, образуя относительно легкоплавкую с малой удельной плотностью механическую смесь, которая легко поднимается в сварочный шлак. Флюсы вводятся в сварочную ванну в виде порошков или паст.

При сварке низкоуглеродистых сталей флюсы не употребляются, так как образующиеся в этом случае легкоплавкие оксиды железа и другие свободно (как показывает практика сварки) выходят на поверхность шва.

С флюсами выполняется сварка цветных металлов, чугунов и некоторых высоколегированных сталей. Составы этих флюсов приведены при описании технологии сварки соответствующих металлов.

§ 26. Ацетиленовые генераторы. Водяные затворы

Ацетиленовым генератором называют аппарат, предназначенный для получения ацетилена из карбида кальция с помощью воды (рис. 36).

Генераторы подразделяются (ГОСТ 5190–78) по давлению получаемого ацетилена: низкого давления до 10 кПа и среднего давления от 10 до 70 кПа и от 70 до 150 кПа; по производительности и установке: передвижные производительностью до 3 м³/ч и стационарные производительностью от 3 м³/ч; по способу взаимодействия карбида кальция с водой: «карбид в воду» (КВ), «вода на карбид» (ВК), «вытеснение воды» (ВВ), комбинированные – «вода на карбид» и «вытеснение воды» (ВК и ВВ).

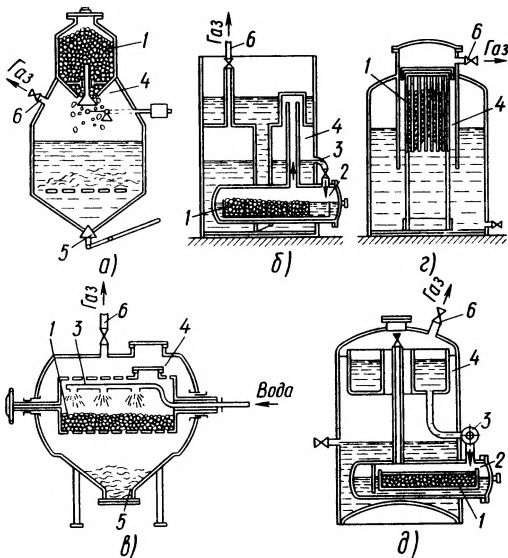


Рис. 36. Ацетиленовые генераторы: а – «карбид в воду», б – «вода на карбид», в – «сухого разложения», г – «вытеснение воды», д – комбинированная система «вода на карбид» и «вытеснение воды»; 1 – бункер или барабан с карбидом кальция, 2 – реторта, 3 – система подачи воды, 4 – газосборник, 5 – спуск ила, 6 – отбор газа

Промышленностью выпускаются передвижные ацетиленовые генераторы типов АСП-1,25-6 (ацетиленовый, среднего давления, передвижной, производительностью 1,25 м³/ч, модель б) АСП-1,25-7 и стационарные АСК-1-67 (ацетиленовый, среднего давления, комбинированный, модель 1 конструкции 1967 г.), АСК-3-74, АСК-4-74. Выпускается установка УАС-5, состоящая из ацетиленового генератора АСК-1-67.

Передвижной ацетиленовый генератор типа АСП-1,25-6 (рис. 37, а).

Техническая характеристика генератора

Рабочее давление после водяного затвора, кПа	от 10 до 70
Единовременная загрузка карбида кальция, кг	3,5
Время работы без перезарядки, ч	0,7–0,8
Допустимые размеры кусков карбида кальция, мм	25–80
Общая вместимость генератора, л	50,6
Вместимость промывателя, л	24,5
Вместимость газообразователя, л	15,0
Вместимость вытеснителя, л	11,1
Количество воды, заливаемой в генератор, л	19,1
Габарит, мм	420 × 380 × 960
Масса без воды и карбида кальция, кг	21,3

Генератор (рис. 37, б) представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат, состоящий из корпуса, крышки 4 с мембраной 6, корзины для карбида кальция 8, предохранительного клапана 9, вентиля 12, предохранительного затвора 13 и других элементов.

Корпус состоит из трех частей: верхней – газообразователя, средней – вытеснителя и нижней – промывателя и газосборника; верхняя часть с нижней соединены между собой переливной трубкой 10. В газообразователе происходит разложение карбида кальция с выделением ацетилена.

Регулирование количества разложенного карбида кальция в газообразователе происходит двумя способами: вертикальным движением корзины с карбидом кальция в воду и обратно на соответствующую высоту; корзина с карбидом

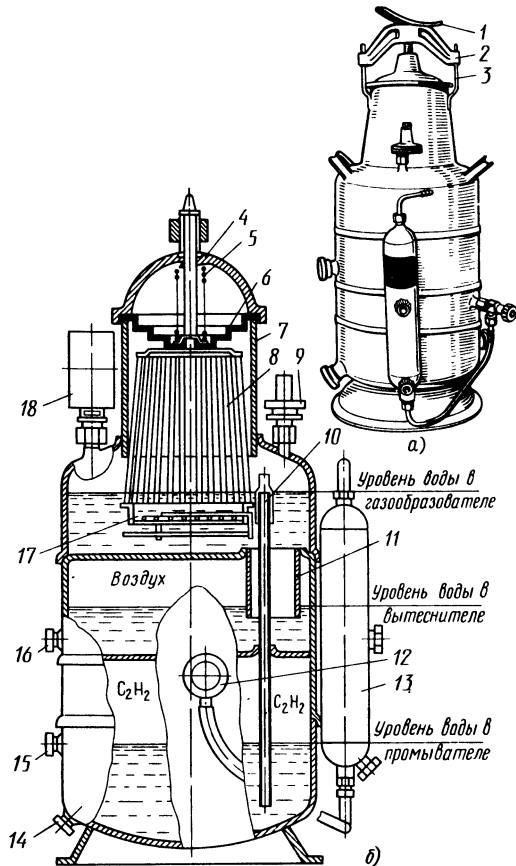


Рис. 37. Внешний вид (а) и схема (б) передвижного ацетиленового генератора среднего давления АСП-1,25-6

кальция связана с мембраной 6, укрепленной в крышке 4 горловины 7 аппарата; за счет работы вытеснителя; в вытеснителе находится воздушная подушка и вода, которая сообщается с водой в газообразователе в процессе работы генератора.

В промывателе происходит охлаждение и отделение ацетилена от частичек извести. В верхней части этой камеры скапливается ацетилен. Эту часть аппарата называют газосборником.

Вода в газообразователь заливается через горловину 7. При достижении уровня переливной трубки 10 вода поступает из газообразователя в промыватель. Заполнение промывателя происходит до уровня контрольной пробки 15.

Карбид кальция загружают в корзину 8, закрепляют поддон 17, устанавливают крышку 4 с мембраной 6 на горловину 7. Уплотнение крышки с горловиной обеспечивается мембраной 6 усилием, создаваемым винтом 1.

Образующийся в газообразователе ацетилен по трубке 10 поступает в промыватель, проходит через слой воды, охлаждается и промывается.

Из промывателя ацетилен, пройдя через ventиль 12 по шлангу, поступает в предохранительный затвор 13, откуда далее на потребление.

По мере повышения давления в газообразователе корзина с карбидом кальция, связанная с пружиной 5 мембраны, перемещается вверх, уровень замочки карбида кальция уменьшается, ограничивается выработка ацетилена и рост давления прекращается.

При снижении давления в газообразователе усилием пружины 5 мембрана и корзина с карбидом кальция опускается в воду. Таким образом с помощью мембраны с пружиной осуществляется автоматическое регулирование давления ацетилена в аппарате.

Давление в аппарате можно регулировать вытеснением воды из газообразователя в вытеснитель через патрубок 11 и обратно. По мере выделения ацетилена давление в газообразователе возрастает, вода переливается в вытеснитель, уровень воды в газообразователе понижается и корзина с карбидом кальция оказывает выше уровня воды — реакция разложе-

ния карбида кальция водой прекращается. По мере понижения давления в газообразователе вода из вытеснителя поднимается вверх и вновь происходит замочка карбида кальция в газообразователе.

Предохранительный клапан 9 служит для сброса избыточного давления ацетилена в случае его возможного повышения. В месте присоединения клапана к корпусу установлена сетка, предназначенная для задержания частиц карбида, окалины и др.

Вентиль 12 служит для пуска и регулирования подачи ацетилена к потребителю. Давление ацетилена в газообразователе контролируется манометром 18.

Слив ила из газообразователя и иловой воды из промывателя осуществляется соответственно через штуцера 16, 14.

Затвор предохранительный 13 среднего давления типа ЗСГ-1,25-4 служит для предохранения генератора от проникновения в него взрывной волны при обратном ударе пламени, а также от проникновения воздуха и кислорода со стороны потребителя.

Затвор (рис. 38) состоит из цилиндрического корпуса 3 с верхним и нижним сферическим днищами. В нижнее днище ввернут обратный клапан, состоящий из корпуса 3 гуммированного клапана 4 и колпачка 5, ограничивающего подъем гуммированного клапана.

Внутри корпуса в верхней части затвора расположен пламепреградитель 2, а в нижней части рассекатель 8. Вода в затвор заливается через верхний штуцер при снятом nipple 1 до уровня контрольной пробки 9. Слив воды осуществляют через штуцер, отвернув пробку 7.

Ацетилен поступает в затвор по газоподводящей трубке, приподнимает гуммированный клапан, проходит через слой воды, затем выходит через nipple 1. При обратном ударе ацетилено-кислородного пламени давлением воды клапан прижимается к седлу и не допускает проникновения ацетилена из генератора в затвор, а пламя гасится столбом воды.

После каждого обратного удара надо проверять уровень воды в затворе и в случае надобности доливать его водой.

Слив воды из затвора производится через штуцер 6.

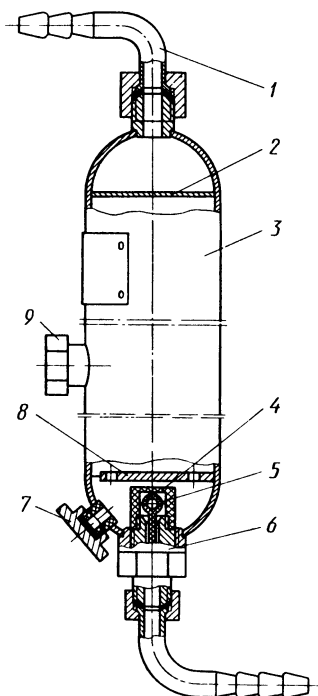


Рис. 38. Водяной затвор ЗСГ-1,25-4 генератора АСП-1,25-6

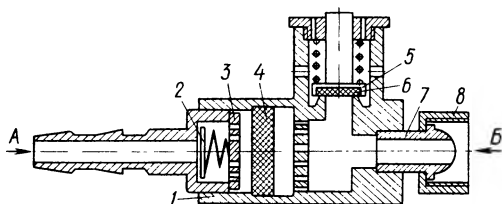


Рис. 39. Шланговый обратный клапан

Для газов-заменителей ацетилена применяют водяные затворы только закрытого типа или обратные предохранительные клапаны. Обратные клапаны устанавливают после редуктора у газового баллона или непосредственно в сети перед горелкой при разводке газа по сварочным постам трубопроводами.

Применяют обратные клапаны трех типов, различные по конструкции: с разрывной мембраной при выбросе горючей смеси в атмосферу; с выбросом горючей смеси (безмембранные); обеспечивающие подачу пламегасящего газа (воздуха или азота) при обратном ударе пламени и одновременное преграждение подачи газов к горелке.

Последний тип защиты от обратных ударов наиболее совершенен, но сложнее по конструкции.

На рис. 39 приведен шланговый обратный клапан с выбросом горючей смеси в атмосферу, который устанавливается у газоподводящих штуцеров горелки (резака). В корпусе 1 размещен пористый металлический фильтр 4 и выпускной клапан 5 с несгораемым уплотнителем 6. Клапан присоединяется к штуцеру горелки с помощью накидной гайки 8 и ниппеля 7. При нормальной работе газ поступает в направлении стрелки А. При обратном ударе газовая смесь движется по направлению стрелки Б, часть ее выбрасывается через клапан 5, пламя гасится в фильтре 4, а дисковый клапан 2 перекрывает доступ газов в рукав между дисковым клапаном 2 и пористым металлическим фильтром 4; для жесткости поставлена медная сетка 3.

Подготовка к работе генератора:

1. Снять крышку 4 и поддон 17 от корзины 8 (см. рис. 37).

2. Убедиться в том, что в корпусе генератора нет посторонних предметов, он промыт и очищен от ила.

3. Проверить закрепление вентиля 12 и предохранительного клапана 9 на генераторе и наличие сетки в месте присоединения ее к корпусу.

4. Открыть контрольную пробку 15 в генераторе и контрольную пробку в водяном затворе.

5. Залить водой водяной затвор до уровня контрольной пробки и генератор через горловину до уровня контрольной пробки 15.

Примечание. При минусовой температуре в предохранительный затвор нужно заливать морозостойчивый раствор.

6. После слива избытка воды из генератора и затвора закрыть контрольные пробки, закрепить ниппельный отвод затвора.

7. Соединить шлангом вентиль 12 и предохранительный затвор.

8. Загрузить карбид кальция грануляции 25/80 не более 3,5 кг (в сухую и очищенную от извести корзину). При малом расходе ацетилена разрешается неполная загрузка корзины карбидом кальция.

9. Закрепить поддон 17 на корзину 8.

Порядок работы генератора:

1. Опустить загруженную карбидом кальция корзину 8 в горловину и быстро уплотнить крышку 4 с помощью траверсы 2, крюка 3 и винта 1.

2. Открыть плавно вентиль 12.

3. Нажать кольцо клапана 9 для предупреждения прилипания прокладки.

4. Продуть ацетиленом шланги и сварочный инструмент (горелку, резак) в течение 1 мин.

5. Следить за давлением газа в генераторе по манометру 18. Если давление газа по какой-либо причине поднимается выше 0,15 МПа, а предохранительный клапан 9 не сработает, выпустить газ через предохранительный клапан, принудительно открыв его нажатием пальца на кольцо клапана.

6. После разложения загрузки карбида кальция сделать новую зарядку.

7. Перед каждой новой зарядкой генератора и после каждого обратного удара проверить уровень жидкости в затворе.

Примечание. Допускается перенос генератора в заряженном состоянии в вертикальном положении, избегая толчков и встряхивания.

8. После окончания работы промыть корзину, газообразователь и промыватель от ила, слить конденсат из генератора через открытые штуцера 16 и 14.

Правила обслуживания генератора.

1. К обслуживанию генератора допускаются лица, достигшие 18-летнего возраста, знающие устройство и работу генератора.

2. Генератор предназначен для работы на открытом воздухе.

Примечание. Для временных операций разрешается устанавливать аппарат в жилых и производственных помещениях при наличии объема не менее 300 м³.

3. Запрещается работать с генератором в помещении, где имеются вещества, могущие образовать с ацетиленом взрывоопасные соединения, а также около мест засоса воздуха компрессорами и вентиляторами.

4. Аппарат устанавливать на расстоянии не менее 10 м от места работы горелки (резака), а также от любого источника пламени или нагреваемых предметов.

5. После каждой перезарядки генератора и каждого обратного удара необходимо проверять уровень жидкости в затворе.

6. Загрузка карбида кальция в корзину допускается только грануляции 25/80 в количестве, не превышающем 3,5 кг.

7. Перед зажиганием сварочного инструмента продуть ацетиленом генератор, предохранительный затвор и шланги для удаления взрывоопасной смеси ацетилена с воздухом. Для этого нужно открыть ацетиленовый вентиль на горелке в течение 1 мин.

8. Запрещается применять сварочный инструмент с пропускной способностью, превышающей 1,25 м³/ч.

9. При неисправной работе генератора запрещается открывать крышку и вынимать корзину с горячим, неразложившимся карбидом кальция. Это может быть сделано только после остывания генератора в течение не менее 2–3 ч и сброса давления газа выпуском его через сварочный инструмент.

10. Очистку корзины от ила производить только скребками из неискрящегося материала (алюминия, латуни); употребление стального инструмента запрещается.

11. При работе при минусовой температуре следить, чтобы вода в корпусе генератора не замерзала, для чего сливать ее при каждом длительном перерыве в работе.

Примечание. Если в генераторе замерзла вода, то отогревать надо только горячей водой или паром, категорически запрещается применение открытого пламени горелки, паяльной лампы и др.

12. Категорически запрещается удлинять рукоятку винта для увеличения усилия при использовании крышки через траверсу.

13. Работающий генератор даже при кратковременных перерывах в работе запрещается оставлять без надзора.

14. По окончании работы генератор должен быть разгружен и установлен в такое место, чтобы полностью исключить доступ к нему посторонних лиц; зажигание огня или приближение нагретых предметов на расстояние менее 10 м от генератора.

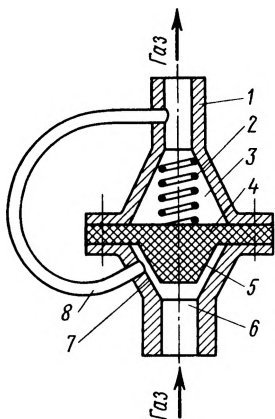


Рис. 40. Сухой мембранный предохранительный затвор ЗСН-1,25

15. Паспорт генератора и инструкция по эксплуатации должны находиться у лица, ответственного за генератор.

Передвижной ацетиленовый генератор АСП-1,25-7. Устройство генератора модели 7 отличается от генератора модели 6 конструкцией предохранительного затвора и мелкими конструктивными изменениями корзины. В конструкции генератора модели 7 имеется сухой предохранительный затвор мембранного типа ЗСН-1,25 (рис. 40) вместо ЗСГ-1,25-4 в генераторе модели 6.

Затвор состоит из корпуса 1, в котором размещена мембрана 4 с коническим утолщением 5, разделяющая полость корпуса на газоподводящий коллектор 6 и взрывную камеру 3, соединенные петлевым трубопроводом 8. Пружина 2, опирающаяся на мембрану, поджимает коническое утолщение к седлу 7. Проходящий газ отжимает мембрану 4 и из газопроводящего коллектора 6 через петлевой трубопровод 8 беспрепятственно поступает во взрывную камеру 3 и далее к потребителю.

При воспламенении газа под действием взрывной волны мембрана перекрывает газопроводящий коллектор раньше, чем пламя достигает его по петлевому трубопроводу. В результате обеспечивается надежное перекрытие газовой магистрали при воспламенении газа.

В корзину генератора модели 7 можно загружать карбид кальция мелкой грануляции в количестве до 5% от общей массы карбида кальция грануляции 25/80.

Стационарный ацетиленовый генератор АСК-1-67 (рис. 41). Генератор работает по комбинированной системе «вода на карбид» и «вытеснение воды» производительностью 5 м³/ч при давлении ацетилена 15–40 кПа, максимум 70 кПа.

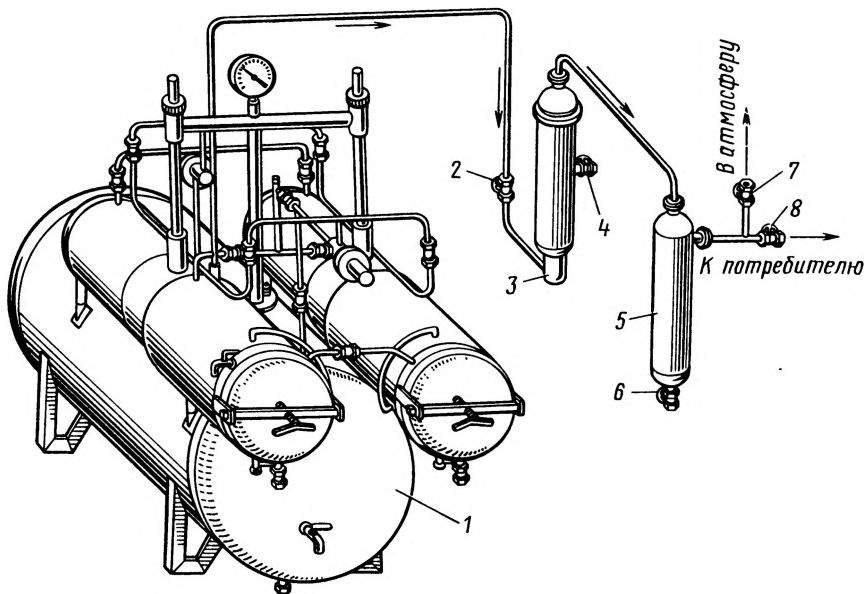


Рис. 41. Ацетиленовый генератор АСК-1-67

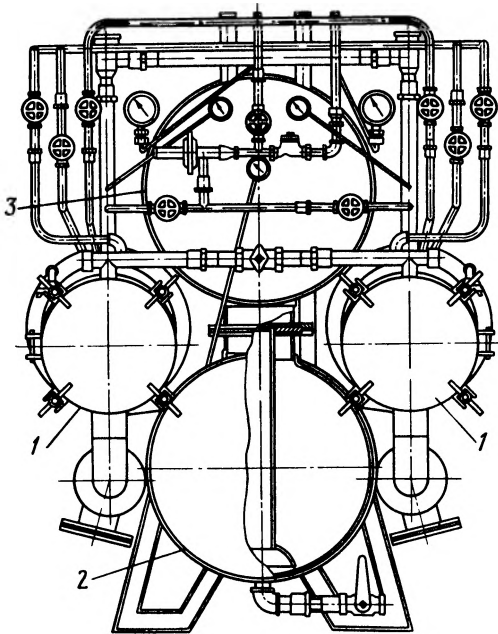


Рис. 42. Ацетиленовый генератор среднего давления АСК-4-74:

1 – реторты, 2 – промыватель, 3 – газосборник

Генератор состоит из двух поочередно работающих реторт с газосборником 1, вентиля подачи ацетилена в предохранительный затвор 2, предохранительного затвора 3, контрольного крана у затвора 4, влагосборника 5, крана для сброса конденсата 6, продувочного вентиля 7, вентиля подачи ацетилена в сеть 8 и других элементов.

Первоначально перед пуском генератора газосборник и водяной затвор заливают водой до уровня контрольных кранов. Загружают в корзины карбид кальция и вставляют их в реторты, плотно закрепляя последние крышками. Включают подачу воды. Открывают продувочный и сбросной вентиль, продувают реторту, влагосборник и водяной затвор.

Генератор начинает работать после открытия вентиля подачи воды на одной из реторт. По мере выделения ацетилена давление в газосборнике возрастает, происходит переливание воды из загрузочной камеры в вытеснитель и газообразование в ней приостанавливается, по мере отбора газа из газосборника давление в нем падает, вода вновь поступает из вытеснителя в реторту и процесс выработки ацетилена возобновляется.

После начала газообразования в первой реторте подготавливают к работе вторую реторту.

Стационарный ацетиленовый генератор АСК-4-74 (рис. 42). Описания конструкции и работы генератора смотрите в инструкции по эксплуатации.

Стационарный ацетиленовый генератор АСК-3-74. В основном конструкция генератора АСК-3-74 аналогична конструкции генератора АСК-4-74, производительность генератора та же. Разница заключается в давлении получаемого ацетилена. В генераторе АСК-3-74 давление ацетилена на выходе из газообразователя доходит до 150 кПа, а в генераторе АСК-4-74 – до 70 кПа. Вследствие этого рекомендуется пользоваться генератором АСК-3-74 для многозаточных постов по трубопроводу ацетиленом на относительно длинные расстояния.

§ 27. Баллоны для сжатых газов

Баллоны различаются по вместимости, конструктивным особенностям, окраске. Наиболее распространены баллоны вместимостью 40 дм³.

Кислородный баллон окрашивают в голубой цвет, ацетиленовый – в белый, баллон для аргона – в серый, для углекислого газа и воздуха – в черный, водорода – в темно-зеленый, для прочих горючих газов – в красный цвет.

На верхней сферической части баллона оставляют неокрашенным место, на котором выбивают паспортные данные баллона: товарный знак завода-изготовителя, номер баллона, массу порожнего баллона, дату изготовления, год следующего испытания, рабочее и испытательное давление, вместимость, клеймо ОТК. Испытания проводят через каждые пять лет эксплуатации.

Кислород наполняется в баллоны до давления 15 МПа. Определить количество кислорода в переводе на атмосферное давление можно умножением емкости баллона на давление газа в нем (по показанию манометра). Баллон вместимостью 40 дм³ при давлении газа 15 МПа (150 кгс/см²) содержит кислорода $40 \times 150 = 6000$ дм³, или 6 м³.

Полностью выпускать кислород из баллона нельзя, так как на заводе, где наполняют баллоны кислородом, бывает необходимость проверки состава газа, находившегося в баллоне.

Ацетиленовые баллоны заполнены пористой массой (древесный уголь, пемза, инфузорная земля и др.), образующей микрообласти, необходимые для безопасного хранения ацетилена под давлением. Микрообласти заполняются ацетоном, растворяющим ацетилен. Один объем ацетона растворяет при нормальной температуре и давлении 23 объема ацетилена. Давление растворенного ацетилена в наполненном баллоне не должно превышать 1,9 МПа при 20 °С.

При отборе ацетилена из баллона частично уносится ацетон. Для уменьшения потерь ацетона нельзя отбирать ацетилен из баллона со скоростью более 1700 $\text{дм}^3/\text{ч}$. Остаточное давление должно быть 0,05–0,1 МПа, при температуре от 25 до 35 °С – 0,3 МПа.

Ацетиленовые баллоны при работе всегда должны находиться в вертикальном положении.

Баллоны для сжиженного газа пропана изготавливают сварными из углеродистой стали Ст3 вместимостью 27; 50; 80 дм^3 с толщиной стенки 3 мм. Предельное рабочее давление в баллоне с пропаном не должно превышать 0,16 МПа. Баллон наполняется с таким расчетом, чтобы над жидкостью была паровая подушка для заполнения ее расширившимся сжиженным газом при повышении температуры. Коэффициент наполнения пропанового баллона составляет 0,452 $\text{кг}/\text{дм}^3$. В пропановый баллон вместимостью 50 дм^3 заливается 21,3 кг жидкого пропана.

Вентиль – это запорное устройство, которое позволяет сохранить в баллоне сжатый или сжиженный газ. Назначение и принцип действия всех баллонных вентилях одинаковы. Каждый вентиль имеет шпindel, который перемещается при вращении маховичка, открывающая или закрывающая клапан. Хвостовик вентиля имеет коническую резьбу.

Вентиль кислородного баллона изготавливается из латуни, обладающей коррозионной стойкостью при работе в среде кислорода. Редуктор присоединяется

к вентилю накидной гайкой с правой резьбой. Кислородный вентиль не должен быть загрязнен, особенно жирами и маслами. Кислородные вентили пригодны для баллонов с азотом, аргоном, сжатым воздухом и углекислотой.

Ацетиленовый вентиль изготавливается из стали, так как медные сплавы с содержанием более 70% меди при длительном соприкосновении с ацетиленом образуют взрывчатое соединение – ацетиленистую медь. Ацетиленовый редуктор присоединяется к вентилю хомутом, а открывание и закрывание вентиля выполняется специальным торцовым ключом.

Вентиль для пропанового баллона по конструкции подобен кислородному, но в отличие от него редуктор присоединяется накидной гайкой с левой резьбой.

Вентили имеют различную резьбу хвостовиков, что исключает возможность установки на баллон не соответствующего ему вентиля.

§ 28. Редукторы для сжатых газов. Рукава

Редуктор служит для понижения давления газа с баллонного или сетевого до рабочего и автоматического поддержания рабочего давления постоянной величины независимо от давления газа в баллоне или сети.

Принцип действия всех редукторов одинаков (рис. 43). Редуктор имеет две камеры: высокого давления 2 и низкого давления 6. Камера 2 непосредственно сообщается с баллоном, и давление газа в ней равно давлению газа в баллоне. Между первой и второй камерами находится клапан 1, на который действуют пружины 3 и 8. Газ, проходя через клапан 1, преодолевает большое сопротивление и теряет давление. В зависимости от соотношения усилий сжатия этих пружин клапан будет закрыт (усилие пружины 3 больше усилия пружины 8) или открыт (усилие пружины 8 больше усилия пружины 3). Чем больше сжата пружина 8, тем больше открыт клапан 1 и тем выше давление в камере 6. Регулирование усилия сжатия пружины 8 достигается вращением винта 9. Ввертывание винта 9 сжимает пружину 8, вывертывание винта уменьшает усилия сжатия пружины.

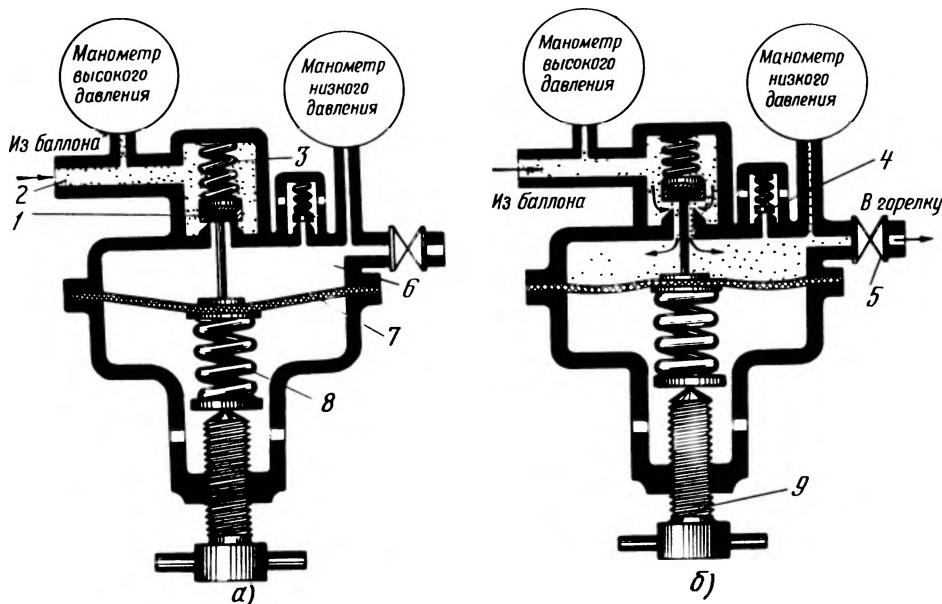


Рис. 43. Схема устройства и работы редуктора: а — нерабочее, б — рабочее положения

Чтобы закрыть клапан 1, надо полностью ослабить пружину 8. Камера 6 сообщается через газовый вентиль 5 с горелкой, и давление газа в горелке равно давлению в камере 6. Редуктор имеет предохранительный клапан 4.

Давление в обеих камерах измеряется манометрами.

Если при каком-то положении винта 9 расход и поступление газа в редуктор равны, то рабочее давление остается постоянным и мембрана 7 находится в одном положении. Если количество газа, отбираемого из редуктора, больше количества газа, поступающего в него, то давление в камере 6 понизится. При этом нажимная пружина 8 начнет удлиняться и будет деформировать мембрану 7; клапан 1 откроется, в результате чего поступление газа в камеру 6 увеличится. Уменьшение расхода газа в процессе работы вызовет повышение давления в камере 6 редуктора, усилие, действующее на мембрану 7, возрастает, она изогнется в противоположную сторону и сожмет пружину 8. Клапан 1 будет закрываться и поступление газа уменьшится. Таким образом мембрана обеспечивает автоматическое поддержание давления.

Редукторы классифицируются по принципу действия (прямого и обратно-

го), пропускной способности, рабочему давлению газа и роду газа.

Кроме рассмотренного выше одноступенчатого (однокамерного) редуктора выпускаются двухступенчатые редукторы (двухкамерные), в которых снижение давления газа достигается за две ступени: например, в кислородном редукторе — с 15 до 5 МПа и с 5 МПа до рабочего давления.

Двухступенчатые редукторы более точно поддерживают заданное давление, не замерзают при низких температурах и не нуждаются в частой регулировке рабочего давления газа в процессе эксплуатации; однако конструкция их значительно сложнее.

Ацетиленовый редуктор по принципу действия подобен кислородному. Отличие состоит в способе присоединения к вентилю баллона. Этим же отличаются и редукторы для других горючих газов.

Корпус редуктора окрашивается в тот же цвет, что и баллон: кислородный — в голубой, ацетиленовый — в белый, пропановый — в красный.

Промышленность выпускает баллонные кислородные редукторы (одноступенчатый) ДКП-1-65 (рис. 44, а), двухступенчатые ДКД-8-65 и ДКД-15-65, баллонные ацетиленовые редукторы

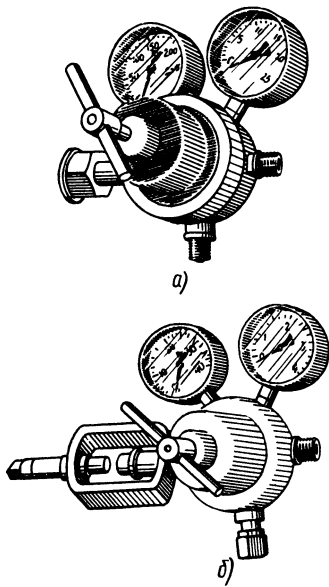


Рис. 44. Баллонные редукторы

ДАП-1-65 (рис. 44,б), двухступенчатый ДАД-1-65, водородный ДВП-1-65 и пропан-бутановый ДПП-1-65.

На сварочных постах, питаемых от газопровода, устанавливаются сетевые редукторы: кислородный ДСК-66, ацетиленовый ДАС-66, пропановый ДПС-66 и метановый ДМС-66.

Для централизованного питания газами применяют центральные (рамповые) редукторы кислородные ДКР-250 и ДКР-6000, рассчитанные на максимальную пропускную способность газа соответственно до 250 и 6000 м³/ч при рабочем давлении 0,3–1,6 МПа; ацетиленовый ДАР-64 с пропускной способностью до 15 м³/ч и пропан-бутановый ДПР-1-64 с пропускной способностью до 25 м³/ч.

Для аргона выпускаются редукторы АР-10, АР-40 и АР-150.

Обращение с редукторами. Перед присоединением редуктора к вентилю баллона необходимо продуть отверстие вентиля баллона, открыв его на 1–2 с. При этом сварщик должен стоять в стороне от выхода струи газа. На штуцере, прокладке и резьбе накидной гайки редуктора не должно быть грязи и масла.

Редуктор присоединяется при вывернутом регулировочном винте.

Накидная гайка редуктора наворачивается на ниппель вентиля от руки и затем затягивается без большого усилия гаечным ключом. Открывая вентиль баллона, надо следить за показаниями манометра высокого давления. Необходимо отрегулировать винтом редуктора рабочее давление газа и после этого пускать газ в горелку.

При перерывах в работе необходимо закрывать вентиль баллона, ослаблять регулировочный винт редуктора и выпускать из камеры низкого давления газ.

При эксплуатации редуктора необходимо: работать только с исправными манометрами; плавно вращать регулирующий винт редуктора при установлении рабочего давления газа; следить за исправностью предохранительного клапана редуктора; при замерзании редуктора отогревать его горячей водой без следов масла; ремонтировать редукторы только в специальных мастерских.

Замерзание редуктора происходит при резком снижении давления газа. Если газ содержит пары воды, то они могут образовывать кристаллы льда, которые заполняют каналы редуктора. От этого нарушается работа редуктора. Опасность замерзания тем значительнее, чем больше перепад давления, влажность газа и ниже температура окружающего воздуха.

Рукава (шланги) служат для подвода газа к горелке или резаку. Они изготавливаются из резины с одной или двумя тканевыми прослойками. Согласно ГОСТ 9356–75, выпускаются рукава трех типов: I – для ацетилена и газов-заменителей (пропан и др.); II – для жидких горючих (из бензостойкой резины); III – для кислорода. Рукава изготавливаются с внутренними диаметрами 6; 9; 12 и 16 мм. Для горелок с низкой мощностью пламени применяются рукава с внутренним диаметром 6 мм.

Рукава должны иметь окраску наружного слоя: кислородные – синюю, ацетиленовые – красную, для жидкого горючего – желтую.

Для работы при низких температурах (ниже –35 °С) применяют некрашенные рукава из морозостойкой резины. Длина рукава берется не более 20 м и не менее 4,5 м; длина стыкуемых участков должна быть не менее 3 м; при монтажных рабо-

тах допускается длина до 40 м. Крепление рукавов на ниппелях горелок и между собой осуществляется специальными хомутами или мягкой отожженной проволокой.

Рукава выпускаются на рабочее давление: типы I и II — до 0,6 МПа, тип III — до 1,5 МПа.

Манометр служит для измерения давления газа и состоит из трубчатой пружины, согнутой по дуге. Внутренняя полость трубки соединяется ниппелем, ввернутым в корпус редуктора, с камерой, в которой находится газ. Второй свободный конец трубки имеет наконечник, механически соединенный со стрелкой. При изменении давления меняется величина деформации трубчатой пружины, а вместе с ней и отклонение стрелки.

Показания манометров должны строго соответствовать давлению газа. Неисправный манометр следует заменять; редуктор с неисправным манометром к эксплуатации не допускается.

§ 29. Сварочные горелки

Горелки разделяются на инжекторные и безинжекторные, однопламенные и многопламенные, для газообразных горючих (ацетиленовые и др.) и жидких (пары керосина). Наибольшее применение

имеют инжекторные горелки, работающие на смеси ацетилена с кислородом.

Схема и принцип работы инжекторной горелки. Горелка состоит из двух основных частей — ствола и наконечника (рис. 45). Ствол имеет кислородный 1 и ацетиленовый 16 ниппели с трубками 3 и 15, рукоятку 2, корпус 4 с кислородным 5 и ацетиленовым 14 вентилями. С правой стороны горелки (если смотреть по направлению течения газов) находится кислородный вентиль 5, а с левой — ацетиленовый вентиль 14. Вентили служат для пуска, регулирования расхода и прекращения подачи газа при гашении пламени. Наконечник, состоящий из инжектора 13, смесительной камеры 12 и мундштука 7, присоединяется к корпусу ствола горелки накидной гайкой.

Инжектор 13 представляет собой цилиндрическую деталь с центральным каналом малого диаметра — для кислорода и периферийными, радиально расположенными каналами — для ацетилена. Инжектор ввертывается в смесительную камеру наконечника и находится в собранной горелке между смесительной камерой и газоподводящими каналами корпуса горелки. Его назначение состоит в том, чтобы кислородной струей создавать разреженное состояние и засасывать ацетилен, поступающий под давлением не ниже 1 кПа. Разрежение за инжектором

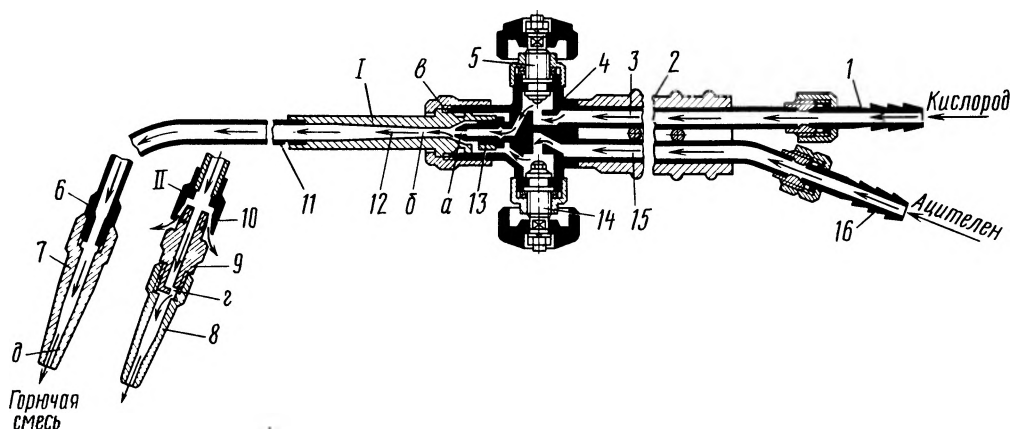


Рис. 45. Устройство инжекторной горелки:

1, 16 — кислородный и ацетиленовый ниппели, 2 — рукоятка, 3, 15 — кислородная и ацетиленовая трубки, 4 — корпус, 5, 14 — кислородный и ацетиленовый вентили, 6 — ниппель наконечника, 7 — мундштук, 8 — мундштук для пропан-бутан-кислородной смеси, 9 — штуцер, 10 — подогреватель, 11 — трубка горючей смеси, 12 — смесительная камера, 13 — инжектор; а, б — диаметры выходного канала инжектора смесительной камеры, в — размер зазора между инжектором и смесительной камерой, г — боковые отверстия в штуцере 9 для нагрева смеси, д — диаметр отверстия мундштука

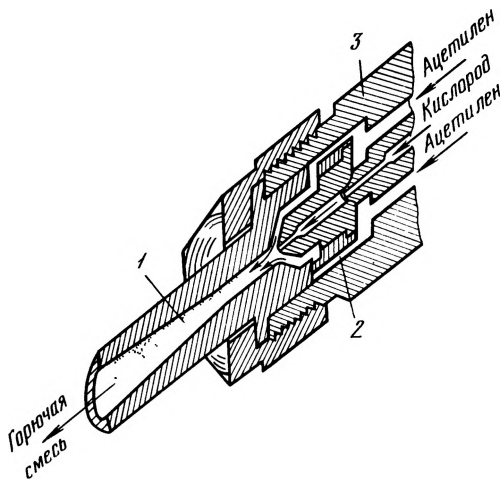


Рис. 46. Инжекторное устройство:
1 — смешительная камера, 2 — инжектор, 3 — корпус горелки

достигается высокой скоростью (порядка 300 м/с) кислородной струи. Давление кислорода, поступающего через вентиль 5, составляет от 0,05 до 0,4 МПа.

Инжекторное устройство показано на рис. 46. В смешительной камере кислород перемешивается с ацетиленом, и смесь поступает в канал мундштука. Горючая смесь, выходящая из мундштука со скоростью 100–140 м/с, при зажигании горит, образуя ацетилено-кислородное пламя с температурой до 3150 °С.

В комплект горелки входит несколько номеров наконечников. Для каждого номера наконечника установлены размеры каналов инжектора и размеры мундштука. В соответствии с этим изменяется расход кислорода и ацетилена при сварке.

Конструкция пропан-бутан-кислородных горелок отличается от ацетилено-кислородных горелок тем, что перед мундштуком имеется устройство 10 (см. рис. 45) для подогрева пропан-бутан-кислородной смеси. Дополнительный нагрев необходим для повышения температуры пламени. Обычный мундштук заменяется мундштуком измененной конструкции.

Технические характеристики горелок. Горелки однопламенные универсальные для ацетилено-кислородной сварки, пайки и подогрева изготавливаются по ГОСТ 1077–79Е, который предусматривает четыре типа горелок: Г1 — горелка микромощности, безынжекторная; Г2 — го-

релка малой мощности, инжекторная; Г3 — горелка средней мощности, инжекторная; Г4 — горелка большой мощности, инжекторная. Каждый тип горелки обеспечивается набором наконечников. В сварочной практике чаще всего используют горелки малой и средней мощности (табл. 11).

Горелка малой мощности Г2 поставляется с наконечниками № 0; 1; 2; 3; 4. В комплект горелки средней мощности Г3 входит ствол и семь наконечников, присоединяемых к стволу горелки накладной гайкой.

Горелка малой мощности предназначена для сварки сталей толщиной 0,3–7 мм; работает с резиновыми рукавами диаметром 6 мм.

Для пропан-бутан-кислородной смеси промышленность выпускает горелки типов ГЗУ-3 и ГЗМ-4; первая предназначена для сварки стали толщиной от 0,5 до 7 мм, вторая — для подогрева металла. Для пламенной очистки поверхности металла от ржавчины, старой краски и т. д. выпускается ацетилено-кислородная горелка ГАО-2 (горелка ацетиленовая, очистка). Ширина поверхности, обрабатываемой горелкой за один проход, составляет 100 мм.

Нарушение работы инжекторного устройства приводит к обратным ударам пламени и снижению запаса ацетилена в горючей смеси. Запас ацетилена представляет собой увеличение его расхода при полностью открытом ацетиленовом вентиле горелки по сравнению с паспортным расходом для данного номера мундштука. Причинами этих неполадок могут быть засорение кислородного канала, чрезмерное увеличение его диаметра вследствие износа ацетиленовых каналов, смещение инжектора по отношению к смешительной камере и наружные повреждения инжектора. Для нормальной работы горелки диаметр выходного канала мундштука должен быть равен диаметру канала смешительной камеры, а диаметр канала инжектора — в 3 раза меньше.

Посадочное место инжектора отрегулировано для инжекторов, входящих в комплект горелки.

Проверка горелки на инжекцию (разрежение) проводится каждый раз перед

Таблица 11. Технические характеристики горелок малой и средней мощности типов Г2-02 и Г3-02

Параметр	Номер наконечника							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Толщина низкоуглеродистой стали, мм	0,3–0,6	0,5–1,5	1,0–2,5	2,5–4	4–7	7–11	10–18	17–30
Расход, л/ч:								
ацетилена	25–60	50–125	120–240	230–430	400–700	660–1100	1030–1750	1700–2800
кислорода	28–70	55–135	130–260	250–440	430–750	740–1200	1150–1950	1900–3100
Давление на входе в горелку, МПа:								
кислорода	0,08–0,4	0,1–0,4	0,15–0,4	0,2–0,4	0,2–0,4	0,2–0,4	0,2–0,4	0,2–0,4
ацетилена		Не ниже 0,001						
Диаметр отверстий, мм:								
инжектора	0,18	0,25	0,35	0,45	0,6	0,75	0,95	1,2
мундштука	0,6	0,85	1,15	1,5	1,9	2,3	2,8	3,5
Скорость истечения смеси из мундштука, м/с	40–135	50–130	65–135	75–135	80–140	90–150	100–160	110–170

началом работы и при смене наконечника. Для этого в ниппеля снимается ацетиленовый рукав и открывается кислородный вентиль. В ацетиленовом ниппеле исправной горелки должен создаваться подсос, обнаруживаемый прикосновением пальца к отверстию ниппеля.

Поддержание мундштука в надлежащем состоянии обеспечивает нормальное пламя по форме и размерам. Мундштуки работают в условиях высокой температуры, подвергаются механическому разрушению от брызг при сварке и требуют ухода за ними (чистка, охлаждение и т. д.). Риски, задиры, нагар на стенках отверстия выходного канала мундштука снижают скорость выхода горючей смеси и способствуют образованию хлопков и обратных ударов, искажают форму пламени. Эти недостатки устраняют подрезкой торца мундштука на 0,5–1 мм, калибровкой и полировкой выходного отверстия.

После каждого ремонта детали горелок обязательно обезжиривают бензином марки Б-70.

Безыножекторные горелки работают под одинаковым давлением кислорода и ацетилена, равным от 0,01 до 0,08 МПа. Горелки обеспечивают более постоянный состав горючей смеси в процессе работы. Безыножекторные горелки можно питать ацетиленом от баллонов либо от генераторов среднего давления.

Специальные горелки иногда целесообразно применять для газопламенной обработки материалов. Промышленность выпускает горелки для нагрева металла с целью термической обработки, удаления краски, ржавчины; горелки для пайки, сварки термопластов; пламенной наплавки и др. Принципиальное устройство специальных горелок во многом аналогично горелке, используемой для сварки металлов. Отличие состоит в форме и размерах мундштуков, а также в тепловой мощности, форме и размерах пламени. Специальные горелки выпускают для любого горючего газа.

§ 30. Сварочное пламя

Структура ацетилено-кислородного пламени (рис. 47). Ацетилено-кислородное пламя обладает наиболее высокой температурой по сравнению с пламенем любого другого газа. В пламени можно различить три зоны: ядро, среднюю восстановительную зону и факел — окислительную зону. Ядро представляет собой механическую смесь сильно нагретого кислорода и диссоциированного (разложившегося) ацетилена $2C + 2H + O_2$.

Ядро выделяется резкими очертаниями и ярким свечением. Горение начинается на внешней оболочке ядра и продолжается во второй зоне по реакции $2C + H_2 + O_2 \rightarrow 2CO + H_2$; углерод сгорает не полностью. Водород, как имеющий меньшее сродство к кислороду по сравнению с углеродом, в этой зоне не окисляется. Полностью сгорает углерод и горит водород в третьей зоне пламени за счет кислорода воздуха по реакции $2CO + H_2 + 1,5O_2 \rightarrow 2CO_2 + H_2O$.

Для полного сгорания одного объема ацетилена требуется два с половиной объема кислорода; один объем поступает из кислородного баллона и полтора объема — из воздуха.

Распределение температуры по оси ацетилено-кислородного пламени показана

на рис. 47, а. Максимальная температура пламени, достигающая 3050—3150 °С, находится на расстоянии 2—6 мм от конца ядра. При увеличении расхода ацетилена и кислорода это расстояние приближается к максимальному. Измерение длины ядра в зависимости от расходов газов видно из рис. 47, б. Схемы и графики изменения температур метан-кислородного и пропан-бутан-кислородного пламени даны на рис. 47, в.

Виды пламени. В зависимости от объемного соотношения подаваемых в горелку газов пламя (рис. 48, а, б, в, г) может быть науглероживающим ($O_2/C_2H_2 = 1$), окислительным ($O_2/C_2H_2 = 1,3$) и нормальным ($O_2/C_2H_2 = 1 \div 1,1$).

Состояние мундштука также оказывает влияние на форму пламени (рис. 48, д, е, ж). Для сварки низкоуглеродистой стали применяют нормальное пламя, при сварке чугунов — науглероживающее и при сварке алюминия — нормальное или с небольшим избытком ацетилена.

Сварочное пламя должно иметь значительную тепловую мощность, т. е. вводить в зону сварки достаточное количество теплоты, чтобы расплавить основной и присадочные материалы, поддерживать ванну в расплавленном состоянии

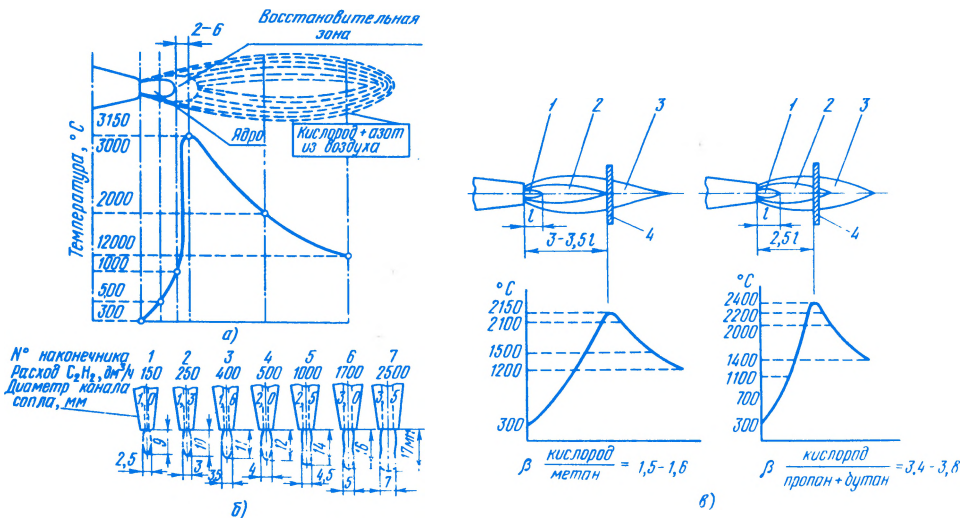


Рис. 47. Структура ацетилено-кислородного пламени и распределение температур: а — нормальное ацетилено-кислородное пламя, б — размеры ядер ацетилено-кислородного пламени для мундштуков наконечников различных номеров, в — схемы и графики изменения температур метан-кислородного и пропан-бутан-кислородного пламени; 1 — ядро, 2 — восстановительная зона, 3 — факел, 4 — свариваемый металл, l — длина ядра

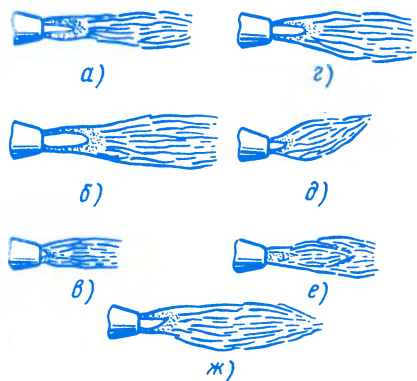


Рис. 48. Форма пламени ацетилено-кислородных горелок:

a — нормальное пламя наконечника № 3, *б* — нормальное пламя наконечника № 5, *в* — пламя с избытком кислорода, *г* — пламя с избытком ацетилена, *д* — пламя с мундштуком, имеющим заусенцы в выходном канале, *е* — пламя с мундштуком, имеющим конусный выходной канал, *ж* — пламя от мундштука, имеющего уступ в конусе мундштука или смещение конуса по отношению к выходному каналу

и возмещать потери теплоты в окружающую атмосферу. Тепловая мощность пламени определяется расходом (дм³/ч) в горелке ацетилена. Практически температура пламени должна быть на 250–300 °С больше температуры плавления металла. Например, если температура ацетилено-кислородного пламени равна 3100 °С, а температура плавления стали порядка 1500 °С, то разница составит 3100 – (1500 + 300) = 1300 °С.

Для пропан-кислородного пламени разница составит 2500 – (1500 + 300) = 700 °С. Это означает, что для сварки пропан-кислородным пламенем одинакового количества стали потребуется количества теплоты в 1,85 (1300/700) раза больше, чем при сварке ацетилено-кислородным пламенем; соответственно для чугуна (температура плавления равна 1200 °С) — в 1,6 и для латуни (температура плавления равна 900 °С) — в 1,46 раза.

Количество вводимой теплоты в единицу времени, т. е. эффективная мощность пламени зависит от расхода горючего газа, угла наклона пламени к поверхности металла, скорости его перемещения и соотношения содержания горючего газа и кислорода. Например, пламя с избытком кислорода (окислительное) имеет более высокую температуру, чем науглероживающее.

Металлургические процессы при газовой сварке. В отличие от дуговой газовой сварка происходит с более низкими скоростями нагрева и охлаждения металла шва и сварного соединения, что способствует слиянию мелких зерен в крупные и более длительному протеканию химических реакций в сварочной ванне и между расплавленным металлом и газами сварочного пламени.

При избытке в пламени кислорода происходят интенсивные реакции окисления железа, кремния, марганца, углерода и других элементов, входящих в состав стали. Железо окисляется по реакции $Fe + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow FeO$, образуя низший оксид (закись) железа, который способен растворяться в железе в значительном количестве. Образующийся низший оксид железа FeO окисляет находящиеся в растворенном состоянии кремний и марганец, а также углерод, содержащийся в соединении Fe₃C, по реакциям: $Mn + FeO \rightarrow MnO + Fe$; $Si + 2FeO \rightarrow SiO_2 + 2Fe$; $Fe_3C + FeO \rightarrow 4Fe + CO$ (газ).

Оксиды MnO, SiO₂ могут оставаться в металле шва при его охлаждении или в лучшем случае всплывать наверх и переходить в сварочный шлак.

При уменьшении в сварочной ванне кремния, марганца и углерода удаление растворенного оксида железа FeO может приостановиться, а избыток кислорода (в виде низшего оксида железа) в наплавленном металле поведет к ухудшению его механических свойств. Особенно понижается вязкость металла шва, поэтому соединения выполненные газовым пламенем с избытком кислорода, не могут работать длительное время на циклическую нагрузку. Другим недостатком применения окислительного пламени является разбрызгивание металла при сварке из-за выхода из сварочной ванны образовавшегося газа CO по реакции, рассмотренной выше.

При сварке нормальным пламенем сварочная ванна и присадочный металл контактируют с газами CO и H₂, образующимися во второй зоне пламени. Оксид углерода CO не успевает химически взаимодействовать с элементами стали ввиду ее малого количества.

Низкоуглеродистые стали при сварке нормальным ацетилено-кислородным

пламенем не ухудшают механических свойств под влиянием газов CO и H₂ в тех случаях, когда скорости охлаждения металла шва низкие.

Большую опасность водород, образующийся в пламени, представляет при сварке меди, алюминия и некоторых высоколегированных сталей, вызывая «водородную болезнь» (растрескивание) и пористость шва. Для сварки этих металлов требуется соблюдать соответствующие условия (см. гл. XV).

При сварке науглероживающим пламенем сварочная ванна контактирует с газами CO, H₂ и углеродом С. В этом случае как газ CO, так и твердый углерод С реагируют с железом, образуя карбиды железа по реакции $3\text{Fe} + \text{C} = \text{Fe}_3\text{C}$ и $3\text{Fe} + 2\text{CO} = \text{Fe}_3\text{C} + \text{CO}_2$, т. е. происходит науглероживание металла шва.

Особенно рекомендуется применять науглероживающее пламя при сварке чугунов.

При газовой сварке околошовный металл изменяет свою микроструктуру на ширине от 8 до 25 мм в обе стороны от шва.

§ 31. Основы технологии газовой сварки низкоуглеродистой стали

Недостатки газовой сварки перед дуговой заключаются в том, что газовая сварка выполняется при низких скоростях нагрева и охлаждения металла, что приводит к укрупнению зерен околошовного металла, низкой прочности сварного соединения и большим деформациям сварного изделия. Кроме того, стоимость газовой сварки стальных листов толщиной 2 мм и более выше стоимости дуговой сварки покрытыми электродами.

Производительность газовой сварки изделий из стали толщиной до 1,5 мм в 1,5 раза выше по сравнению с дуговой сваркой покрытыми электродами; при толщине выше 2 мм — уступает ей. Поэтому газовая сварка почти полностью вытеснена электрической (дуговой, контактной, электронно-лучевой и др.).

В настоящее время газовая сварка находит применение при ремонте литых изделий из чугунов и иногда цветных металлов, исправлении дефектного литья,

при монтаже сантехнических тонкостенных стальных узлов толщиной до 2 мм, наплавке, сварке легкоплавких металлов и др. Газовое пламя применяют при пайке, для подогрева с целью термической обработки металла, очистки от ржавчины и др.

По любому виду прочности, пластичности и вязкости металла шва и сварных соединений, выполненных из сталей, газовая сварка уступает дуговой независимо от толщины свариваемого металла. Она может конкурировать с дуговой сваркой в основном при сварке чугунов, латуней и иногда легкоплавких металлов подобно свинцу.

Техника газовой сварки. При левой сварке (рис. 49, а) перемещение горелки производится справа налево, а при правой (рис. 49, б) — слева направо. В первом случае присадочная проволока находится перед пламенем горелки, во втором — сзади него. При левом способе пламя направлено на несваренную часть шва; для более равномерного прогрева кромок и лучшего перемешивания металла сварочной ванны производятся зигзагообразные движения наконечника и проволоки.

Левая сварка обеспечивает более равномерную высоту и ширину шва в сварном соединении, наибольшую производительность и меньшую стоимость при сварке листов толщиной до 5 мм. Это объясняется тем, что пламя предварительно подогревает основной металл, подлежащий сварке. Кроме того, левая сварка проще по выполнению и не требует от сварщика приобретения больших навыков.

Левую сварку применяют также для легкоплавких металлов. Для сварки сталей при левом способе мощность пламени устанавливается 100–120 дм³ ацетилена/ч на 1 мм толщины свариваемого металла. Повышение скорости при левой сварке по сравнению с правой может происходить лишь до тех пор, пока поглощение теплоты изделием (потери) незначительно, а это возможно только при сварке тонких листов.

При толщине листов более 5 мм левая сварка по скорости уступает правой. При правой сварке нагрев в сварочной ванне более интенсивен, в сварочную ванну вво-

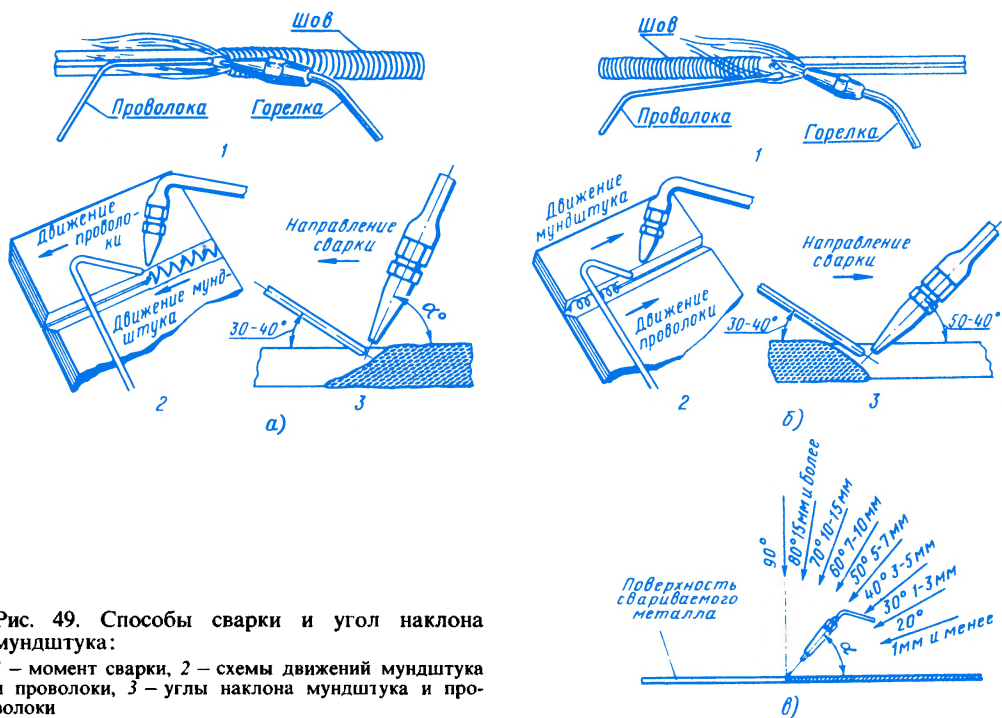


Рис. 49. Способы сварки и угол наклона мундштука:
 1 – момент сварки, 2 – схемы движений мундштука и проволоки, 3 – углы наклона мундштука и проволоки

дится больше теплоты, ядро пламени можно приблизить к поверхности ванны. Кроме того, пламя подогревает уже наплавленный металл, этот нагрев распространяется на незначительное расстояние от сварочной ванны, следовательно, происходит термическая обработка металла шва и околошовного металла.

Колебательных движений мундштука при правом способе обычно не делают, а присадочной проволокой выполняют спиральные движения, но с меньшей амплитудой, чем при левой сварке.

Мощность пламени для сварки стали правым способом устанавливается 120–150 дм³ ацетилена/ч на 1 мм толщины свариваемого металла.

Положение горелки и присадочной проволоки при газовой сварке. Пламя горелки направляют на металл изделия так, чтобы кромки свариваемых частей находились в восстановительной зоне пламени на расстоянии 2–6 мм от конца ядра. Касаться концом ядра металла изделия и присадочного прутка нельзя. Это вызовет науглероживание металла ванны и будет способствовать возникновению хлопков и обратных ударов пламени.

Скорость нагрева металла при газо-

вой сварке можно регулировать наклоном мундштука горелки по отношению к поверхности металла. С увеличением толщины металла угол наклона мундштука горелки к вертикали возрастает (рис. 49, в).

Угол наклона присадочной проволоки к поверхности металла обычно составляет 30–40° и может изменяться сварщиком в зависимости от положения шва в пространстве, числа слоев многослойного шва и др.

Как правило, конец присадочной проволоки должен постоянно находиться в сварочной ванне, защищенной от окружающего воздуха газами восстановительной зоны пламени. Пользоваться для образования шва, так называемым, капельным процессом сварки, когда проволоку опускают периодически в сварочную ванну, не рекомендуется из-за опасности окисления металла проволоки в момент ее отрыва от сварочной ванны.

Основы технологии газовой сварки. Газовой сваркой можно выполнять любые швы в пространстве. Наиболее трудно выполнять потолочные швы ввиду стекания вниз капель металла из сварочной ванны.

Швы накладываются однослойные и многослойные. При толщине стали 8–10 мм шов выполняют в два слоя. Листы толщиной 10 мм и выше сваривают в три слоя и более. Многопроходных швов при газовой сварке не применяют из-за трудности наложения узких валиков.

Многослойной сваркой обеспечивает повышенная прочность металла шва и всего сварного соединения по сравнению с однослойной: получается меньший участок перегретого металла рядом со швом, достигается нормализация (отжиг) нижележащих слоев при наплавке последующих. Толщина слоя подбирается такой, чтобы металл предыдущего слоя приобрел мелкозернистое строение. Для сварки незакаливающейся стали толщина слоя многослойного шва составляет 3–8 мм в зависимости от толщины и размеров изделия. Металл верхнего слоя шва рекомендуется отжечь газовым пламенем без присадочного металла.


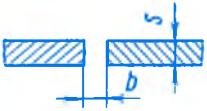
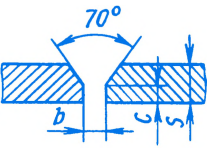
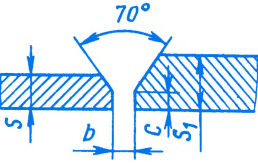
Перед наложением каждого слоя нужно очистить поверхность металла предыдущего слоя проволочной щеткой от шлаков и толстой окалины.

Горизонтальные и потолочные швы обычно выполняют правым способом сварки. Вертикальные и наклонные швы сваривают снизу вверх левым способом.

При газовой сварке углеродистых и низколегированных незакаливающихся сталей применяется сварочная проволока марок Св-08, Св-08А, Св-08АА, Св-08Г, Св-08ГС, Св-12ГС и др.

При правой сварке пользуются сварочной проволокой диаметром, равным половине толщины свариваемого металла, но не более 6 мм. При левой сварке проволоку берут диаметром на 1 мм больше, чем при правой. Подготовка кромок для газовой сварки стыковых соединений стальных деталей приведена в табл. 12.

Таблица 12. Подготовка кромок для газовой сварки стыковых соединений

Название шва	Вид соединения	Размер, мм		
		толщина S	зазор b	притупление c
С отбортовкой кромок, без присадочного металла		0,5–1,0	—	—
Без скоса кромок, односторонний		1–3	0,5–2	—
Без скоса кромок, двусторонний		3–6	1–2	—
С односторонним скосом кромок		6–16	2–4	2–3
С двусторонними симметричными скосами кромок		16–25	2–4	2–3
То же, при разной толщине листов		5–20	2–4	1,5–2,5

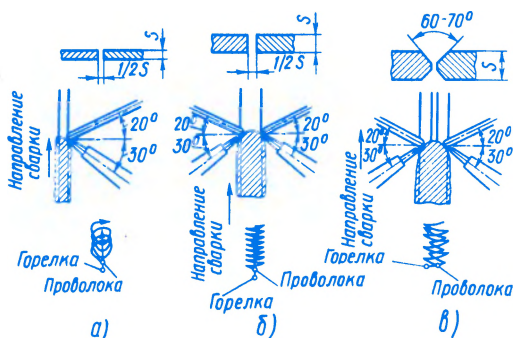


Рис. 50. Сварка сквозным валиком при толщине:

а — от 2 до 6 мм, б — от 6 до 12 мм, в — от 12 до 20 мм

Листы толщиной до 3 мм обычно сваривают нормальным пламенем. Листы большей толщины сваривают пламенем с некоторым избытком кислорода, имеющим состав $O_2/C_2H_2 = 1,4$.

В этом случае металл проплавляется на большую глубину и сварка более производительна. Однако следует пользоваться сварочной проволокой, легированной кремнием и марганцем (Св-12ГС, Св-08Г2С и др.) для того, чтобы полнее удалить образующийся в сварочной ванне низший оксид железа FeO.

Специальные виды газовой сварки. Сварка сквозным валиком выполняется при вертикальном положении деталей в направлении снизу вверх.

Наклон горелки и присадочной проволоки, а также характер движения горелки и проволоки в процессе выполнения шва показаны на рис. 50.

При сварке труб, расположенных горизонтально, после сборки стыка (обычно на сварочных прихватах, расположенных в зависимости от диаметра трубы в 3—6 местах на равных расстояниях) сварку производят участками, независимо от того, поворотный или неповоротный стык.

При сварке с поворотом свариваемый участок обычно находится наверху и занимает положение между вертикальным диаметром и диаметром, наклоненным к нему под углом 45° . Трубы без поворота свариваются участками в нижнем, наклонном и потолочном положениях с соблюдением принципа обратноступенчатой сварки с целью борьбы с деформациями.

§ 32. Основные требования безопасности труда при газовой сварке и кислородной резке

Основными источниками опасности при газовой сварке и резке могут быть: взрывы ацетиленовых генераторов от обратного удара пламени, если не срабатывает водяной затвор (нужно следить за тем, чтобы водяной затвор всегда был наполнен водой до надлежащего уровня, и периодически проверять его, открывая контрольный кран затвора);

взрывы кислородных баллонов в момент их открывания, если на штуцере баллона или на клапане редуктора имеется масло;

неосторожное обращение с пламенем горелки; пламя может быть причиной загорания волос, одежды, ожога сварщика и пожара в помещении;

ожоги глаз в случае, если сварщики не пользуются светофильтрами (при резке, сварке и других процессах газопламенной обработки сварщики должны работать в защитных очках со стеклами Г-1, Г-2 и Г-3, а вспомогательные рабочие — со стеклами В-1, В-2 и В-3, где стекла Г-3 и В-3 наиболее темные);

отравления скопившимися вредными газами при отсутствии обменной вентиляции в помещении. При выполнении газопламенных работ внутри отсеков, ям и резервуаров, где возможны скопления вредных газов, должны работать приточно-вытяжные вентиляторы.

Запрещается работать без водяного затвора или при неисправном затворе.

Необходимо тщательно промывать ацетиленовый генератор от известкового ила не реже двух раз в месяц при ежедневной работе генератора. Правила по обращению и уходу за ацетиленовым генератором следует строго выполнять согласно инструкции по эксплуатации данного генератора.

Запрещается переносить баллоны на плечах; следует пользоваться специальными тележками или носилками. Кислородные и ацетиленовые баллоны должны находиться в специальных стойках для предупреждения возможности их падения.

Запрещается устанавливать баллоны на солнце, возле отопительных приборов.

При необходимости любой баллон должен находиться на расстоянии не менее 5 м от сварочной горелки или резака.

В качестве заменителя ацетилена не рекомендуется применять бензин (только бензин А-66 с соответствующей аппаратурой для него). Применение этилированного бензина запрещается во всех случаях газопламенной обработки. К выполнению работ с применением керосина, бензина и их смесей могут допускаться только специально обученные рабочие, имеющие удостоверения квалификационной комиссии.

Применение жидких горючих на стальных работах, в судах и в замкнутых помещениях (котлах, цистернах и др.) запрещается.

При работе на жидких горючих разрешается пользоваться только безомаслостойкими рукавами с внутренним диаметром 6 мм и длиной не менее 5 м.

При выполнении работ по газовой

сварке и резке необходимо соблюдать «Правила безопасности труда и производственной санитарии при производстве ацетилена, кислорода и газопламенной обработке металла».

Контрольные вопросы

1. Почему для газовой сварки из горючих газов употребляют главным образом ацетилен?
2. Расскажите о классификации ацетиленовых генераторов.
3. Какую роль выполняет в горелке инжектор?
4. Какие зоны различают в ацетилено-кислородном пламени?
5. Почему окислительное ацетилено-кислородное пламя не рекомендуется при сварке сталей?
6. Назовите области применения газовой сварки.
7. Каковы преимущества и недостатки левой и правой сварки?
8. Перечислите требования безопасности при выполнении газовой сварки.

ГЛАВА V. ДЕФОРМАЦИИ И НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ СВАРКЕ

§ 33. Силы, деформации, напряжения и связь между ними

Прочностью металла называют способность его сопротивляться разрушению под действием сил.

Силы подразделяют на внешние и внутренние. Внешние силы создаются от внешней нагрузки: вес изделия, давление газа в сосуде, предварительное натяжение элемента, например арматурного стержня в железобетоне, и от временной нагрузки: вес снега на крыше здания, ветер, создающий нагрузку на стену сооружения, сейсмические воздействия и др.

Внутренние силы возникают от изменения температуры изделия при эксплуатации, изменения структуры металла под действием внешней нагрузки или при сварке, или от действия тех и других. В расчетах на прочность внутреннюю силу часто называют усилием.

Внешние нагрузки бывают статическими (постоянными в процессе эксплуатации изделия), динамическими (пере-

менными по величине и направлению) и ударными. Динамические знакопеременные нагрузки называются вибрационными.

Деформацией называется изменение формы и размеров изделия под действием внешней или внутренней силы. Допустим, что к концам стержня длиной L приложены силы P , растягивающие его. Под действием этих сил стержень удлиняется. Обозначим через ΔL увеличение длины стержня, называемое **абсолютным удлинением**. Отношение абсолютного удлинения ΔL к первоначальной длине стержня L называется **относительным удлинением** $\delta = \Delta L/L$. Относительное удлинение обычно выражается в процентах $\delta = (\Delta L/L) 100$.

При растяжении стержня постоянного сечения величина деформации определяется действующей силой. Чем больше сила, тем больше вызываемая ею деформация.

Напряжением называют силу, отнесенную к единице площади поперечно-

го сечения тела. Сила выражается в Н, площадь – в м², а напряжение – в Н/м² (Па).

Различают напряжения растяжения, сжатия, изгиба, кручения и среза. Величина напряжения растяжения находится от деления растягивающей силы на площадь сечения детали, т. е. $\sigma_p = P/F$, где σ_p – напряжение растяжения, Н/м² (Па); P – растягивающая сила, Н; F – площадь поперечного сечения детали до ее разрушения, м².

Деформации могут быть упругие и пластические. Если форма и размеры тела восстанавливаются после прекращения действия силы, то такая деформация будет упругой. Для образца из низкоуглеродистой стали, в котором действует постоянно возрастающее напряжение, деформация в виде относительного удлинения δ (%) остается упругой до тех пор, пока сила не превысит некоторый предел, называемый пределом упругости σ_y (рис. 51, точка В). Точкой С на диаграмме отмечена сила (или напряжение), при которой появляется деформация, остающаяся после снятия нагрузки – пластическая деформация. Эту точку называют пределом текучести σ_t .

Упругая деформация по величине весьма незначительна. Для низкоуглеродистых сталей она не превышает 0,2%. Следовательно, любое усилие, вызывающее относительное удлинение менее 0,2%, приводит лишь к упругой деформации, которая сразу же исчезает при прекращении действия приложенного усилия.

Пластическая деформация сильно увеличивается, если напряжение превышает предел упругости. Например, если напряжение в детали из стали Ст3 превысит предел упругости на 10 МПа, относительное удлинение возрастет с 0,2 до 2%.

При повышении температуры стали предел упругости и предел текучести понижаются, следовательно, пластическая деформация возникает при меньших напряжениях или усилиях, чем в холодном металле (рис. 52). Из рисунка видно, что предел текучести, при температуре 0 °С равный 250 МПа, при температуре 500 °С понижается до 150 МПа, а при 600 °С – до 60 МПа. При температуре выше 600 °С предел текучести становится

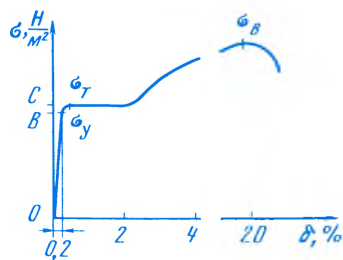


Рис. 51. Диаграмма растяжения стали: σ_y – предел упругости, σ_t – предел текучести σ_B – временное сопротивление растяжению

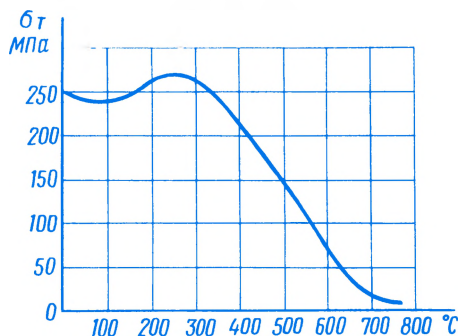


Рис. 52. Влияние температуры на величину предела текучести стали

настолько малым, что достаточно совсем небольшого усилия для возникновения остаточной деформации.

§ 34. Возникновение напряжений и деформаций при сварке

Любой металл при нагревании расширяется, а при охлаждении сжимается. При изменении температуры меняется структура металла, происходит перегруппировка атомов из одного типа кристаллической решетки в другой, увеличивается или уменьшается объем. Например, олово способно переходить из одного типа кристаллической решетки в другой с изменением объема до 26%. Эти явления вызывают возникновение значительных внутренних напряжений, которые нередко приводят к образованию трещин. Например, если олово длительное время находится при температуре около -20 °С, то оно начинает разрушаться от самопроизвольного растрескивания.

Изменение температуры детали приводит к изменению его размеров. При неравномерном нагреве металл на участках

с более высокой температурой не может свободно расширяться (увеличивать свои размеры) из-за сопротивления соседних более холодных участков. Это вызывает внутренние напряжения и деформации в металле изделия.

Представления о причинах возникновения тепловых деформаций и напряжений может дать ознакомление с элементарным процессом равномерного нагрева и охлаждения свободного стержня.

Длина стержня при изменении температуры определяется по формуле $L_T = L(1 + \alpha T)$, где L_T — длина стержня, нагретого до температуры T ; L — длина стержня до нагрева; α — коэффициент термического линейного расширения.

Все частицы стержня при нагревании свободно без сопротивления со стороны соседних частиц смещаются на одинаковую величину, поэтому при равномерном нагревании внутренние напряжения не возникают.

С охлаждением стержня его длина уменьшается. После охлаждения до исходной температуры стержень приобретает первоначальные размеры. Внутренние напряжения в стержне при охлаждении не возникают ввиду отсутствия сопротивления свободному укорочению. Таким образом, равномерный нагрев и охлаждение свободного стержня вызывают изменения размеров без появления остаточных внутренних напряжений и остаточных деформаций.

Случай равномерного нагрева и охлаждения свободного стержня имеет большое значение в сварочной практике. Чем равномернее охлаждается по всей длине выполняемый шов, тем меньше будут остаточные напряжения и деформации. Поэтому часто по всей длине свариваемого шва ставят несколько сварщиков, чтобы соблюдать условия равномерного нагрева всех швов в изделии.

Для этого же применяется и предварительный (перед сваркой) или сопутствующий (в процессе сварки) подогрев металла изделия, главным образом при сварке хрупких металлов — чугуна и высокопрочных сталей.

Подобно описанному случаю происходит изменение линейных размеров металла (круглого стержня диаметром), прикрепленного одним концом к стенке (рис.

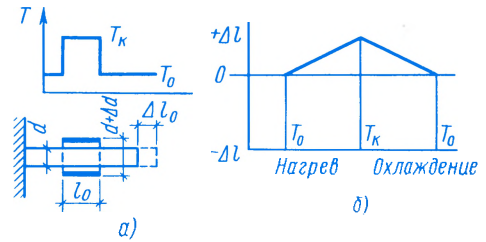


Рис. 53. Нагрев и охлаждение свободного стержня, прикрепленного одним концом:
а — схема установки, б — зависимость удлинения от температуры нагрева

53, а) и нагретого на участке длиной от начальной температуры T_0 до конечной T_k . Величина его свободного удлинения Δl_0 определяется из формулы $l_k = l_0(1 + \alpha \Delta T) = l_0 + \alpha l_0 \Delta T$, откуда $\Delta l_0 = l_k - l_0 = \alpha l_0 \Delta T$, где $\Delta T = T_k - T_0$.

Аналогично (пренебрегая мешающим увеличению диаметра влиянием холодного металла) диаметр в этом объеме возрастает до $d + \Delta d$. Если убрать источник нагрева и дать стержню охладиться свободно, то произойдет сокращение длины и диаметра до начальных размеров. Общий характер изменения размеров в зависимости от изменения температуры при нагревании и охлаждении упрощенно характеризуется ломаной линией (рис. 53, б).

Рассмотрим случай, когда перед нагреванием стержень зажат между двумя абсолютно недеформирующимися стенками (рис. 54, а). При нагревании он удлиняться не сможет, а увеличение диаметра может происходить свободно. В стержне появятся сжимающие напряжения, увеличивающиеся по мере возрастания температуры на участке l_0 . До определенной температуры нагрева эти напряжения будут упругими и равными $\sigma = (\Delta l_0 / l_0) E$, где $\Delta l_0 / l_0$ — относительная деформация, E — модуль упругости металла (на рис. 54, б показаны прямой 1).

При дальнейшем нагревании до температуры T_1 они достигают предела текучести (точка А на рис. 54, б), вызывая в процессе повышения температуры до T_2 уже пластическую деформацию сжатия стержня (линия А—Б). Появляется текучесть металла и $d + \Delta d'$ будет больше, чем $d + \Delta d$ в предыдущем случае. Если прекратить нагревание, то при охлаждении напряжения сжатия снижаются (пря-

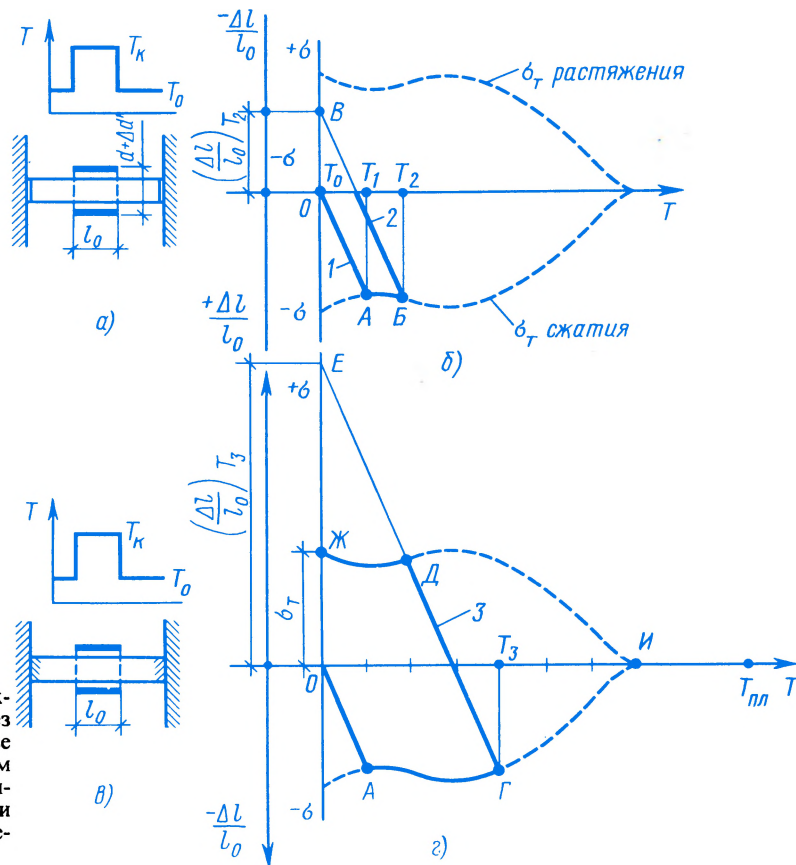


Рис. 54. Нагрев и охлаждение стержня без удлинения при нагреве (а) и с защемлением по концам (б); зависимости напряжений и деформаций от температуры (б, з)

мая 2), а после их снижения до нуля начнется сокращение длины стержня до точки В (рис. 54, б). Диаметр стержня в том месте, где происходил местный нагрев, увеличится, а длина сократится на величину $\Delta l/l_0$, отмеченную на оси деформаций. К концу полного охлаждения стержень получит остаточную деформацию Δl_0 , которая определяется по формуле $\Delta l_0 = \alpha l_0 \Delta T$, т. е. остаточное укорочение пропорционально термическому линейному коэффициенту α , длине нагреваемого стержня l_0 и температуре нагрева ΔT . Остаточных напряжений в металле стержня нет, так как он после нагрева со стесненным расширением свободно охлаждался.

Если стержень жестко закрепить (рис. 54, в, з) и нагревать его до температуры T_3 , то при нагреве стержня на участке l_0 возникают и нарастают сжимающие напряжения и деформации, как и в предыдущем случае. Однако при ох-

лаждении возникают напряжения растяжения (нет свободного укорочения).

В случае повышения температуры нагрева стержня на участке l_0 до T_3 (рис. 54, з) пластические деформации сжатия произойдут в большей степени от А до Г. При охлаждении без закрепления соответственно будет и большая остаточная деформация сокращения стержня $(\Delta l/l_0) T_3 = OE$.

В случае закрепления стержня в процессе охлаждения от T_3 сначала уменьшатся напряжения сжатия, а затем в стержне начнут расти напряжения по прямой 3 до точки Д, достигнув предела текучести растяжения. При дальнейшем охлаждении в стержне появятся пластические деформации растяжения (проходящие по линии Д-Ж).

После достижения температуры T_0 конечные напряжения в стержне (если он не разрушится) будут равны пределу текучести растяжения при температуре T_0 .

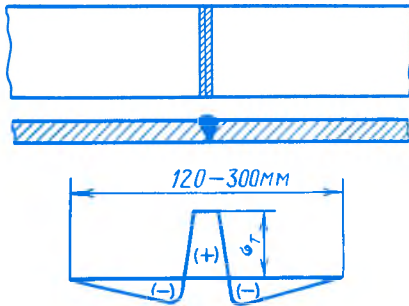


Рис. 55. Распределение остаточных продольных напряжений в стыковом соединении

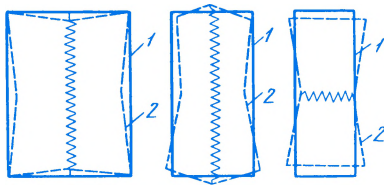


Рис. 56. Форма деформаций в плоскости сварных стыковых соединений:
1 – формы соединения до сварки, 2 – после сварки

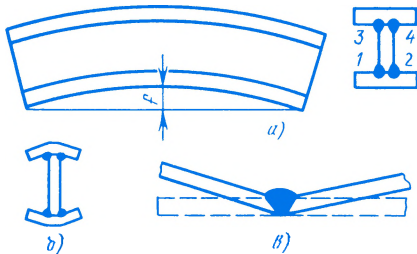


Рис. 57. Формы деформаций вне плоскости сварных соединений:

a – серповидность балки, *б* – грибовидность полок балки, *в* – угловая деформация стыкового соединения; *f* – прогиб балки, 1, 2, 3, 4 – порядок наложения швов

При нагреве до температуры, равной температуре плавления, происходят аналогичные процессы. При высоких температурах металл испытывает пластические деформации без напряжений (от $T_{пл}$ до точки *И*). Потом в связи с быстрым нарастанием упругих свойств в металле начнут расти напряжения растяжения, равные пределу текучести растяжения, и металл испытывает пластические де-

формации растяжения (от *И* до *Ж* на рис. 54, *з*). Конечные напряжения опять равны пределу текучести растяжения при температуре T_0 .

Рассмотренные случаи по образованию напряжений и деформаций при нагреве и охлаждении металла относятся к стержням. При сварке пластин и изделий механизм образования напряжений и деформаций в металле более сложный.

Распределение остаточных продольных напряжений (напряжения, действующие по направлению шва) в стыковом соединении дано на рис. 55. Видно, что в районе шва продольные напряжения имеют знак «+» (растяжения), а по бокам соединения на некотором расстоянии от шва действуют напряжения со знаком «-» (сжимающие).

Для сталей величина растягивающих напряжений обычно равна пределу текучести.

Напряжения как растяжения, так и сжатия, возникающие в металле изделия от сварки, по-разному (положительно или отрицательно) влияют на прочность металла. Поэтому их изучение очень важно, чтобы добиваться более длительного срока эксплуатации сварных изделий.

Деформации могут быть временные и остаточные, местные и общие, в плоскости и вне плоскости сварного соединения.

Временными называют деформации, которые образуются в определенный момент времени при нагреве или охлаждении в процессе сварки.

Деформации, возникающие в изделии к моменту полного охлаждения металла до окружающей температуры, называются остаточными (конечными).

Местные деформации относятся к отдельным элементам изделия и выражаются в виде выпучины, хлопуна, волнистости или других искажений в плоскости изделия. Деформации, при которых изменяются размеры всего изделия, искривляются геометрические оси, называются общими деформациями.

Возможны деформации в плоскости сварного соединения, например в виде продольных и поперечных (рис. 56), и деформации вне плоскости, например в виде серповидности, грибовидности и угловой деформации (рис. 57).

§ 35. Основные мероприятия по уменьшению деформаций и напряжений при сварке

При сварке изделий невозможно полностью избежать остаточных деформаций. При всестороннем защемлении свариваемого изделия можно лишь свести деформации изделия к концу охлаждения к минимальной величине. Всестороннее защемление при сварке изделия практически осуществить трудно, поэтому такой способ борьбы со сварочными деформациями почти не применяют. Используются только такие способы, которые позволяют получать сварные изделия с минимальными остаточными деформациями. Некоторые способы борьбы с деформациями изделия приводят к возрастанию внутренних напряжений, например закрепление свариваемых деталей перед сваркой.

Для борьбы со сварочными деформациями применяются конструктивные и технологические способы.

Конструктивные способы:

1. Уменьшение количества сварных швов и их сечения, что снижает количество вводимой при сварке теплоты. Между количеством теплоты и величиной деформации при сварке существует прямая зависимость. Поэтому минимальная деформация конструкции будет при наименьших протяженности и сечении швов, например резервуары изготовляют в настоящее время из больших листов или из предварительно собранных в заводских условиях полос и карт.

2. Симметричное расположение швов для уравнивания деформаций (рис. 58). Например, при изготовлении балки двугаврового сечения со сплошной стенкой наложение одного нижнего поясного шва вызовет изгиб балки — серповидную деформацию f_1 , а наложение верхнего поясного шва вызовет изгиб в обратную сторону, только на несколько меньшую величину прогиба f_2 . Таким образом балка будет иметь конечный прогиб $f_1 - f_2 = f_k$; $f_k < f_1$.

3. Симметричное расположение ребер жесткости и по возможности их минимальное количество.

4. Применение гнутых, гофрированных профилей в конструкции.

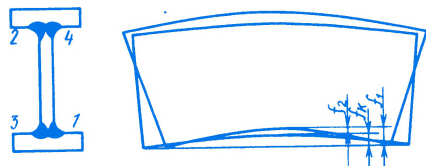


Рис. 58. Влияние последовательности выполнения швов на деформацию:

1, 2, 3, 4 — последовательность наложения швов, f_k — величина прогиба после выполнения всех четырех швов, f_1 , f_2 — величины прогибов после наложения первого и второго швов

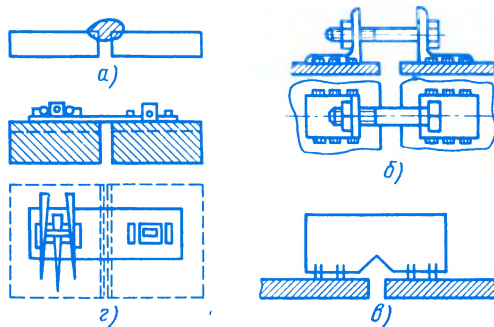


Рис. 59. Сборка листов под сварку

5. Избегать перекрещивающихся швов, угловых швов вместо возможных стыковых, не допускать в конструкциях сварных швов, не удобных для их выполнения.

Технологические способы:

1. Рациональная технология сборки и сварки, которая включает правильный выбор вида и режима сварки, а также правильную последовательность наложения швов. Например, при ручной сварке деформация получается вдвое больше, чем при автоматической. Соединения без скоса кромок дают меньшие деформации, чем соединения с разделкой кромок. Соединения с двусторонним скосом кромок образуют меньшие деформации, чем соединения с односторонним скосом.

Величины деформаций и напряжений зависят от способа сборки деталей под сварку. Детали собирают с жестким креплением по кромкам соединения, не допускающим какого-либо смещения одной детали относительно другой (сборка на жестких прихватках — рис. 59, а; жестких сборочных приспособлениях, например на рис. 59, б) и с эластичным креплением, креплением на известном расстоянии от

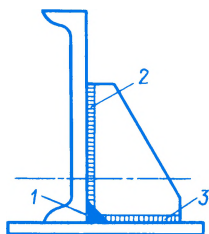


Рис. 60. Последовательность выполнения швов для наименьшего изгиба по длине узла

кромки соединения, допускающим смещения деталей в процессе выполнения шва (сварочные прихватки-гребенки, например на рис. 59, в; подвижные сборочные приспособления, например универсальное приспособление на рис. 59, з).

Жесткое крепление сборочных деталей применяется для тонких деталей толщиной до 8 мм, эластичное (податливое) крепление — для деталей толщиной более 8 мм.

На величину конечных деформаций и напряжений влияет последовательность наложения швов. Например, наименьший изгиб по длине узла (рис. 60) будет при такой последовательности выполнения швов: сначала выполняется поперечный шов 3, затем продольный 1 и после него поперечный вертикальный 2.

Для уменьшения сварочных деформаций и напряжений изделий, особенно из малопластичных металлов, например чугуна или закаливающихся сталей, можно применять предварительный подогрев от места соединения кромок деталей на расстоянии 40–50 мм. Температура предварительного подогрева устанавливается в зависимости от химического состава металла, его толщины и жесткости конструкции, например (°С): для стали — 400–600, для чугуна — 500–800, для алюминиевых сплавов — 200–270, для бронзы — 300–400.

При сварке особо ответственных изделий из низкоуглеродистых сталей толщиной более 40 мм устанавливают температуру подогрева 100–200 °С, при сварке низколегированных сталей толщиной более 30 мм — 150–200 °С.

Предварительный подогрев выполняют газовыми горелками, электрическими или индукционными нагревателями.

Деформации и напряжения от сварки уменьшаются на большую величину, если пользоваться вместо предварительного сопутствующим подогревом. Эти подогревы благоприятно влияют на снижение сварочных напряжений и деформаций.

Применение многослойного шва вместо однослойного способствует выравниванию нагрева металла шва по его толщине и длине, что уменьшает сварочные напряжения и деформации в изделии.

Обратноступенчатый способ сварки (рис. 61) обеспечивает более равномерное нагревание металла шва по всей соответствующей его длине и этим способом можно снижать сварочные деформации и напряжения. Длина ступени при обратноступенчатой сварке зависит от толщины металла, формы и жесткости свариваемого изделия. Она выбирается в широких пределах (100–400 мм). Чем тоньше свариваемый металл, тем меньше длина ступени. Часто длину свариваемой ступени рассчитывают по длине шва, получающейся от одного или двух электродов.

Принудительное охлаждение металла в процессе сварки уменьшает зону нагрева созданием быстрого и интенсивного отвода теплоты и все это способствует снижению остаточных сварочных деформаций, однако сварочные напряжения в металле сварного соединения могут возрастать. Отвод теплоты осуществляют, погружая изделие в воду и оставляя на воздухе только участок сварки. Этот способ пригоден для незакаливающихся низкоуглеродистых сталей. В других случаях можно применять массивные подкладки под швом из меди или медных сплавов, обладающих высокой теплопро-

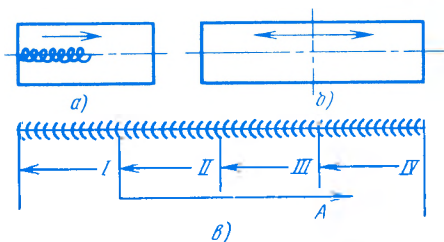


Рис. 61. Схема заполнения швов по длине: а — на проход, б — от середины к краям, в — обратноступенчатая; I, II, III, IV — ступени, А — общее направление шва

водностью. Эти подкладки можно дополнительно охладить циркулирующей внутри водой. Медные подкладки дают хорошие результаты при сварке, например нержавеющей сталей небольшой толщины.

2. Жесткое закрепление собранного под сварку узла, изделия.

Собранное изделие (узел) полностью сваривается, если закреплено на фундаменте, плите или приспособлении, которые имеют жесткость, в несколько раз большую по сравнению с жесткостью собранного узла, изделия. После сварки и полного охлаждения изделия зажимы удаляются. После освобождения от жесткого закрепления остаточная деформация изделия будет меньше, чем при сварке в свободном состоянии. Жестким закреплением можно снизить сварочные деформации на 10–30% в зависимости от ряда условий. Этот способ дает наибольший эффект при сварке балок малой высоты и наименьший – при сварке высоких балок (1 м и более).

Закреплением плоских листов снижают угловые деформации. Листы можно прижимать вблизи шва или на некотором расстоянии от него в зависимости от жесткости листа.

Полностью устранить деформации закреплением невозможно, так как при освобождении от зажима сварное изделие продолжает деформироваться за счет силы, сконцентрированной на участке металла, испытывающего упруго-пластическую деформацию в сварном изделии.

3. Обратный выгиб собранного изделия. Способ применяется прежде всего при изготовлении сварных балок. Детали балки предварительно изгибают в обратную сторону (рис. 62) по сравнению с изгибом, вызываемым выполнением сварных швов. Величина обратного выгиба f устанавливается опытным или расчетным путем. Обратный изгиб перед сваркой выполняют с приложением усилия в пределах упругого, упругопластического и пластического состояния. Сварка изделия с упругим выгибом производится в особых силовых приспособлениях. Изделие с пластическим изгибом сваривается в свободном состоянии. Однако для получения пластического изгиба требуется мощное оборудование, поэтому такой

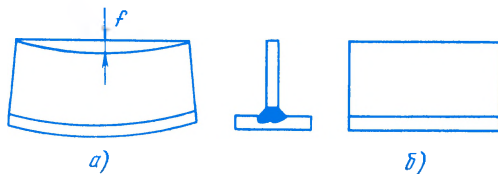


Рис. 62. Обратный выгиб элементов тавра: а – сборка тавра с обратным выгибом, б – форма тавра после сварки

способ редко применяется в сварочном производстве. Пользуясь обратным выгибом, можно полностью (на все 100%) устранить конечный изгиб от сварки в изделии. Но устранить укорочение (в основном оно бывает в сварных изделиях, удлинение – редко, лишь в небольших изделиях), возникающее от выполнения сварных швов без использования соответствующих способов борьбы с ним, невозможно.

4. Применение силовой обработки металла сварного изделия в процессе его сварки. Виды применяемых сил: 1) внешняя статическая или пульсирующая сила, приложенная к собранному под сварку изделию; 2) местная проковка (ковка) и обкатывание металла шва, околшовного металла.

Внешняя растягивающая сила, приложенная к концам собранной под сварку изделия, например двутавровой балки, позволяет свести к нулю укорочение металла, возникающее от выполнения шва. Внешняя растягивающая сила производит вытяжку металла, подвергающегося укорочению при усадке металла шва и околшовного металла. При правильно подобранной величине внешней силы можно добиться полного устранения конечных деформаций и напряжений. Этот способ борьбы с деформациями и напряжениями вполне целесообразен, однако редко используется в сварочном производстве из-за отсутствия соответствующего силового оборудования.

Местная силовая обработка сварных швов и околшовной зоны достигается проковкой (ковкой), обкаткой, вибрационным давлением и другими способами. Каждый из них создает местную или общую пластическую деформацию удлинения, обратную деформации укорочения от сварки. В результате этого сварное изделие приобретает первоначальную фор-

му и размеры; сварочные напряжения в металле изделия также снижаются.

Проковка (ковка) производится ручным или механическим молотком массой 0,5–1,5 кг; холодная ковка выполняется при температуре 20–200 °С, горячая – при температуре 450–1000 °С (для стали). Ковка стали в температурном интервале 200–450 °С не рекомендуется ввиду ее низкой вязкости и возможности образования трещин.

При ручной сварке электродами и при горячей ковке следует выполнять швы длиной 150–200 мм и сразу же после сварки проковывать их. При многопроходной или многослойной сварке проковка производится после каждого прохода или наложения слоя, за исключением первого и последнего (декоративного). Первый, корневой шов проковывать нельзя, так как он имеет малое сечение и при ударе в нем возникают трещины. Верхний, тонкий декоративный слой вызывает весьма незначительные деформации; кроме того, ковка ухудшает внешний вид шва. При ручной сварке с последующей холодной проковкой следует выполнять швы заданной длины и проковку вести при температуре не выше 200 °С молотком массой 0,5–1,5 кг. При изготовлении сварных конструкций времяковки превышает время сварки в 1–2 раза, поэтому ковка применяется редко.

Широко применяется ковка в ремонтных сварочных работах. Она улучшает структуру металла, уплотняет его и этим увеличивает коррозионную стойкость и повышает механические свойства сварного соединения. Металлы, имеющие малую пластичность при высоких температурах, должны коваться в холодном состоянии. Ковка закаляющихся сталей не рекомендуется из-за возможности появления трещин.

5. Исправление деформированных сварных изделий и снятие сварочных напряжений. Сварное изделие исправляется от остаточных деформаций (короблений) механической или термической правкой. Сущность правки заключается в придании изделию новых деформаций, уничтожающих первоначальные, возникшие от сварки. Механическая правка изделия выполняется вручную тяжелым молотком

или на станках и прессах, а термическая – местным нагревом изделия газовым пламенем. Местный нагрев расширяет металл, а соседний холодный металл оказывает расширению горячего металла сопротивление, в результате чего в горячем металле возникают пластические напряжения сжатия. После охлаждения нагретого участка его размеры уменьшаются во всех направлениях, что приводит к уменьшению или полному исчезновению деформации. Для получения максимального эффекта можно производить нагрев с одновременным охлаждением соседних участков водой.

Термическая правка выполняется рабочими, имеющими специальные навыки.

Работоспособность сварных изделий, правленных механическим способом, будет выше работоспособности сварных изделий, правленных термическим способом. Это объясняется тем, что при термической правке, протекающей с нагревом и охлаждением, металл изделия пластически деформируется два раза, от которых механические свойства металла ухудшаются, а при механической правке – лишь один раз. Поэтому механическая правка более эффективна по сравнению с термической и по возможности не следует увлекаться термической правкой.

Снятие сварочных напряжений, возникших в деталях сварного изделия, производится отжигом в печи; изделия в печи нагревают до температуры, при которой предел текучести стали изделия равен нулю (для стали 18, Ст3 и других температура нагревания примерно 1100 °С), а затем равномерно охлаждают изделия с печью. На производстве напряжения в металле сварных изделий не снижают до нуля. Изделия в печи нагревают до относительно низкой температуры (около 850 °С) с целью прежде всего термической обработки микроструктур в металле и в связи с этим улучшением механических свойств металла сварных изделий. При таком нагревании сварочные напряжения снижаются далеко не полностью.

Контрольные вопросы

1. Что называется деформацией?
2. Какая разница между упругой и пластической деформацией?
3. Как влияет температура нагрева на предел текучести стали?

4. Объясните механизм возникновения напряжений и деформаций в стержне при нагреве и охлаждении.

5. Начертите схему распределения продольных напряжений в стыковом сварном соединении.

6. Назовите виды деформаций сварных пластин и изделий.

7. Назовите способы борьбы с деформациями при сварке изделий.

8. В чем заключаются механический и термический способы правки сварного изделия?

ГЛАВА VI. КОНТРОЛЬ ВНЕШНИМ ОСМОТРОМ И ИЗМЕРЕНИЯМИ

§ 36. Понятие о дефекте. Классификация дефектов и видов контроля качества продукции

Термин «дефект» означает любое несоответствие требованиям, указанным в документации на изготовление продукции. Под продукцией в сварочном производстве понимают готовые детали, узлы и изделия, изготовленные на данном предприятии.

Качество выпускаемой продукции проверяется или самим исполнителем продукции, или чаще всего специально выделенными работниками из отдела технического контроля (ОТК) предприятия.

В производстве сварных изделий различают дефекты: наружные, внутренние и сквозные; исправимые и неисправимые; внутритрещиновые и внешние.

Наружные дефекты: трещина сварного соединения (продольная, поперечная, разветвленная); микротрещина сварного соединения (трещина, обнаруживаемая при увеличении более чем в 50 раз); усадочная раковина сварного шва (углубление в шве, образовавшееся в результате усадки металла шва при затвердевании);

утяжина сварного соединения (углубление на поверхности обратной стороны сварного соединения в не полностью проплавленном основном металле, рис. 63, а); вогнутость корня (углубление на поверхности обратной стороны сварного одностороннего шва, рис. 63, б); свищ сварного шва (несквозное углубление сварного шва); пора сварного шва (поверхностная, цепочка пор); брызги металла; поверхностное окисление сварного соединения (окалина, пленка оксидов или

цветов побежалости); подрез зоны сплавления (продольное углубление вдоль линии сплавления сварного шва с основным металлом, рис. 63, в); наплыв на сварное соединение; превышение усиления сварного шва (рис. 63, г); превышение проплава (рис. 63, д); неплавное сопряжение сварного шва (рис. 63, е); смещение сваренных кромок (несовпадение сваренных кромок по высоте из-за некачественной сборки сварного соединения (рис. 63, ж).

Внутренние дефекты приводятся в § 109.

Видами сквозных дефектов являются свищи, прожоги, трещины, сплошные непровары.

Исправимые дефекты — дефекты, устранение которых технически возможно и экономически целесообразно.

Классификация основных видов контроля:

по форме воздействия на производство: пассивный и активный;

по охвату продукции: сплошной и выборочный;

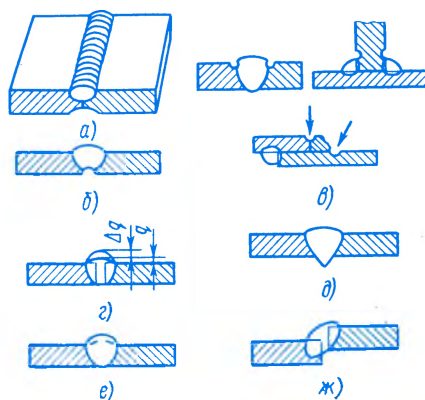


Рис. 63. Дефекты сварных соединений

по месту проведения: стационарный и подвижной;

по назначению: входной (для контроля исходных материалов и заготовок, например детали после термической вырезки); контроль сборки узлов или изделия под сварку; контроль качества сварных изделий; приемо-сдаточный контроль (заказчик принимает сварное изделие);

по признаку организации и технологии: организационные и технологические виды контроля — внешним осмотром для выявления наружных дефектов (см. § 37), физические виды контроля (см. гл. XXIV), химические (см. § 66), механические (см. § 65), металлографические виды контроля (см. § 66) и др.

При пассивном контроле фиксируются данные о качестве. Этим контролем продукция подразделяется на годную и дефектную. Его информация не используется для управления технологическими процессами на заводе. Обычно на заводах металлических конструкций отсутствует пассивный контроль.

При активном контроле фиксируются качество изделий и оказывается воздействие на технологический процесс и исполнителей. Он является одним из прогрессивных путей повышения качества продукции с наименьшими затратами материалов и труда.

Сплошной контроль в условиях крупносерийного и массового автоматизированного производства трудоемок и дорог; в этом случае применяют выборочный контроль. Если при выборочном контроле в проверяемой партии находятся дефектные экземпляры, то вся партия бракуется.

Подвижной контроль выполняется непосредственно на рабочем месте исполнителя технологической операции. Стационарный контроль чаще организуется в случае испытания готового сварного узла или изделия техническими средствами (например, сварной сосуд испытывается водой).

Входной контроль осуществляется для того, чтобы не допустить на предприятие недоброкачественное сырье, сварочные материалы, прокатный металл, полуфабрикаты и др. Служба контроля качества предприятия проверяет соответствие по-

ступающих исходных материалов стандартам, техническим условиям и чертежам.

§ 37. Технология контроля внешним осмотром и измерениями

При этом контроле качество продукции определяют невооруженным глазом (разрешается пользоваться лупой) с использованием измерительного инструмента (шаблонов, щупов (см. рис. 24) и измерителей (рис. 64)).

Контролю подвергаются все исходные материалы и оборудование, заготовки, собранные под сварку узлы и изделия и сами готовые сварные изделия независимо от их назначения.

Контролем выявляются при термической резке грат, подплавления, бороздки и выхваты, неперпендикулярность, изгиб, расслоения металла (см. § 45); при сборке — зазоры, смещения собранных кромок и др. Нормы допускаемых отклонений в технологических процессах резки, сборки и сварки зависят от технических условий на изготовление изделия.

Важными объектами контроля внешним осмотром являются: контроль качества сварочных материалов, работы резательного, сборочного и сварочного оборудования, качества заготовок, сборки деталей под сварку, выполнения сварных

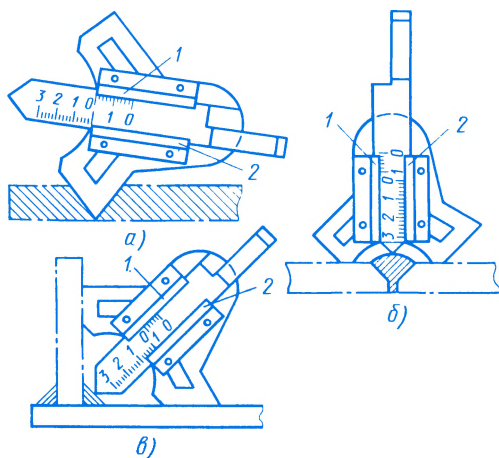


Рис. 64. Универсальный измеритель швов: а — проверка угла скоса кромок, б — проверка величины превышения усиления шва, в — проверка высоты углового шва; 1 — шкала выпуклости стыкового шва, 2 — шкала высоты углового шва

швов в процессе сварки и контроль качества готовых сварных соединений и изделий.

Контроль качества сварочной проволоки. Сварочная проволока поставляется промышленностью по ГОСТ 2246—70. Каждая партия проволоки должна сопровождаться сертификатом, удостоверяющим соответствие проволоки требованиям стандарта. Пользоваться для сварки проволокой без сертификата или без испытаний по методикам, приведенным в стандарте, нельзя.

Проволока должна храниться в сухом закрытом помещении, защищенном от воздействия атмосферных осадков и почвенной влаги, в условиях, предохраняющих проволоку от ржавчины, загрязнений и механических повреждений.

Перед употреблением поверхность проволоки обычно очищают от загрязнений, ржавчины и масла до блеска.

Контроль качества покрытых электродов. Покрытые электроды должны удовлетворять ГОСТ 9466—75. По стандарту срок хранения покрытых электродов установлен не свыше 3 или 6 мес в зависимости от качества упаковки.

Электроды с просроченным сроком хранения для определения их к использованию для сварки должны быть проверены по методикам, приведенным в стандарте на электроды.

Электроды должны храниться в сухих отопляемых помещениях при температуре не ниже +15 °С.

Особенно тщательно необходимо контролировать покрытые электроды 3-й группы изготовления по качеству.

Контроль качества порошковой проволоки. Необходимо выполнять условия и сроки хранения порошковой проволоки, предусмотренные техническими требованиями завода-изготовителя порошковой проволоки. Порошковая проволока более чувствительна к отклонениям от рекомендуемых режимов и технических условий сварки, чем покрытые электроды.

Контроль качества газов. Кислород поставляется по ГОСТ 5583—78 и 6331—78, ацетилен — по ГОСТ 5457—75 и углекислый газ — по ГОСТ 8050—76. Необходимо контролировать условия и сроки хранения газов. Например, гарантийный срок хранения ацетилена

в баллонах шесть месяцев, по истечении гарантийного срока перед использованием газовый продукт должен быть проверен на соответствие требованиям стандарта.

Контроль качества работы резательного, сборочного и сварочного оборудования. Ежедневно за исправностью и правильной работой оборудования следят сами исполнители технологических операций. Наладчики оборудования периодически занимаются профилактическим ремонтом оборудования. Особенно важными объектами для контроля работы оборудования являются контрольно-измерительные приборы, по которым определяются режимы работы оборудования при сварке.

Контроль качества заготовок. В стадии обработки заготовок проверяют:

соответствие применяемого металла чертежу на основании сертификата завода-изготовителя металла или заводским лабораторным испытанием металла;

отсутствие внешних пороков металла: раковин, расслоений и др.;

соблюдение качества деталей после заготовительных операций в соответствии с чертежами и техническими условиями, например по точности размеров и качеству поверхности реза и др.;

правильность нанесения маркировки на детали и соответствие их чертежу; перенос номера плавки получаемого со склада металла на ответственные детали.

В случае термической вырезки заготовок, идущих на сборку изделий без механической обработки кромок металла, необходим контроль за соблюдением установленных технологией режимов резки, угла скоса кромок и величины их притупления. Нельзя допускать различной величины скоса и притупления кромок по длине заготовок.

Часто в соответствии с техническими условиями кромки вырезанных деталей подвергают механической обработке. Обработка кромок резцом или фрезой улучшает точность термической резки, качество поверхности реза, удаляет слой науглероживающего (например, при ацетилено-кислородной резке) и азотированного (например, при воздушно-плазменной резке) металла; последнее обычно

приводит к трещинам на кромках реза и некачественным сварным соединениям.

Для выполнения механической обработки кромок на заготовках предусматриваются припуски. После кислородной резки низкоуглердистой стали припуск составляет не менее 1 мм для листов толщиной 4–25 мм и до 3 мм – для листов 100–300 мм.

Контроль качества сборки деталей под сварку. В собранном узле или изделии проверяют:

соответствие геометрических и основных размеров рабочим чертежам, соблюдение допусков;

зазоры между деталями, отсутствие смещения свариваемых кромок, величину нахлестки в соединении (см. рис. 24);

чистоту металла в зоне сварки, отсутствие ржавчины, масла и других загрязнений.

Контроль процесса сварки и готовых сварных соединений. В процессе сварки выборочно проверяют:

порядок выполнения швов в соответствии с утвержденным технологическим процессом;

зачистку предыдущих слоев шва перед наложением последующего слоя шва;

режимы сварки.

В процессе выполнения слоев (проходов) шва следует тщательно проверять первый слой металла, в котором могут образоваться трещины при остывании металла из-за больших усадочных напряжений.

В случае односторонней сварки для обеспечения провара в корне шва необходимо контролировать режим сварки, обеспечивающий нужный провар.

Ток и напряжение на дуге должны определяться на исправных проверенных амперметрах и вольтметрах. При газовой сварке контролируют давление газов ма-

нетрами, которые периодически должны проверяться.

Контроль внешним осмотром и измерениями осуществляется по всей протяженности сварных швов с двух сторон, за исключением мест, недоступных для осмотра. Швы проверяются шаблонами (см. рис. 24; 64). Этим контролем можно в какой-то степени установить и причину появления дефектов.

§ 38. Оформление контроля внешним осмотром и измерениями

Все виды контроля качества (входной, заготовок, сборки узлов и изделий под сварку, готовых сварных изделий) оформляются соответствующими документами.

Технология контроля оформляется на специальной карте технологии контроля, в которой указано, что подлежит контролю, чем и как производить контроль, кто осуществляет контроль (производственный или персонал ОТК), место и объем контроля, выборочность контроля (%), место и способ проставления клейма, последовательность и трудоемкость контроля. Форма карт контроля может быть различной в зависимости от специфики производства.

Контрольные вопросы

1. Что называется дефектом детали, изделия?
2. Какие виды дефектов бывают в производстве сварных изделий?
3. Расскажите о назначении контроля качества продукции.
4. Какой контроль называют входным и приемно-сдаточным?
5. Расскажите о технологии контроля качества сварочных материалов, заготовок, сборки и сварки.

ГЛАВА VII. АППАРАТУРА И ТЕХНОЛОГИЯ КИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ

§ 39. Сущность и классификация процесса термической резки

Термической резкой называют процесс отделения частей (заготовок и др.) металла от сортового или листового благодаря его окислению или плавлению, или совместно того и другого.

В соответствии с этим различают три группы процесса резки: окислением, плавлением и плавлением-окислением.

Сущность резки окислением состоит в нагреве места резки до температуры воспламенения (температура начала горения) металла, сгорании подогретого металла в кислороде и удалении продуктов горения из пространства реза струей кислорода и газов, образующихся от горения металла.

Сущность резки плавлением состоит в нагреве места резки сильным концентрированным источником до температуры выше температуры плавления металла и выдувании расплавленного металла из мест реза силами, участвующими в процессе резки (сила плазмы, дуги, луча и др.).

Сущность резки плавлением-окислением состоит в одновременном плавлении и окислении металла и удалении продуктов резки силами, участвующими в процессе резки.

Основными видами термической резки окислением являются: кислородная и кислородно-флюсовая резка.

Основными видами термической резки плавлением являются: плазменная (плазменно-дуговая), лазерная, дуговая и др.

Основными видами термической резки плавлением-окислением являются: кислородно-дуговая, кислородно-плазменная, кислородно-лазерная и др.

Для обработки минералов, железобетона и других неметаллических материалов применяют резку кислородным копьем, электрической дугой косвенного действия, реактивной газовой струей и др.

По форме и характеру термическую резку подразделяют на разделительную и поверхностную, по шероховатости по-

верхности реза — на изготовительную и чистовую.

Для нагрева металла при кислородной резке применяют различные горючие газы и жидкости (см. табл. 10).

§ 40. Основные условия резки металлов окислением. Разрезаемость сталей

Не все металлы и сплавы поддаются резке окислением. Окислительная резка требует выполнения следующих условий.

1. Температура воспламенения металла должна быть ниже температуры его плавления. В этом случае металл горит в твердом состоянии; поверхность реза получается гладкой, верхние края кромки реза не подплавляются, продукты горения в виде шлака легко удаляются из полости реза кислородной струей и форма реза остается постоянной.

Этому условию отвечает железо и углеродистые стали. Техническое железо горит в кислороде при температуре 1050–1360 °С в зависимости от его состояния (прокат, порошок и др.), в то время как температура плавления железа 1539 °С.

Не поддаются резке окислением алюминий и его сплавы. Температуры воспламенения и плавления алюминия соответственно равны 900 и 660 °С. Следовательно, алюминий может гореть только в жидком состоянии, поэтому получить постоянную форму реза невозможно.

2. Температура плавления образующихся при резке оксидов и шлаков должна быть ниже температуры плавления металла. В этом случае они становятся жидкотекучими и беспрепятственно удаляются из области реза кислородной струей.

Оксиды в виде FeO, Fe₃O₄, образующиеся при окислении железа в процессе резки, имеют температуру плавления 1350 и 1400 °С, т. е. ниже температуры плавления железа. Поэтому низкоуглеродистые стали поддаются резке окислением. Стали, содержащие более 0,65%

углерода, имеют температуру плавления ниже температуры плавления оксидов железа, и резка их окислением в обычных условиях затруднительна.

Некоторые металлы образуют оксиды с высокими температурами плавления, например оксиды алюминия – 2050 °С, хрома около 2270 °С, никеля 1985 °С, меди 1230 °С.

Эти оксиды, получаемые при резке хромистых и хромоникелевых сталей, меди и ее сплавов, чугунов и др., по сравнению с разрезаемым металлом являются тугоплавкими. Они при обычной окислительной резке не могут быть удалены из области резки, так как закрывают место окисления подогретого до температуры воспламенения металла от струи кислорода, и резка становится невозможной.

3. Металлы должны обладать небольшой теплопроводностью, чтобы не было сильного теплоотвода от места резки, иначе процесс резки прервется.

Медь, алюминий и их сплавы обладают высокой теплопроводностью по сравнению с железом и сталью; практически не удается сконцентрировать нагрев этих металлов до температуры воспламенения подогревающим пламенем по всей

толщине листа. Поэтому указанные металлы не поддаются обычной кислородной резке.

Разрезаемость сталей. При кислородной резке так же, как и при сварке, вблизи места реза образуется околорезательная зона с возможным образованием в ней трещин при остывании кромок.

При резке нержавеющей сталей возможна межкристаллитная коррозия (выпадение карбидов хрома из раствора) после резки и ржавление. Поэтому кромки этих сталей после резки кислородом часто фрезеруют или строгают на глубину 0,5–3 мм при толщине до 100 мм. Для некоторых марок высоколегированной стали после резки кислородом применяют термическую обработку для восстановления структуры металла на кромках.

Свойство стали разрезаться кислородом без образования закаленного участка вблизи места резки принято называть разрезаемостью. Оценка разрезаемости в зависимости от химического состава стали проводится по четырехбалльной системе: 1) хорошо разрезающиеся, 2) удовлетворительно, 3) ограниченно, 4) плохо разрезающиеся стали (табл. 13).

Таблица 13. Разрезаемость кислородом углеродистых и низколегированных сталей

Группа разрезаемости	Сталь	Содержание углерода, %	Условия резки
1	Углеродистая Низколегированная	Менее 0,3 Менее 0,2	Разрезаются в любых производственных условиях без ограничений по толщине и температуре воздуха
2	Углеродистая Низколегированная	0,3–0,4 0,2–0,3	Разрезаются с ограничениями: в зимнее время (температура не менее – 5 °С) и при резке большой толщины (более 100 мм) с подогревом по линии реза до температуры не менее 120 °С
3	Углеродистая Низколегированная	0,4–0,5 0,3–0,4	Требуется подогрев до 200–300 °С по линии реза
4	Углеродистая Низколегированная	Более 0,5 Более 0,4	Требуется подогрев до 300–450 °С

Примечание. Разрезаемость может оцениваться также и по эквивалентному углероду, определяемому по соответствующей формуле.

§ 41. Резаки и машины для резки

Резаки служат для образования подогревающего пламени и подачи чистого кислорода в зону резки.

Резаки подразделяются:

по виду резки — для разделительной, поверхностной;

по назначению — для ручной резки, машинной, специальные;

по роду горючего — для ацетилена, газов-заменителей ацетилена, жидких горючих;

по принципу действия — инжекторные, равного давления;

по давлению кислорода — низкого и высокого давления;

по конструкции мундштуков — щелевые, многосопловые.

Универсальные инжекторные резаки.

Инжекторный резак, подобно инжекторной горелке, состоит из двух основных узлов — ствола и наконечника. Конструкция резака отличается от конструкции горелки тем, что в резаке имеется дополнительная трубка для режущего кислорода с вентилем (рис. 65, а).

Ниппель для горючего газа присоединяется к штуцеру ствола, имеющему левую резьбу, и к штуцеру для кислорода — с правой резьбой.

Головка имеет сменные мундштуки, устанавливаемые в зависимости от толщины резаемой стали. Инжекторное устройство резака аналогично устройству горелки.

Мундштуки резаков бывают с кольцевым пламенем (или щелевые) и многосопловые (рис. 66). И в тех и в других струя режущего кислорода проходит по центральному каналу.

Многосопловые мундштуки сложны по конструкции и в изготовлении. Кроме того, при эксплуатации они часто забиваются каплями шлака, что нарушает процесс резки и вызывает хлопки и обратные удары. Поэтому наибольшее применение нашли резаки с щелевыми мундштуками.

Щелевые мундштуки состоят из внутреннего и наружного, которые ввертываются в головку резака или присоединяются к ней накидной гайкой. Смесь газов для подогревающего пламени проходит в зазор между мундштуками. С по-

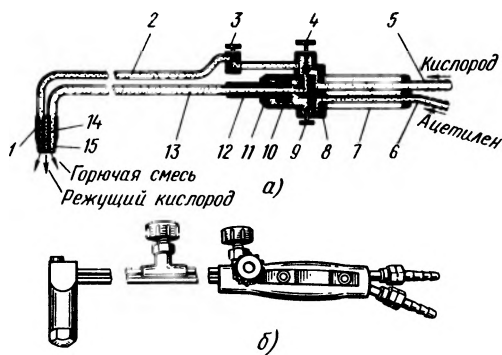


Рис. 65. Инжекторные резаки:

а — «Факел», «Маяк-1»; б — «Ракета»; 1 — головка, 2 — трубка режущего кислорода, 3 — вентиль режущего кислорода, 4 — вентиль подогревающего кислорода, 5, 6 — ниппели кислорода и ацетилена, 7 — рукоятка, 8 — корпус, 9 — ацетиленовый вентиль, 10 — инжектор, 11 — накидная гайка, 12 — смешительная камера, 13 — трубка для газовой смеси, 14 — внутренний мундштук, 15 — наружный мундштук

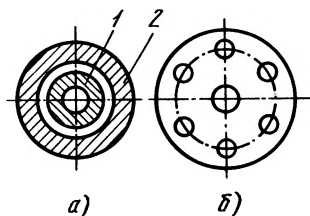


Рис. 66. Типы мундштуков (схемы):

а — щелевой, б — многосопловый; 1 — внутренний, 2 — наружный

мощью сменных мундштуков регулируют расход газов и мощность подогревательного пламени.

Мундштуки — особенно ответственные детали резаков. Очень важно, чтобы была обеспечена герметичность соединений мундштуков и отсутствие прилипания брызг разрезаемого металла к их поверхности. В настоящее время все мундштуки изготовляют из бронзы Бр Х0,5. Тугоплавкая пленка оксида хрома на ее поверхности сильно уменьшает возможность прилипания брызг.

Согласно ГОСТ 5191—79Е, резаки, предназначенные для разделительной кислородной резки по мощности (толщине резаемой стали), подразделяются на резаки малой, средней и большой мощности. К резакам малой мощности относятся резаки, способные резать низкоуглеродистую сталь толщиной 3—100 мм, средней мощности 200 мм и большой мощности 300 мм. Стали тол-

шиной более 300 мм режут специальными резаками.

Резаки малой и средней мощности работают на ацетилене и заменителях ацетилена — природном газе, пропан-бутане; резак большой мощности — только на заменителях ацетилена. В конструкции резака на газе-заменителе имеются относительно большие проходные каналы для горючего газа в инжекторе, смесительной камере и мундштуке.

Резка стали толщиной 3–100 мм и 3–200 мм возможна также с помощью вставных резаков (резательный наконечник присоединяется к стволу соответствующей газовой горелки) малой РВ1 и средней РВ2 мощностей (вставных резаков большой мощности нет).

Каждый тип резака снабжен набором сменных мундштуков. В полном наборе различают мундштуки номеров 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6.

В зависимости от типа и модели резака сменные мундштуки подразделяют на составные (наружные и внутренние) и моноблочные (цельные неразборные).

Длина резаков по ГОСТ 5191–79Е должна быть не более 700 мм. Масса резака малой мощности с наибольшим мундштуком не более 1,0 кг, средней мощности — 1,5 кг.

Выбор мундштука (номера) определяется режимом кислородной резки (да-

влением и расходом кислорода и горючего газа) и толщиной разрезаемого материала (табл. 14).

На стволе резака должны быть нанесены тип резака и товарный знак предприятия-изготовителя. По требованию потребителя резаки комплектуют опорной тележкой с циркульным устройством, полным набором сменных мундштуков или уменьшенным числом мундштуков одного или нескольких номеров.

Температура нагрева боковой поверхности составного мундштука вблизи его торца при свободном горении ацетиленокислородной смеси не должна превышать 120 °С.

Металлические детали резаков обычно изготавливают из латуни, допускается ствол резака изготавливать из алюминиевых сплавов и других материалов, не изменяющих эксплуатационные свойства резаков. Мундштуки резаков должны изготавливаться из хромовой бронзы марки Бр Х или других материалов на основе меди, не уступающих хромовой бронзе по эксплуатационным характеристикам.

Средний срок службы резаков с полным комплектом сменных мундштуков при односменной работе и коэффициенте загрузки 0,5 должен быть не менее: 2,5 года для резаков с составным мундштуком, 4 года для резаков с моноблочным мундштуком, 5 лет для вставных резаков.

Таблица 14. Подбор сменного мундштука при кислородной резке

Номер сменного мундштука	Толщина разрезаемой стали, мм	Давление кислорода на входе в резак, МПа (кгс/см ²)	режущего кислорода	Расход, м ³ /ч, не более		
				кислорода подогревающего пламени для		ацетилена
				ацетилена	пропан-бутана и природного газа	
0	3–8	0,25 (2,5)	1,3	0,6	1,25	0,4
1	8–15	0,35 (3,5)	2,6	0,6	1,5	0,5
2	15–30	0,40 (4,0)	4,0	0,7	1,8	0,65
3	30–50	0,42 (4,2)	6,8	0,8	1,8	0,75
4	50–100	0,50 (5,0)	11,5	0,9	2,3	0,9
5	100–200	0,75 (7,5)	20,5	1,25	2,5	1,25
6	200–300	1,00 (10,0)	30,0	—	3,2	—

Примечание. Расход пропан-бутана определяют умножением величины расхода кислорода подогревающего пламени на коэффициент 0,25–0,27, а природного газа — на коэффициент 0,55–0,6. Чистота кислорода должна быть не менее 99,5%.

Это не распространяется на резаки для резки труб изнутри, резки литья, флюсовой резки, резки сталей толщиной более 200 мм с применением ацетилена.

Промышленность выпускает ацетилено-кислородный резак «Маяк 1-02», инжекторное устройство которого помещено в ствол. Конструкция резака примерно такая же, как у резака «Факел» (см. рис. 65, а). Резак с инжекторным устройством в головке (модель «Ракега», см. рис. 65, б) промышленностью не выпускается.

Для работы на газах-заменителях ацетилена выпускается резак «Маяк 2-02».

Вставные резаки. Резаки РГС-70 присоединяются к сварочным горелкам «Звезда» и ГС-3; резаки РГМ-70 — к горелкам «Звездочка» и ГС-2. Эти резаки удобны при работе в монтажных условиях, когда одному и тому же сварщику приходится часто переключаться с операции резки на сварку и наоборот.

Вставные резаки выпускают также для выполнения специальных работ — для резки труб диаметром от 45 мм с толщиной стенки от 3 до 20 мм, для вырезки в листе отверстий диаметром от 25 до 100 мм и др.

Резаки для резки стали больших толщин. С помощью универсальных инжекторных резаков «Маяк 1-02», «Факел» и «Ракета-1» можно резать сталь толщиной до 300 мм, при этом с увеличением толщины разрезаемой стали необходимо увеличивать давление режущего кислорода. При резке стали толщиной 300 мм давление кислорода повышают до 1,2–1,4 МПа. Следовательно, можно предположить, что для резки листов толщиной более 300 мм необходимо было бы применять резаки с давлением кислорода более 1,4 МПа и значительно большей мощностью подогревательного пламени.

Однако резку сталей больших толщин целесообразно выполнять резаками, работающими на пониженных давлениях (0,2–0,4 МПа) режущего кислорода. Особенности конструкции таких резаков заключаются в том, что кислородные каналы имеют большую длину, сечение канала постоянно, внутренняя поверхность канала и сопла (особенно у выходной кромки) тщательно обработана, кислородная трубка и подводящий рукав

имеют относительно увеличенные внутренние диаметры.

ВНИИавтогенмаш разработал резак РМ-1000 для резки сталей толщиной до 1000 мм. НИИПТмаш разработал резаки РЗМ-2, РЗМ-3 и РЗМ-5 для резки сталей толщиной соответственно до 1200, 1300 и 1500 мм.

Разрабатывается аппаратура для резки кислородом сверхвысокого давления. При соответствующем профиле сопла можно получить высокие скорости кислородной струи и увеличение ее удельной энергии. При резке образуются параллельные кромки с неглубокими бороздками и небольшим отставанием их образования. Тонкой струей можно вырезать детали сложной формы с острыми углами, прорезать узкие шлицы и т. д. При резке тонкой кислородной струей при давлении кислорода 10 МПа скорость резки повышается на 20–30% и улучшается качество поверхности реза.

Резак для резки «смыв-процессом». Конструкция резака (рис. 67) предусматривает образование трех струй режущего кислорода: основной, выходящей из канала 5, и двух вспомогательных, выходящих из канала 4. Основная струя разрезает металл, а вспомогательные, следующие за ней, «смывают» бороздки, находящиеся еще в нагретом состоянии, как бы шлифуют поверхность реза. Трехструйный резак, кроме высокого качества поверхности реза, обеспечивает повышение производительности резки по сравнению

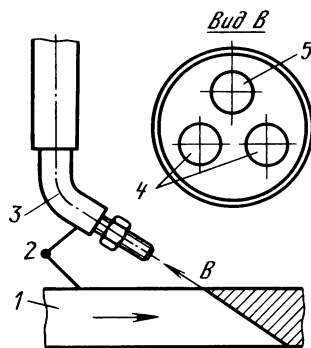


Рис. 67. Схема резки «смыв-процессом»: 1 — разрезаемый металл, 2 — плавающее устройство, 3 — положение резака при резке, 4 — каналы для шлифующих (смывающих) струй кислорода, 5 — канал основной (режущей) струи кислорода



Рис. 68. Поверхностная кислородная резка и формы выплавляемых канавок

нию с обычной в 1,5–2 раза (при соответствующем увеличении расхода кислорода).

Резаки для поверхностной резки. Для снятия металла с поверхности на некоторую глубину служат резаки для поверхностной резки. При наклоне резака под очень малым углом к поверхности металла (рис. 68) нагретый на поверхности металл сгорает в струе кислорода, образуя канавку овального сечения.

Резак для ручной поверхностной резки типа РАП-62 образует канавку шириной от 6 до 20 мм, глубиной от 2 до 6 мм со скоростью от 1 до 6 м/мин.

Поверхностная резка применяется для удаления трещин, зачистки корней швов перед наложением подварочного валика и др. Для удаления дефектов стального литья и чернового проката, а также для вырезки дефектов сварных швов применяют специальные резаки.

Машинные резаки. Резаки газорезательных машин по принципу действия не отличаются от ручных. В газорезательных машинах применяются как инжекторные, так и безынжекторные (равного давления) резаки, работающие на ацетилене, газах-заменителях и распыленном керосине.

Керосинорез. Устройство для резки, в котором для подогревающего пламени используют пары керосина, называют керосинорезом (рис. 69). Для преобразования жидкого керосина в пар имеется испаритель, представляющий собой трубку

из нержавеющей стали с помещенной внутри асбестовой оплеткой 11.

Для нагрева испарителя служит вспомогательный мундштук 12, расположенный в головке резака. Мощность и состав подогревающего пламени регулируются кислородным вентилем 9 и маховичком 10, изменяющим положение инжектора 4 в смесительной камере.

Сменными мундштуками регулируют расход кислорода, керосина и скорость резки в зависимости от толщины разрезаемой стали.

Правила обращения с керосинорезом указаны в производственной инструкции на данную конструкцию резака.

Для резки применяется осветительный керосин. Керосин (перед заливкой в бак) подвергается очистке отстаиванием через сукно или мелкую латунную сетку.

Керосином для резки можно пользоваться при температуре не ниже -15°C и толщине разрезаемой стали не более 200 мм. Это объясняется тем, что при низких температурах керосин приобретает очень большую вязкость, что весьма затрудняет резку.

Кроме резаков, работающих на парах керосина, применяют резаки с распылением жидкого керосина, например РКР-3 (резаки керосиновые с распылителем, третьей модели), для ручной резки стали толщиной до 100 мм. Керосин распыляется с помощью специального сопла-распылителя, размещенного непосредственно в головке резака.

Машины для кислородной резки. Машины для кислородной резки разделяют на два типа: стационарные и переносные.

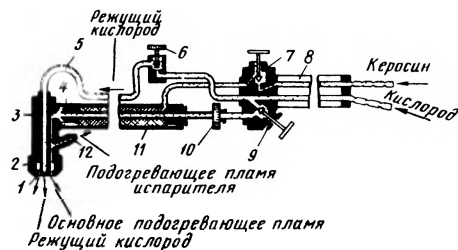


Рис. 69. Резак керосинореза:

1, 2 — мундштуки, 3 — головка, 4 — инжектор, 5 — кислородная трубка, 6 — кислородный вентиль, 7 — керосиновый вентиль, 8 — рукоятка, 9 — вентиль подогревающего кислорода, 10 — маховичок, 11 — асбестовая оплетка, 12 — вспомогательный мундштук

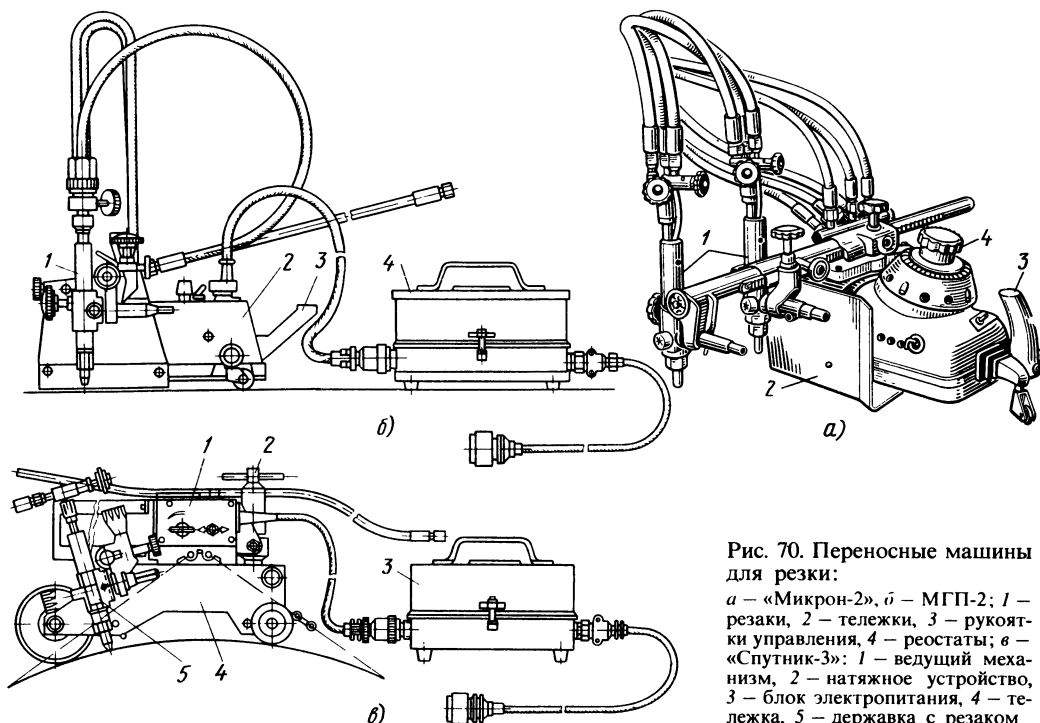


Рис. 70. Переносные машины для резки:
 а — «Микрон-2», б — МГП-2; 1 — резаки, 2 — тележки, 3 — рукоятки управления, 4 — реостаты; в — «Спутник-3»: 1 — ведущий механизм, 2 — натяжное устройство, 3 — блок электропитания, 4 — тележка, 5 — державка с резаком

Переносные машины изготовляют в виде самоходной тележки, перемещающейся электродвигателем, пружинным механизмом или газовой турбинкой. Они снабжены одним или несколькими резаками. Машина устанавливается на разрезаемый лист или трубу и направляется по разметке, циркульному устройству и по специальному копиру.

Переносная газорезательная машина «Микрон-2» (рис. 70, а) предназначена для прямолинейной резки стали толщиной от 5 до 100 мм одним или двумя резаками, а также для вырезки фланцев и дисков большой кривизны.

Переносная машина МГП-2 (рис. 70, б) — с одним или двумя резаками — предназначена для резки стальных листов толщиной от 5 до 160 мм. Скорость резки изменяется от 1,5 до 26 мм/с, потребляемая мощность 90 Вт. Масса машины 16 кг.

Переносная машина «Спутник-3» (рис. 70, в) предназначена для резки труб. Тележка крепится цепью к трубе и перемещается механизмом, приводимым в действие электродвигателем. Диаметры раз-

резаемой трубы 194—1420 мм, толщина стенки 5—75 мм. Масса машины без блока питания 20,8 кг.

Переносный фланцезер ПГФ-2-67 устанавливается на обрабатываемый лист, он вырезает фланцы и диски диаметром 50—450 мм из стальных листов толщиной 5—60 мм. Скорость резки 100—900 мм/мин. Масса машины 26 кг.

Установка для фасонной вырезки труб УФВТ-2 предназначена для выполнения фигурных резов под пересечение труб.

Советская промышленность выпускает стационарные газорезательные машины для выполнения следующих операций: раскрой листов, вырезка прямолинейных и фигурных заготовок, точная резка, вырезка малогабаритных заготовок и деталей. Машины имеют несколько резаков (от 2 до 12) для одновременной вырезки нескольких полос. Толщина обрабатываемых листов находится в пределах от 5 до 100 мм. В каждой машине применен один из четырех способов управления резаками: а) механическое копирование, когда резаки повторяют движение острия указательного стержня, перемещаемого

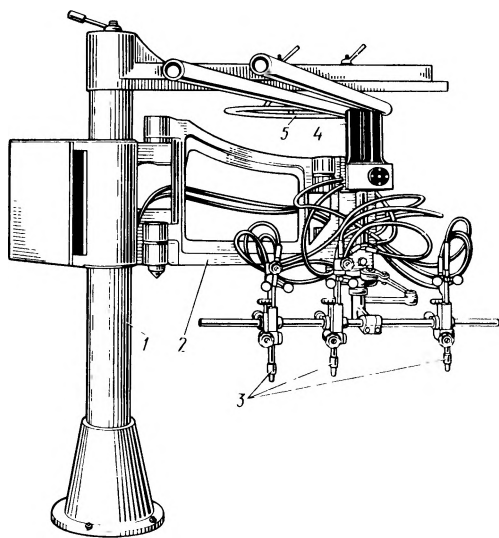


Рис. 71. Общий вид шарнирной машины АСШ-70:

1 — колонка, 2 — шарнирная рама, 3 — резаки, 4 — магнитная катушка, 5 — копир

по линии чертежа; б) электромагнитное копирование, когда резаки копируют движение намагниченного пальца, который притягивается к кромке стального копира; в) фотоэлектронное копирование со специальной фотоэлектронной головкой, работающей по чертежу; г) с программным управлением, когда на перфоленту записываются все технологические операции и контуры вырезаемых деталей.

Большое распространение получила шарнирная машина АСШ-70 (рис. 71). Она вырезает детали размером 750—1500 мм любой формы при толщине листа до 100 мм, может вырезать одновременно три детали.

Машина СГУ-61 (рис. 72, а) предназначена для вырезки заготовок из листов размерами 6000 × 2000 мм и толщиной от 5 до 100 мм. На ней может выполняться резка с односторонним скосом кромок. Количество резаков от 1 до 4. Управление резаками производится либо магнитной головкой по копиру, либо механическим копированием по чертежу.

Машина «Одесса» (рис. 72, б) портального типа оснащена шестью резаками, может одновременно вырезать до шести фигурных заготовок и полосы с односторонним и двусторонним скосом кромок. Управление резаками производится фото-

копировальным масштабным устройством.

Машина «Юг-2,5К1,6» предназначена для прямолинейной и фигурной резки из листов размерами 8000 × 2500 мм, толщиной от 5 до 100 мм. Машина имеет масштабное фотоэлектронное устройство для управления резаками, автоматическое устройство для поддержания заданного расстояния между резаком и поверхностью листа и дистанционное зажигание резаков.

Машина «Юг-8К4» предназначена для прямолинейной и фигурной резки; она может выполнять резку полос с подготовкой кромок под сварку. Машина оснащена двенадцатью резаками, которые могут работать одновременно. Размеры

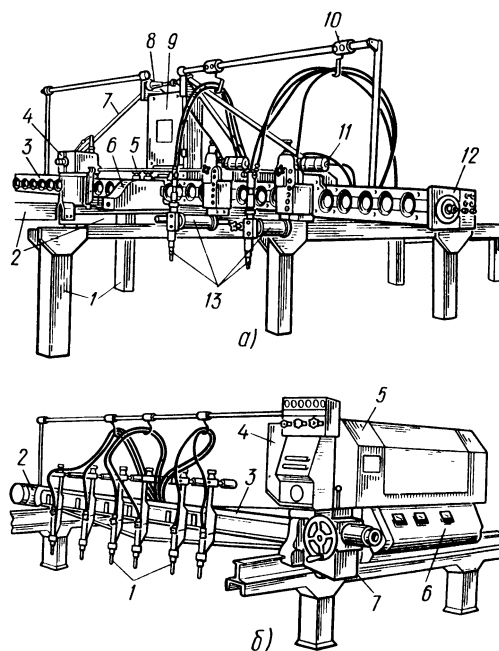


Рис. 72. Стационарные машины для резки:

а — СГУ-61: 1 — опоры, 2 — рельсовые пути, 3 — направляющая поперечного хода, 4 — ведущий механизм с магнитной головкой, 5 — штанга, связывающая ведущий механизм с каретками суппортов, 6 — передняя каретка продольного хода, 7 — ферма, 8 — верхняя винтовая стяжка, 9 — релейный блок, 10 — каретка для поддержания шлангов и кабелей, 11 — двигатель подъема резаков, 12 — пульт управления, 13 — суппорты с резаками; б — «Одесса»: 1 — резаки, 2 — привод поперечного хода, 3 — направляющая поперечного хода, 4 — пульт управления, 5 — задающая часть машины с фотокопировальным устройством, 6 — пульт управления фотокопировального устройства, 7 — привод продольного хода

обрабатываемых листов 20 000 × 8000 мм, толщина от 6 до 160 мм. Скорость перемещения резака при резке 100–4000 мм/мин.

Машина с цифровым программным управлением «Кристалл ТПл-2,5» представляет собой портал, перемещающийся по рельсам. Машина имеет программное устройство, устройство по условному коду, заложенному на бумажную перфоленту. Первоначально технолог составляет программную таблицу, в которую записывают числовые значения параметров режима резки и данные о контуре реза. Затем с этой таблицы цифровые данные переносятся на кодируемую пробитыми отверстиями перфорируемую ленту. Запрограммированная лента поступает в интерполятор (электронно-вычислительную машину). При протягивании ленты интерполятор с каждого отверстия на ленте фиксирует электрический сигнал. Система сигналов обрабатывается машиной для осуществления автоматизации определенных операций резки (например, установление длительности периода подогрева металла, скорости резки, оставление перемычек в заданных местах, данные о контуре реза и др.). На перфоленте содержатся несколько дорожек и каждая дорожка с отверстиями предназначена для автоматического осуществления соответствующей операции резки.

Машина обеспечивает быстрый переход с одной программы работы на другую.

По системе контурного управления наиболее перспективными являются машины с цифровым программным управлением, как обеспечивающие наивысшую точность и эффективность термической резки.

Машина «Кристалл» изготавливается различных моделей. Кроме того, промышленность изготавливает машины с цифровым программным управлением других наименований.

Конструкция и работа газорезательной машины определенного типа подробно описываются в производственной инструкции завода-изготовителя. Учащиеся дополнительно изучают этот материал в зависимости от наличия его в мастерских ПТУ или в цехе базового предприятия.

§ 42. Режимы резки

Основные показатели режима резки — это давление режущего кислорода и скорость резки, которые зависят (для данного химического состава стали) от толщины разрезаемой стали, чистоты кислорода и конструкции резака.

Давление режущего кислорода имеет большое значение для резки. При недостаточном давлении кислорода струя кислорода не сможет выдуть шлаки из места реза и металл не будет прорезан на всю толщину. При слишком большом давлении кислорода расход его возрастает, а разрез получается недостаточно чистым.

Установлено, что уменьшение чистоты кислорода на 1% снижает скорость резки в среднем на 20%. Применять кислород чистотой ниже 99% нецелесообразно из-за снижения скорости и качества поверхности реза. Наиболее целесообразно и экономически оправдано применение, особенно при машинной кислородной резке, кислорода чистотой 99,5% и более.

На скорость резки также оказывают влияние степень механизации процесса (ручная или машинная резка), форма линии реза (прямолинейная или фигурная) и качество поверхности реза (разделочная, заготовительная с припуском на механическую обработку, заготовительная под сварку, чистовая).

Если скорость резки мала, то будет происходить оплавление кромок; если скорость слишком велика, то будут образовываться непрорезанные участки из-за отставания кислородной струи, непрерывность резки нарушится.

Режимы машинной чистовой резки деталей с прямолинейными кромками без последующей механической обработки под сварку приведены в табл. 15.

Для фигурной резки скорости снижаются по сравнению со скоростями, указанными в таблице. При заготовительной резке скорость принимается на 10–20% выше указанной в таблице. Данные таблицы учитывают, что чистота кислорода 99,5%. При меньшей чистоте расход кислорода и ацетилена возрастает, а скорость резки уменьшается.

Таблица 15. Режимы машинной кислородной резки

Показатели	Толщина разрезаемой стали, мм						
	5	10	20	30	60	100	200
Номер мунштука	1	1	2	3	4	4	6
Давление кислорода, МПа	0,35	0,45	0,45	0,45	0,60	1,05	1,05
Скорость резки, мм/мин	590—640	480—520	390—420	350—380	300—330	240—260	200—240
Расход, $\text{дм}^3/\text{м}$: кислорода	65	95	160	250	560	1180	3920
ацетилена	12	15	23	27	42	62	125

При резке листов толщиной около 100 мм экономически оправдано применение подогревающего пламени с избытком кислорода для возможно более быстрого нагрева поверхности металла.

§ 43. Техника резки

Рез должен начинаться у какой-либо кромки изделия. При вырезке внутренних частей в металле следует просверлить отверстие и от него начинать резку; тонкий металл толщиной менее 10 мм пробивают с помощью резака. Начало резки по контуру 1 (рис. 73, а) должно всегда находиться на прямой, что обеспечивает получение чистого реза на закруглениях. В контуре 2 начало резки может быть выбрано в любом месте, кроме углов. При вырезке фланцев (рис. 73, б) вначале вырезается внутренняя часть 1 в металле, идущем в отходы, а затем вырезается контур 2. Место начала резки внешнего контура 2 (рис. 73, а) следует выбирать

таким образом, чтобы происходило легкое отделение металла, идущего в отходы.

Наружный контур 4 вырезается в последнюю очередь. Это обеспечивает вырезку деталей с меньшими отклонениями от размеченных до резки контуров. Внутренние напряжения, имеющиеся в прокатном листе, искажают контуры реза. Их устранения достигают резкой по внутреннему контуру.

При резке со скосом кромки (рис. 74) поверхности реза получаются не одинаковы по качеству. Поверхность б всегда лучше, чем поверхность а. Острый угол на поверхности а оплавляется сильнее, так как на нем концентрируется большая часть подогревающего пламени. Тупой угол поверхности а (нижняя кромка) омывается жидким шлаком и кислородной струей, вследствие чего также оплавляется. Поэтому лучше, если позволяет характер реза, располагать резак таким образом, чтобы была использована отрезанная часть с поверхностью б.

Для подготовки скоса кромок под сварку можно на машине одновременно резать двумя или тремя резаками, как это схематично показано на рис. 75. Видно, что резаки должны смещаться в направлении резки, с тем чтобы не происходило соприкосновений струй кислорода от резаков и образование завихрений, приводящих к ухудшению качества поверхностей резов. Смещение между резаками составляет несколько сантиметров.

При ручной резке пользуются простейшими приспособлениями: опорной тележкой для резака, циркулем, направляющими линейками и др. (рис. 76).

Поверхность разрезаемого металла должна быть чистой от ржавчины, масла и других загрязнений. Простым способом

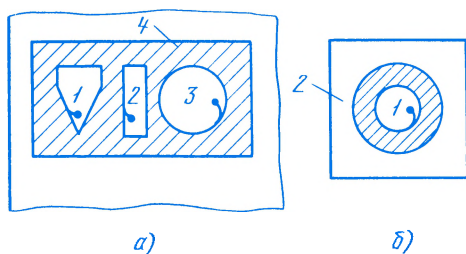


Рис. 73. Приемы резки внутри контура изделия: а — начало резки, б — вырезка фланцев; 1, 2, 3, 4 — последовательность резов

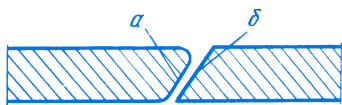


Рис. 74. Вид поверхностей наклонного реза

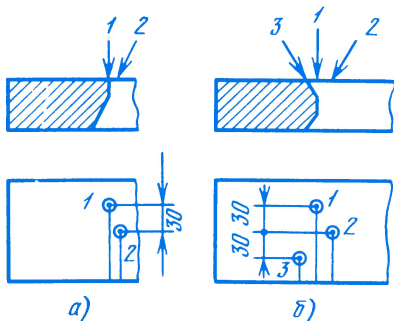


Рис. 75. Резка кромок одновременно двумя (а) и тремя (б) резаками: 1, 2, 3 – резаки

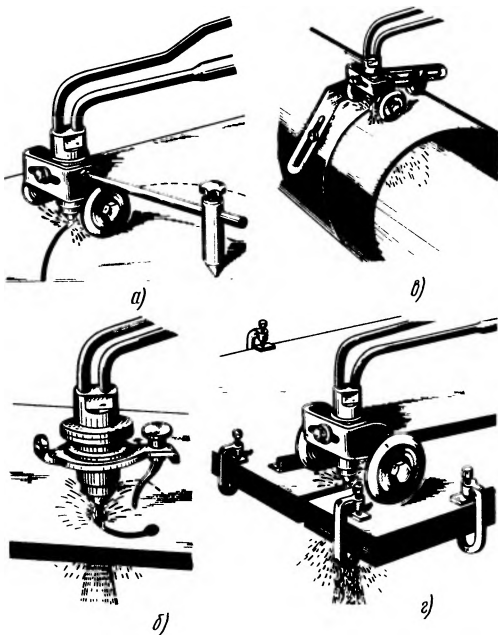


Рис. 76. Приспособления к резаку: а – для вырезки фланцев, б – для вырезки отверстий, в – для резки труб, г – для пакетной резки

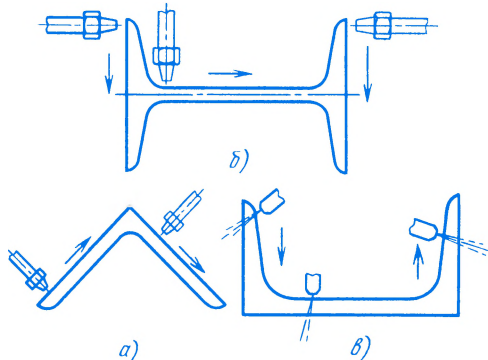


Рис. 77. Последовательность резки профильного проката

очистки поверхности металла по линии реза является нагрев металла газовым пламенем с последующей зачисткой поверхности металлической щеткой.

Некоторые приемы резки профильного проката, труб, пакетная резка и резка листов большой толщины. Резка уголка выполняется так, как показано на рис. 77, а. После того как будет прорезана одна полка, резак разворачивают и устанавливают перпендикулярно второй полке.

Порядок резки двутавровой балки показан на рис. 77, б. В местах утолщения металла скорость резки снижается, чтобы полностью прорезать здесь металл.

При резке швеллера (рис. 77, в) резак можно располагать со стороны внутренней или наружной поверхности швеллера.

Заготовку из стали квадратного сечения начинают резать с угла (рис. 78, а). Чтобы прорезать нижний угол, резак наклоняют на 5–10° в сторону, противоположную направлению резки.

Процесс резки круглой заготовки показан на рис. 78, б. Повысить производительность резки прутков можно, применяя безостановочный процесс (рис. 78, в). В местах перехода на каждый последующий пруток следует наклонять резак в сторону, обратную направлению резки.

Резку труб приходится выполнять, особенно в монтажных условиях, во всех положениях; при этом качество резки получается различное. Желательно для резки труб, главным образом больших диаметров, применять роликовые стелды (рис. 79) с приводными или неприводными роликами.

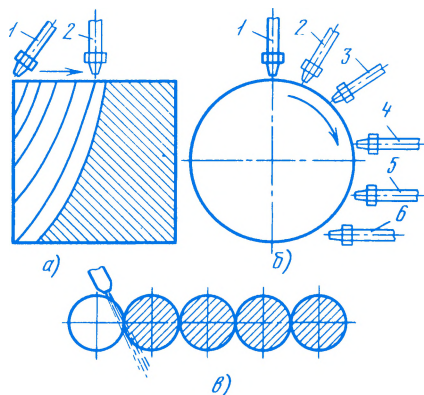


Рис. 78. Приемы резки прутков различного профиля: 1–6 – последовательность резки

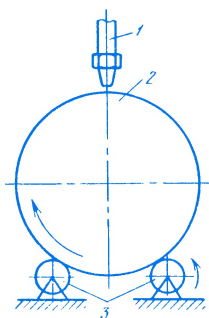


Рис. 79. Роликовый стэнд для резки труб:
1 – резак, 2 – труба, 3 – опорные ролики

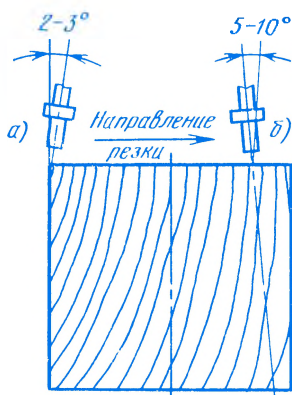


Рис. 80. Положение мунштука при резке стали большой толщины:
а – в начале, б – в конце

Большую роль играет качество резки при подготовке торца трубы под сварку; в этих случаях надо применять разметку, используя для этого ленту из тонкого гибкого материала (жест, картон и др.). Лентой обертывают трубу и по ее краю мелом наносят линию резки.

Для заготовки большого количества одинаковых деталей применяют пакетную резку, сущность которой заключается в том, что несколько листов собирают в пакет, зажимают по контуру струбцинами и производят резку этого пакета за один проход резака. Пакетной резке поддаются углеродистые стали с содержанием углерода до 0,4% и низколегированные с содержанием углерода до 0,25%.

Резка стали большой толщины (более 300 мм) выполняется специальными резаками на пониженном давлении кислорода. В начале резки резак устанавливают с небольшим наклоном ($2-3^\circ$), как пока-

зано на рис. 80. Скорость перемещения резака должна быть достаточной для прогрева нижних слоев металла, иначе процесс резки может прекратиться. Слишком большая скорость может привести к «непрорезу». После того как резак пройдет довольно большой путь по верхней плоскости металла, начнется сквозное прорезание. В конце резки необходимо несколько наклонить резак в сторону, обратную направлению его движения, чтобы сначала прорезать нижнюю часть заготовки. Чтобы увеличить длину подогревающего пламени, резак необходимо устанавливать под углом, при котором наблюдается избыток ацетилена. Режимы резки стали большой толщины применяют согласно характеристики спецрезака, приведенной в производственной инструкции на резак.

§ 44. Деформации при кислородной резке

Как при сварке, так и при резке возникают деформации в вырезанном элементе и металле, идущем в отходы. Деформации выражаются в изменении формы и размеров детали по сравнению с наметченными до резки.

Деформации в плоскости листа выражаются в виде укорочения, удлинения или изгиба вырезанного элемента. В зависимости от размеров вырезаемых деталей изгиб может быть вогнутым или выпуклым. Вырезанные детали больших размеров имеют, как правило, вогнутый изгиб (рис. 81). Детали малой ширины (до 100 мм) будут иметь выпуклый изгиб.

Способами борьбы с деформациями при кислородной резке являются: рациональная технология резки, применение жесткого закрепления концов реза, предварительный подогрев вырезаемой детали, применение искусственного охлаждения и др.

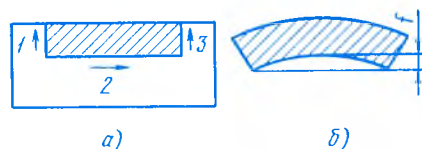


Рис. 81. Деформация заготовки при резке:
а – последовательность вырезки, б – вырезанная заготовка, f – стрела изгиба

В рациональную технологию резки входят правильный выбор начала резки, установление правильной последовательности резки, выбор наилучшего режима резки, в частности не следует применять слишком мощного подогревающего пламени, вырезать заготовки не из целого листа, а из предварительно нарезанных карт.

При вырезке полос из большого листа одним резаком они будут иметь (каждая полоса в отдельности) различный прогиб (рис. 82). Это объясняется разной степенью защемления (жесткости) у разрезаемого листа при вырезке каждой очередной полосы.

Вырезка полос из большого листа одновременно двумя параллельными резаками приводит к постоянной деформации каждой полосы (рис. 83).

Величина прогиба вырезаемой полосы обратно пропорциональна квадрату ее ширины. Например, если увеличить ширину полосы в два раза, то величина стрелы прогиба уменьшится в четыре раза.

Стрела прогиба отрезанной полосы находится в квадратичной зависимости от длины реза. Например, если стрела прогиба вырезанной полосы длиной 1000 мм равна 1 мм, то при длине полосы, равной 2000 мм, стрела прогиба составит 4 мм.

Защемлением концов реза (рис. 84) можно снизить деформации по кромкам. Первоначально выполняют продольные резы, не доводя их до конца, а затем — поперечные; тогда вырезанные полосы будут иметь примерно одинаковую по величине деформацию. Эти непрорезанные участки между соседними частями листа называют перемычками. Перемычки выполняют также и при вырезке фигурных деталей.

Уменьшать деформации можно предварительным подогревом места вырезки детали, что приводит к более равномерному охлаждению металла. Этот способ рекомендуют для вырезки мелких и тонких деталей. Металл подогревают до температуры 300–500 °С. Подогрев желателен также для трудно разрезающихся и склонных к образованию закалочных микроструктур сталей.

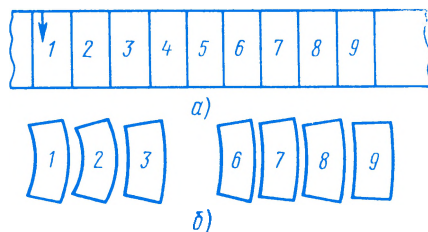


Рис. 82. Деформация заготовок при резке одним резакком:

a — разрезаемый лист, *b* — вырезанные заготовки; 1–9 — последовательность резки (ширина полосы 100 мм)

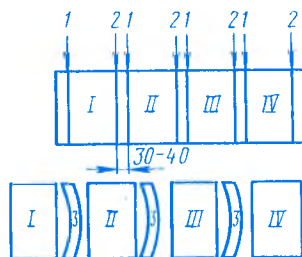


Рис. 83. Вырезка без деформаций заготовок при резке двумя резаками:

I, II, III, IV — номера полос; 1, 2 — одновременная резка первым и вторым резакком, 3 — отходы

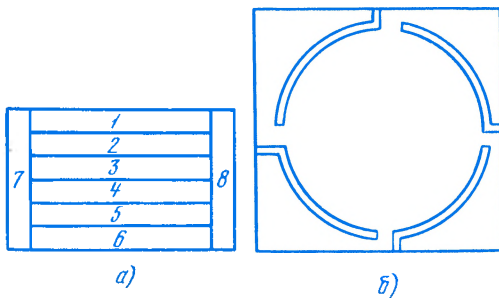


Рис. 84. Резка с защемлениями:

a — резка полос; *b* — вырезка круглой заготовки; 1–6 — вырезаемые полосы; 7, 8 — перемычки, вырезаемые в конце

Уменьшения деформаций достигают также непрерывным охлаждением струей воды по зоне термического влияния у разрезаемой детали.

Чтобы не образовались деформации вне плоскости листа, нельзя допускать провисания его под действием нагрева при резке. Поэтому резку надо выполнять на стеллажах с большим числом опор.

§ 45. Качество кислородной резки

Качество резки определяется точностью резки и качеством поверхности реза.

Точность резки характеризуется отклонениями линии реза от заданного контура. Наименьшие отклонения линии реза от заданной будут при резке на машинах с программным, фотоэлектронным и электромагнитным управлением; величина отклонений будет возрастать при резке на машинах с ручным управлением или переносными машинами. Наибольшие отклонения получаются при ручной резке без направляющих приспособлений. Величина отклонений зависит также от длины, толщины, состояния поверхности листа, формы вырезаемой заготовки, квалификации резчика.

Качество поверхности реза характеризуется перпендикулярностью и шероховатостью его поверхности, равномерностью ширины реза по всей толщине листа, наличием подплавления верхней кромки и грата на нижней кромке (рис. 85). При машинной резке ширина реза в зависимости от толщины металла составляет:

Толщина металла, мм . . .	5–15	15–30
Ширина реза, мм	2–2,5	2,2–3

Отклонение от перпендикулярности поверхности реза образуется при изменении угла наклона резака к поверхности листа, а также от расширения режущей струи кислорода.

Шероховатость поверхности реза определяется количеством и глубиной бороздок, оставляемых режущей струей кислорода (рис. 85, в). Бороздки обычно имеют криволинейное очертание из-за отставания величины Δ от оси мундштука режущей струи кислорода (рис. 85, б). Оно вызвано запаздыванием горения металла в нижних слоях листа ввиду загрязненности струи кислорода аргоном, азотом, невозможностью подогрева пламенем нижних слоев металла и расширением струи кислорода. Чем меньше чистота кислорода, тем значительнее отставание бороздок и увеличение ширины реза в нижней части листа. Величина отставания при резке также зависит от кон-

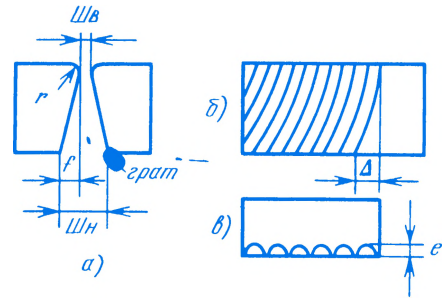


Рис. 85. Параметры реза:

a – поперечное сечение реза, *б* – вид поверхности реза, *в* – вид сверху вдоль реза, *Шв* – ширина реза сверху, *Шн* – ширина реза внизу, *f* – перпендикулярность реза, *e* – глубина бороздок, Δ – отставание, *r* – радиус оплавления верхней кромки

струкции мундштука и давления режущей струи кислорода. Мундштуки с расширяющимся соплом при низком давлении кислорода способствуют увеличению длины подогревающего пламени и уменьшению отставания бороздок при резке. Обычно отставание составляет от 1 до 15 мм при прямолинейной резке листов толщиной от 5 до 200 мм.

Глубина бороздок зависит от давления кислорода, скорости резки, равномерности перемещения резака и состава горючего. Более чистая поверхность реза

30–60	60–100	100–150
3–3,5	3,5–4,5	4,5–5,5

достигается при использовании природного газа, водорода, чем ацетилен.

Величина оплавления кромок находится в прямой зависимости от мощности подогревающего пламени и в обратной – от скорости резки.

§ 46. Основные требования безопасности труда при кислородной резке

В дополнение к требованиям безопасности при выполнении газовой сварки и резки (см. § 32) подготовка и сам процесс кислородной резки в зависимости от вида горючего выполняется со следующими основными требованиями безопасности.

Пользоваться для бензина и керосина шлангами, предназначенными для ацетиленов, нельзя. Заправлять бачки жидким горючим следует в специальном месте,

безопасном в пожарном отношении; необходимо остерегаться попадания горячего на одежду. Поэтому при наполнении бачка горючим на открытом воздухе резчик должен становиться лицом не против ветра, а по направлению ветра.

Горючее перед заливкой в бачок должно очищаться от загрязнений фильтрованием. Около заправки бачка горючим курение запрещается.

Давление в бачке с горючим не должно превышать 0,6 МПа и всегда должно быть ниже давления, подводимого к резаку кислорода. Бачок с горючим необходимо устанавливать не ближе 5 м от баллона с кислородом. Необходимо правильно зажигать пламя: сначала пустить горючее, потом кислород. После нагревания асбестовой набивки испарителя надо отрегулировать пламя и открыть вентиль режущего кислорода. При тушении пламени сначала перекрывается вентиль подачи горючего, а затем вентиль кислорода. Запрещается работать резаком без асбестовой набивки.

В процессе резки необходимо следить за плотностью соединения мундштука

с головкой резака. Работать с перегретым испарителем (вишневого цвета) нельзя. При обратном ударе пламени немедленно нужно закрыть вентили кислорода и горючего, прочистить сопла и вновь зажечь пламя. Применять жидкое горючее при выполнении кислородной резки (и сварке) в замкнутых сосудах запрещается. Не реже одного раза в неделю нужно производить чистку испарителя с разборкой резака.

Контрольные вопросы

1. Объясните, почему алюминий и его сплавы не режутся кислородом.
2. Перечислите параметры режима кислородной резки.
3. Расскажите о классификации резаков.
4. Какая разница в конструкциях между универсальным, вставным и машинным резаками?
5. Расскажите о технике резки кромок металла одновременно двумя и тремя резаками.
6. Какие способы борьбы с деформациями при кислородной резке вы знаете?
7. По каким признакам определяют качество резки?
8. Перечислите основные требования безопасности при выполнении кислородной резки сталей.

ГЛАВА VIII. АППАРАТУРА И ТЕХНОЛОГИЯ КИСЛОРОДНО-ФЛЮСОВОЙ РЕЗКИ

§ 47. Сущность процесса и аппаратура для резки

В процессе кислородной резки металл сгорает при температуре, которая ниже температуры его плавления. Если температура плавления образующихся при горении оксидов будет выше температуры плавления металла, то обычная кислородная резка таких металлов становится невозможной. Например, при резке хромистых сталей образуется оксид хрома с температурой плавления 2270 °С, тогда как хром плавится при температуре 1903 °С. То же относится к никелю (1985 и 1452 °С) и другим металлам.

Тугоплавкая пленка оксида (оксидов) включает контакт между подогретым до температуры воспламенения металлом и кислородной струей. Увеличивается отвод теплоты соседними участками метал-

ла, струя кислорода охлаждает место реза и процесс резки прекращается.

К металлам, при окислении которых образуется тугоплавкая пленка, относятся коррозионностойкие (нержавеющие), жаростойкие (окалиностойкие) и жаропрочные стали, чугуны, медь, сплавы меди и др.

Для успешной кислородной резки этих металлов необходимо обеспечить расплавление и перевод в шлак образующихся тугоплавких оксидов. Это возможно осуществить за счет дополнительного нагрева места реза от сгорания флюса.

Сущность кислородно-флюсовой резки заключается в том, что к месту реза (в щель реза) вместе с режущим кислородом и подогревающим пламенем вводится порошкообразный флюс.

Флюс, подаваемый в зону резки, выполняет две функции: тепловую и абра-

живную. Тепловое действие флюса состоит в том, что он сгорает в щели реза, вследствие чего повышается температура места реза, тугоплавкий оксид или оксиды становятся жидкотекучими и под действием силы тяжести и давления кислородной струи без затруднений удаляются. С помощью флюса удается разрезать металл толщиной до 500 мм. Вдуваемый флюс образует в щели реза шлак из продуктов горения, который передает теплоту нижним слоям разрезаемого металла. Нижние слои металла дополнительно подогреваются до температуры воспламенения и глубина реза возрастает.

Сущность абразивного действия флюса состоит в том, что его частицы, имеющие большую скорость, ударным трением стирают с поверхности реза тугоплавкие оксиды.

Составы флюсов. Для выделения дополнительного количества теплоты при резке в качестве флюса применяют в основном железный порошок. При сгорании железного порошка образуются легкоплавкие оксиды железа, которые, сплаваясь с оксидами поверхностной пленки, образуют более легкоплавкие шлаки, относительно легко удаляющиеся из зоны реза.

Применяют пять марок железного порошка: ПЖ1, ПЖ2, ПЖ3, ПЖ4 и ПЖ5, содержащие соответственно железа не менее (%) 98,5; 98,0; 97,0; 96,0; 94,0; остальное примеси: углерод, кремний, марганец, сера и фосфор.

Кроме железного порошка применяют различные смеси его с различными компонентами. Например, при резке хромоникелевых сталей наибольшую эффективность получают при добавлении к железному порошку 10–15% алюминиевого порошка. При сгорании этой смеси в кислороде образуются легкоплавкие шлаки с температурой плавления менее 1300 °С. Легко сдувается при поверхностной резке шлак, если в железный порошок добавлять до 20% силикокальция (23–31%Ca, 62–59%Si, 1,5–3%Al и др.).

Порошки пропускают через сита. При этом количество частиц мельче 0,07 мм не должно превышать 10%, а частиц крупнее 0,28 мм – 5%. Большое количество

крупных частиц может привести к неравномерному поступлению флюса в резак.

Флюс, выполняющий только абразивное действие, представляет собой кварцевый песок или смесь кварцевого песка с мраморной крошкой. Эти флюсы не получили промышленного применения по двум причинам: низкая производительность процесса резки и обильное выделение кварцевой пыли, которая может вызвать заболевание силикозом.

Аппаратура для резки. Применяют три схемы установок для кислородно-флюсовой резки: с внешней подачей флюса, с однопроводной подачей флюса под высоким давлением и механической подачей флюса (рис. 86).

Основными узлами каждой установки для кислородно-флюсовой резки являются флюсопитатель и резак.

Флюсопитатели подразделяются на пневматические и с механической подачей.

Пневматическая подача флюса осуществляется инжекторным или циклонным (вихревым) устройством, в который поступает кислород, воздух или азот, увлекающий флюс к резаку.

Механическая подача порошка от флюсопитателя до резака осуществляется

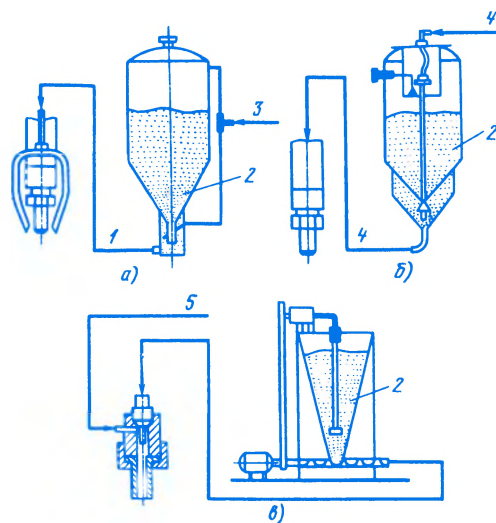


Рис. 86. Установки для кислородно-флюсовой резки:

а – с внешней подачей флюса, б – с однопроводной подачей флюса, в – с механической подачей флюса; 1 – газопроводная смесь, 2 – флюс, 3 – флюсоносущий газ, 4 – кислородно-флюсовая смесь, 5 – режущий кислород

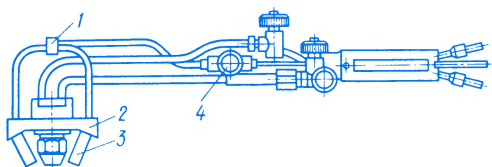


Рис. 87. Резак РАФ-1-65 для кислородно-флюсовой резки:

1 – тройник, 2 – колонка, 3 – втулка, 4 – вентиль

шнековым устройством со шлангами и трубками.

Резаки для кислородно-флюсовой резки отличаются от резаков для кислородной резки тем, что они имеют дополнительные узлы для подачи флюса. Применяют резаки с подачей флюса по центральному каналу резака и с внешней подачей флюса. Универсальные резаки имеют сменные мундштуки. На рис. 87 показан резак РАФ-1-65 для кислородно-флюсовой резки, входящий в состав установки УРХС-5 (установка модели 5 для резки хромистых сталей).

Установка с внешней подачей флюса УРХС-5 обеспечивает более высокую (в 1,5–3 раза) производительность резки и сокращение расхода флюса (в 1,5–4 раза) по сравнению с установкой, работающей по схеме с однопроводной подачей флюса (УФР-2).

§ 48. Основы технологии кислородно-флюсовой резки

Давление кислорода при резке не должно превышать определенной величины, так как при слишком большом давлении увеличиваются потери флюса и возрастает ширина реза. Давление режущего кислорода при резке нержавеющей стали Х18Н10Т толщиной от 10 до 100 мм составляет 0,5–0,7 МПа.

Для зажигания горючей смеси применяют те же приемы, что и при резке низкоуглеродистой стали универсальным резаком. Вентиль подачи флюса на резаке открывают после зажигания подогревающего пламени. Продолжительность подогрева металла перед началом резки значительно меньше (чем при обычной кислородной резке) и составляет для ли-

ста толщиной 10 мм 15 с, а для листа толщиной 90 мм – 120 с.

Резчик во время процесса резки следит за движением резака, регулирует подачу флюса и давление режущего кислорода, выдерживает оптимальное расстояние между резаком и разрезаемым металлом. Расстояние между торцом резака и разрезаемым металлом при толщине его до 100 мм должно быть 25 мм, при большей толщине расстояние составляет 40–60 мм.

§ 49. Основные требования безопасности труда при кислородно-флюсовой резке

Прежде всего необходимо выполнять требования, приведенные для кислородной резки металлов. При стационарной кислородно-флюсовой резке обязательно необходимы местные отсосы и общая вытяжная вентиляция для удаления при резке паров, дыма и мельчайших частиц негоревшего флюса. При резке меди и медных сплавов, сплавов с высоким содержанием марганца и резке песком резчику необходимо пользоваться респиратором.

Во избежание воспламенения флюса (железного или алюминиевого порошка) в резаке, шланге и флюсопитателе запрещается применять чистые порошки, содержащие более 96% чистого железа. Запрещается при центральной подаче флюса через режущее сопло резака применять мелкие легковоспламеняющиеся железные порошки марок ОМ и М.

Необходимо следить за исправностью резака. Для этого нужно не реже одного раза в неделю проверять состояние вставок в головке резака и мундштуке, следить за герметичностью в местах присоединения шлангов.

Контрольные вопросы

1. Назовите области применения кислородно-флюсовой резки.
2. Какие рекомендуются составы флюсов для резки?
3. Какая применяется аппаратура для кислородно-флюсовой резки?

ГЛАВА IX. ПЛАЗМЕННО-ДУГОВАЯ И ДРУГИЕ ВИДЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ

§ 50. Плазменно-дуговая резка

Получение плазменной дуги. Если в электрическую дугу направить газ (см. рис. 9), то столб дуги будет сжат, образуется плазма с температурой 5500—20 000 °С. Газ, сжимающий столб дуги, называют плазмообразующим. В качестве плазмообразующих газов применяют либо одноатомные газы (например, аргон), либо двухатомные (водород, азот). Применяют также смеси двух или нескольких газов и воздух.

Двухатомные плазмообразующие газы создают плазменную дугу с большим выделением теплоты на аноде, чем одноатомные. Это объясняется тем, что двухатомные газы передают изделию больше теплоты из столба дуги в результате образования молекул газа с выделением дополнительной теплоты.

Сжатая дуга может быть аналогична сварочной дуге прямого и косвенного действия. В первом случае одним из электродов служит обрабатываемый металл, во втором — дуга возбуждается между независимыми электродами. Соответственно принято называть сжатую дугу, полученную по первой схеме, плазменной дугой, а по второй — плазменной струей.

Для разделительной резки металлов более целесообразно применять плазменную дугу, так как установлено, что она имеет более высокий КПД, а плазменная горелка менее подвержена износу.

Плазменно-дуговая резка широко применяется при обработке тех металлов и сплавов, которые не поддаются кислородной резке: высоколегированные стали, алюминий, титан, медь и их сплавы. При резке углеродистых сталей толщиной до 50 мм она экономичнее кислородной.

Плазменно-дуговая резка заключается в проплавлении металла на узком участке по линии реза и удалении расплавленного металла струей плазмы, образующейся в дуге.

Оборудование для плазменно-дуговой резки. В комплект оборудования входит резак (плазматрон), пульт управления

процессом, источник питания дуги электрическим током, баллоны с плазмообразующим газом и механизм для перемещения плазматрона вдоль линии реза.

Резак состоит из двух узлов: электродного и соплового. Различают плазматроны с осевой и вихревой подачей плазмообразующего газа. Осевая подача плазмообразующего газа применяется в широких соплах. При вихревой подаче плазмообразующий газ вводят в зону катода и столба по каналам, расположенным по касательной к стенкам дуговой камеры плазматрона. При этом в камере создается вихревой поток газа со спиралеобразным движением. Вихревая подача плазмообразующего газа обеспечивает перемешивание газа в столбе дуги и равномерность газовой оболочки вокруг столба.

При осевой подаче конец электрода (вольфрамовый стержень диаметром от 2 до 6 мм и длиной до 100—150 мм) имеет форму заостренного стержня с углом 20—30°, а при вихревой — на конце электрода имеются сменные гильзовые катоды.

Для охлаждения плазматронов применяют воду, а в плазматронах небольшой мощности — сжатый воздух.

Вольфрамовый (или с примесью оксидов лантана, иттрия, тория) электрод применяется для работы в инертных газах, при резке в окислительных газах (кислород и др.) электрод в зоне катода необходимо защищать неактивным газом (аргоном и др.).

Значительное применение находят режущие плазматроны с пленочными катодами. Способностью образовать пленку на катоде обладают цирконий и гафний. При высоких температурах оксидно-нитридная пленка, обладающая электропроводностью, легче образуется на поверхности катода. Такой катод может продолжительное время работать в окислительной среде, например в сжатом воздухе.

Интенсивность износа катодных вставок и электродов зависит от рабочего тока. Чем больше ток, тем быстрее изна-

шивается вставка. Для машинных плазматронов с циркониевыми катодными вставками и проточной системой водяного охлаждения максимальный рабочий ток равен 250–300 А. При этом продолжительность работы катода обычно не превышает 4–6 ч.

Большое значение в плазматронах имеет конструкция сопла. Чем меньше диаметр сопла и больше его длина, тем выше концентрация энергии, напряжение дуги и больше скорость потока плазмы, дуга становится жесткой, ее режущая способность увеличивается. Однако диаметр и длина сопла обуславливаются рабочим током и расходом газа. Если диаметр сопла очень мал или длина его очень велика, может возникнуть так называемая двойная дуга (рис. 88): одна между катодом и внутренней частью сопла, а другая – между наружной поверхностью сопла и разрезаемым изделием. Двойная дуга может вывести из строя сопло формирующего наконечника. Чаще всего двойная дуга возникает в момент возбуждения режущей дуги. Режущая дуга возбуждается с помощью осциллятора или конденсаторными устройствами. Для предотвращения двойной дуги при зажигании режущей необходимо плавно увеличивать рабочий ток. Это достигается магнитным, тиристорным и другими устройствами.

Для плазменно-дуговой резки применяют источники питания дуги постоянного тока с крутопадающими внешними статическими характеристиками (с. § 92): типы ПД-501 (преобразователь дуговой, номинальный ток 500 А, регистрационный номер 01), ВДУ-504 (выпрямитель дуговой универсальный, номинальный ток 500 А, регистрационный

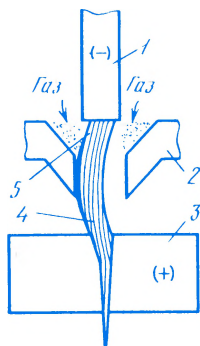


Рис. 88. Двойная дуга:

1 – катод, 2 – сопло, 3 – металл, 4, 5 – столб двойной дуги на участках сопло – металл и катод – сопло

номер 04), ИПГ-500 и др. При резке больших толщин (больше 80 мм) применяют только специальные источники питания с повышенным напряжением холостого хода, например типов ВПР-602, ИПГ-500 и др.

Согласно ГОСТ 14935–77Е, выпрямители для плазменно-дуговой резки должны иметь напряжение холостого хода 180–500 В и ток 100–1250 А.

Для плазменно-дуговой резки можно использовать также и стандартные источники питания сварочной дуги. Так как напряжение плазматронов, как правило, больше напряжения холостого хода этих источников, то надо два или три источника соединять между собой последовательно.

Машины для плазменно-дуговой резки по принципу работы и конструкции механического устройства не отличаются от машин для кислородной резки.

Согласно ГОСТ 12221–79, плазматроны подразделяют: для ручной резки ПЛР, ручной и машинной резки ПЛрм, машинной резки ПЛм и для машинной точной резки ПЛмт.

Ручная резка стали толщиной до 20 мм при рабочем токе до 250 А производится аппаратом ПЛр-20/250.

Стационарными машинами для плазменно-дуговой резки являются «Кристалл-Пл», «Зенит-Пл» и др. Помимо машины для плазменной резки создано несколько типов установок для ручной плазменной резки (УПР-201, УГЭР-300 и др.).

Основы технологии плазменно-дуговой резки. Параметры режима плазменно-дуговой резки: диаметр сопла, ток, напряжение плазменной дуги, скорость резки и расход газа. Плазмообразующий газ выбирают по составу разрезаемого металла (табл. 16).

Ориентировочные режимы воздушно-плазменной резки металлов сжатым воздухом для аппарата ПЛм-60/300 даны в табл. 17.

Плазменно-дуговую резку целесообразно применять главным образом на машинах, так как высокие скорости резки сильно затрудняют управление ручным процессом. Например, сталь толщиной 1,5 мм аппаратом мощностью 50 кВт режется со скоростью 20 м/мин, а сталь

Таблица 16. Выбор плазмообразующего газа в зависимости от условий резки

Газ	Разрезаемый металл
Воздух, кислород Азот технический Смесь: аргон технический, водород	Низкоуглеродистые и легированные стали Нержавеющие стали, медь и ее сплавы Алюминий, алюминиевые сплавы

Таблица 17. Ориентировочные режимы машинной резки

Толщина разрезаемого металла, мм	Диаметр сопла, мм	Ток, А	Напряжение, В	Расход сжатого воздуха, дм ³ /мин	Скорость резки, м/мин	Средняя ширина реза, мм
Низкоуглеродистая сталь						
10	3,0	300	145–150	80–90	2,2–2,5	3,0
40	3,0	300	190–195	80–90	0,3–0,4	5,0
Алюминий и его сплавы						
5–15	2,0	120–200	170–180	70	2,0–1,0	3,5
30–50	3,0	280–300	170–190	40–50	1,2–0,6	5,5
Медь						
10	3,0	300	160–180	40–60	3,0	–
60	3,5	300	160–180	40–60	0,4	–

Примечание. Диаметр вольфрамового катода равен диаметру формирующего сопла.

толщиной 10 мм — со скоростью 3–4 м/мин. С увеличением электрической мощности плазмы скорость резки еще больше возрастает. Современные плазматроны имеют электрическую мощность 150 кВт и более; толщина разрезаемых стальных листов достигает 100 мм.

Технические трудности ограничивают толщину вырезаемых заготовок с одновременным снятием кромок под сварку до 30 мм.

§ 51. Прочие виды термической резки

Дуговая резка металлов на воздухе может выполняться покрытыми электродами, под флюсом, в газе неплавящимся электродом и др. Особенно широко употребляется аргонодуговая резка неплавящимся электродом нержавеющей стали, меди, алюминия и их сплавов малых толщин (до 5 мм). Рекомендуется широко применять поверхностную воздушно-дуговую строжку металла. Она основана на плавлении металла по линии реза дугой,

горящей между угольным или графитизированным электродом и обрабатываемым листом, при непрерывном удалении жидкого металла под дугой струей сжатого воздуха.

Подводная резка. Для разъединения металлических частей в подводных условиях наибольшее применение нашли ручная электрокислородная и бензокислородная резка. Кроме этих способов подводную резку можно выполнять плавящимся электродом с покрытием, полуавтоматическую электрокислородную тонким плавящимся электродом, плазменно-дуговую и в отдельных случаях направленным взрывом.

Электрокислородная резка выполняется специальным электродом, изготовленным из стальной трубки размером 7 × 2,5 мм, покрытым толстым слоем водонепроницаемого состава. В трубку от баллона по шлангу подается кислород под давлением 0,15–0,35 МПа. Дуга разогревает металл, а кислород окисляет его, как и при обычной кисло-

родной резке. Этот способ резки нашел большое применение, им можно резать металл толщиной до 420 мм.

Для полуавтоматической электрокислородной резки тонкой проволокой разработан полуавтомат ППСР-300-2 (он же применяется и для сварки). Дуга горит в защитном газе, который подается через специальный шланг (вместе с проволокой), в этом же шланге проходит токоведущий кабель. Кислород подводится по отдельному шлангу. Скорость резки на установке ППСР-300-2 для толщины металла 10 мм при токе 270–280 А составляет 11 м/ч, для толщины металла 25 мм при токе 300 А – 2,5–2,8 м/ч.

Для бензокислородной резки металла толщиной от 5 до 100 мм под водой выпускается установка БУПР (бензиновая установка подводной резки).

Скорость резки на установке БУПР-61 на глубине до 10 м: для толщины металла 10 мм – 22 м/ч, для толщины металла 100 мм – 6,5 м/ч.

Производительность подводной резки зависит от вида резки, прозрачности воды, доступности места резки, опытности водолаза и др.

В настоящее время для резки под водой стали применять плазменную дугу. Разрабатывается резка под водой взрывом.

Оборудование для резки в воде любым способом существенно отличается от промышленного оборудования для резки на воздухе, оно намного сложнее и менее производительное.

Виды термической резки бетона и железобетона. Бетон и железобетон режутся кислородным, прутково-кислородным, порошково-кислородным копьем, кислородно-флюсовым резаком, плазменной струей, угольной дугой косвенного действия, газопорошковой реактивной струей (см. специальную литературу).

§ 52. Основные требования безопасности труда при плазменно-дуговой резке

Плазменно-дуговая резка требует особого строгого соблюдения действующих правил эксплуатации электроустановок. Правилами в электроустановках для

плазмы допускается напряжение холостого хода до 180 В при ручной и до 500 В при машинной резке (в аппаратах с дистанционным управлением).

Плазменно-дуговая резка сопровождается сильным шумом. В случае образования шума на уровне звукового давления 110–115 дБ (это возможно при высоких напряжениях плазменной резки) необходимо применять защитные устройства от шума. Сила резательного тока мало влияет на уровень шума. Уровень шума сильно повышается с увеличением напряжения плазменной дуги. Уровень шума снижается с увеличением расстояния от места горения плазменной дуги. Поэтому при механизированной резке следует применять дистанционное управление и место оператора подобрать с наименьшим шумом.

При ручной резке отдалить резчика от режущей дуги невозможно. Поэтому ГОСТ ограничивает напряжение дуги до 180 В. В отдельных случаях резчики пользуются противозумными наушниками ВЦНИИОТ-2 или противозумной каской ВЦНИИОТ-2М с наушниками, защищающими резчика от шума интенсивностью до 120 дБ (резчик при этом слышит разговор соседа).

Плазменно-дуговая резка вызывает образование большого количества газов и паров от разрезаемого металла. Большое содержание в воздухе около резчика даже таких газов, как азот и аргон, затрудняет дыхание и вызывает удушье. Особенно опасны пары оксидов меди и цинка, образующиеся при резке меди и латуни. Поэтому при резке сжатой дугой требуется кроме общеобменной также и местная вентиляция.

Наряду с газопылевыми выделениями и шумами резка сжатой дугой сопровождается интенсивным излучением. Для защиты глаз резчика применяют щитки с защитными стеклами и очки со светофильтрами примерно на номер больше, чем приходится подбирать при дуговой сварке покрытыми электродами в зависимости от тока (см. § 13).

Другие опасности в виде взрыва сжатого газа, ожогов брызгами расплавленного металла и возникновения пожара всегда требуют особой осторожности при плазменно-дуговой резке.

Контрольные вопросы

1. Начертите схему получения плазменной дуги.
2. Какие типы плазматронов применяют для резки?

3. Перечислите параметры режима плазменно-дуговой резки.

4. Назовите области применения плазменно-дуговой резки.

5. Какие существуют виды резки неметаллов?

ГЛАВА X. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДУГА И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ СВАРКИ

§ 53. Определение и строение дуги

Электрическая дуга представляет собой один из видов электрических разрядов в газах. Электрический разряд выражается выделением в газовом промежутке теплоты, лучистой энергии и звука. Один вид разряда отличается от другого разностью электрических потенциалов, величиной тока, длиной газового промежутка, газовым составом и его давлением, временем прохождения тока и другими признаками.

Существует дуговой разряд (электрическая дуга) тлеющий, искровой, молния, коронный и др.

Электрическая дуга, применяемая в сварке, характеризуется необходимой длительностью времени, малым газовым промежутком (1–10 мм), низким электрическим напряжением (9–45 В) и широким диапазоном по току (5–5000 А).

Строение свободной электрической дуги. Дугу, горящую между электродом и изделием на воздухе, принято называть свободной дугой в отличие от сжатой, поперечное сечение которой принудительно уменьшено.

Свободная дуга (рис. 89) состоит из трех зон: катодной с катодным пятном, необходимым для эмиссии (выхода) электронов, анодной с анодным пятном, бомбардирующимся электронным потоком, и столба дуги, который занимает проме-

жуточное положение между катодной и анодной зонами.

Катодная зона расположена между столбом дуги и поверхностью катода (электрода, подключенного к отрицательному полюсу источника питания). Электроны, выходящие с поверхности катодного пятна, называются первичными. Выход электронов объясняют термическим эффектом (термоэлектронная эмиссия) и наличием у катода поля высокой электрической напряженности (электростатическая эмиссия). Термоэлектронная эмиссия заключается в нагревании поверхности электрода до высокой температуры, при которой связь электрона с ядром атома ослабевает и под влиянием электростатического поля электрон отрывается с поверхности катода и устремляется к аноду. С увеличением температуры нагревания электрода число испускаемых электронов увеличивается.

Электростатическая эмиссия состоит в том, что под влиянием электрического поля высокой напряженности, которое устанавливается вблизи катода, с катодного пятна вырываются первичные электроны и летят к аноду.

В столбе дуги происходят важные процессы – ионизация, рекомбинация и образование плазменных струй.

Ионизацией называют процесс образования электрически заряженных частиц (электронов и ионов) в межэлектродном пространстве. В обычных условиях газы, заполняющие межэлектродный зазор, не проводят электрического тока, следовательно, без ионизации дуга не горит.

Энергия, затраченная на отрыв электрона от атома, следовательно, и на образование положительного иона, называется работой ионизации. Эта работа, выраженная в электрон-вольтах (эВ), называется потенциалом ионизации.

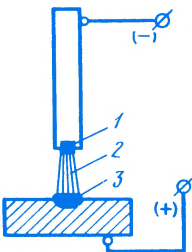


Рис. 89. Строение свободной дуги:

1 – катодная зона, 2 – столб дуги, 3 – анодная зона

Величины потенциалов ионизации колеблются от 3,9 до 24,5 эВ. Наименьшими потенциалами ионизации обладают щелочноземельные металлы (калий, кальций) и их соединения. Вещества, обладающие малыми потенциалами ионизации, вводят в состав электродных покрытий, порошков для устойчивого горения дуги. При их присутствии в межэлектродном пространстве возрастает число электрически заряженных частиц при постоянном значении затраченной энергии.

Процесс ионизации в столбе дуги определяется ионизацией соударением и термической ионизацией. Электроны, вышедшие с катодного пятна, разгоняются под действием электростатического поля, летят к аноду и при столкновении с газовыми молекулами «выбивают» из них электроны и, следовательно, ионизируют их. Термическая ионизация сводится к тому, что при повышении температуры растет скорость и число соударений молекул, что приводит к образованию ионов.

Часть положительных ионов достигает катодного пятна и бомбардирует его; другая часть положительных ионов не достигает катода и, присоединяя к себе электроны, становится атомами. Процесс образования нейтральных атомов называется рекомбинацией.

За счет рекомбинации уравниваются процессы исчезновения и образования заряженных частиц в дуге.

Для полной ионизации газов в дуговом промежутке нужна очень высокая температура. Так, полная ионизация азота происходит при температуре 23 000 К.

В случае сварки покрытыми электродами между температурой столба дуги и эффективным потенциалом ионизации найдена зависимость: $T_c = 810U_i$. Обычно величина эффективного потенциала близка по величине к наименьшему потенциалу ионизации одного из компонентов, участвующих в смеси дугового газа. Например, при сварке покрытыми электродами, в состав покрытия которых включено легкоионизирующее вещество, содержащее натрий, $T_c = 810 \cdot 5,1 = 4131$ К, где 5,1 – потенциал ионизации натрия. При сварке покрытыми электродами температура столба дуги не достигает температуры, необходимой для полной ионизации газов в дуговом промежутке. Поэтому

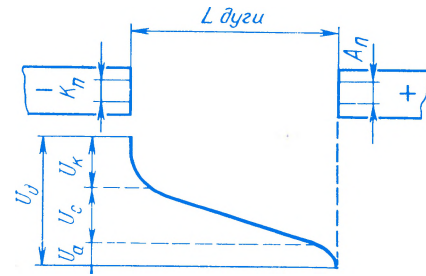


Рис. 90. Падения напряжения в дуге:

U_k, U_c, U_a – падения напряжений в катодной зоне, столбе дуги и анодной зоне, U_d – напряжение дуги, K_k, A_n – диаметры катодного и анодного пятен

му в дуговом промежутке всегда находятся ионы, электроны и неионизируемые атомы.

Анодная зона (область) дуги состоит из анодного пятна и приэлектродной части. Ток в анодной области определяется потоком электронов, образовавшихся при ионизации в столбе дуги. В большинстве случаев анодное падение напряжения меньше катодного и почти не зависит от тока, материала анода и состава атмосферы дуги.

Катодная и анодная зоны обычно довольно малы, порядка 10^{-4} и 10^{-1} мм соответственно.

Напряжение в катодной и анодной зонах изменяется резко и нелинейно. В столбе дуги изменение напряжения по длине дуги ближе к линейному и спад гораздо более пологий (рис. 90). Этот спад зависит от компонентов атмосферы, в которой горит дуга. Падение напряжения столба тем меньше, чем более легко ионизируются эти компоненты.

При различных видах сварки общее падение напряжения на дуге составляет 9–45 В.

Классификация сварочных дуг. По составу материала электрода – дуга с плавящимся и неплавящимся электродом; по степени сжатия столба дуги – свободная и сжатая дуга; по схеме подвода сварочного тока – дуга прямого и косвенного действия (рис. 91); по роду тока – дуга переменного тока однофазная и трехфазная, дуга постоянного и пульсирующего тока; по полярности тока – дуга на пря-

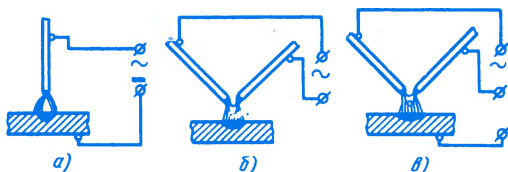


Рис. 91. Сварочные дуги:
а — прямого действия, *б* — косвенного действия, *в* — прямого действия двумя электродами при трехфазном токе

мой и обратной полярности; по виду статической вольт-амперной характеристики — дуга с падающей, жесткой и возрастающей характеристикой (см. § 92).

§ 54. Условия зажигания и горения дуги

Условия зажигания и горения дуги зависят от рода тока, полярности, химического состава электродов, газового промежутка и его длины.

Зажигание и горение дуги протекают лучше на постоянном токе.

Напряжение холостого тока, подводимое к электродам, с учетом безопасности труда при сварке не превышает 80 В на переменном токе и 90 В на постоянном токе. Обычно напряжение зажигания дуги больше по величине напряжения горения дуги на переменном токе в 1,2–2,5 раза, а на постоянном токе — в 1,2–1,4 раза.

Для зажигания дуги требуется напряжение большее по величине, чем для горения дуги.

Дуга зажигается от нагревания горца электрода (каатода). Когда электрод соприкасается с изделием, создается замкнутая сварочная цепь, горец катодного электрода нагревается за счет выделения теплоты при прохождении тока через контакт, имеющий большое электросопротивление, и при отрыве электрода от изделия на расстоянии 1 мм (или несколько более) дуга зажигается. В момент отрыва электрода от изделия с нагретого от короткого замыкания каатода начинается термоэлектронная эмиссия. Электронный ток ионизирует газы и пары металла, находящиеся в межэлектродном промежутке, и с этого момента в дуге появляются электронный и ионный токи. Дуговой разряд можно считать установившимся по истечении $1 \cdot 10^{-5}$ – 10^{-4} с.

Поддержание непрерывного горения дуги будет осуществляться, если приток энергии в дугу превышает потери в ней на излучение, конвекцию, диссоциацию, электромагнитные потери и др.

В случае коротких замыканий каплями электродного материала, образующимися на конце плавящего электрода и переносимыми на изделие, повторные зажигания дуги происходят самопроизвольно, если температура катода остается достаточно высокой. Эта температура зависит от состава материала катода, плотности тока в нем и др.

Таким образом, первым условием для зажигания и горения дуги является наличие специального электрического источника питания дуги, позволяющего быстро производить нагревание катода до необходимой температуры.

Вторым условием для зажигания и горения дуги является наличие ионизации в столбе дуги. Дуга с плавящимся электродом — это в основном дуга в парах металла, а не в газе. Это происходит по той причине, что потенциал ионизации паров металла значительно ниже, чем у газов; например, потенциалы ионизации газов He, F, Ar, H₂, N₂, CO₂, O₂ соответственно равны 24,5–12,5, а у металлов Fe, Al, Na, K — 7,83–4,32 эВ.

Горящую дугу можно растянуть до определенной длины, после чего она гаснет. Чем выше степень ионизации, тем длиннее будет дуга.

Длина горячей без обрыва дуги характеризует стабильность дуги.

Стабильность функционирования дуги зависит от ряда ее характеристик, например от температуры катода, его термоэлектронной способности, степени ионизации атмосферы и т. д.

Стабильность дуги повышается с увеличением в ее атмосфере элементов с низким потенциалом ионизации, например калия, натрия и др.

Стабильные дуги устанавливаются в газах, обладающих относительно низкой теплопроводностью (аргон, криптон), а в газе с относительно высокой теплопроводностью (гелий, водород, азот) для устойчивого горения необходимо повышенное напряжение на дуге. В последнем случае сварка выполняется более короткой дугой неплавящимся электродом.

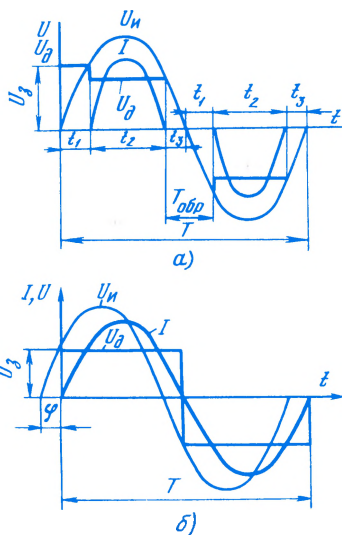


Рис. 92. Кривые изменения напряжения и тока дуги при активном омическом сопротивлении в сварочной цепи (а) и при введении индуктивного сопротивления в сварочную цепь (б):

$U_{и}$, $U_{д}$, $U_{л}$ — напряжения источника, зажигания дуги и горения дуги, t — время, I — ток, T — время полного периода, $T_{обр}$ — время обрыва дуги, φ — угол сдвига фаз между напряжением источника и током

Третьим условием для сварки на переменном токе является наличие в сварочной цепи реактивного сопротивления (повышенной индуктивности), что повышает стабильность горения дуги. В сварочной цепи переменного тока (рис. 92, а), имеющей только омическое сопротивление, при горении дуги образуются обрывы (100 обрывов в секунду при частоте переменного тока 50 Гц).

При реактивном сопротивлении, включенном в сварочную цепь переменного тока, обрывы в горении дуги отсутствуют (рис. 92, б).

Электрическую индуктивность включают не только в сварочную цепь переменного тока, но даже в цепь постоянного тока. В настоящее время некоторые сварочные выпрямители изготавливают с включением в сварочную цепь индуктивности, с тем чтобы улучшить стабильность дуги и качество сварочных работ (см. § 92). Это особенно необходимо, если производить полуавтоматическую шланговую сварку в СО; чем больше диаметр сварочной проволоки и ток, тем большая величина индуктивности должна быть в сварочной цепи.

Четвертым условием для зажигания и горения дуги на любом роде тока зависит от характеристики источника питания дуги: источник питания должен поддерживать горение дуги при наличии возмущений в виде изменения напряжения в сети, рельефа поверхности свариваемого изделия, скорости подачи сварочной проволоки и др.

§ 55. Типы переноса электродного металла

При дуговой сварке плавящимся электродом различают три типа переноса электродного металла: крупнокапельный, мелкокапельный (или струйный) и перенос с замыканием.

В зависимости от типа переноса электродного металла изменяются производительность сварки, характер формирования шва и качество сварных соединений. Поэтому сварщик должен знать условия сварки, при которых достигается нужный тип переноса электродного металла.

При сварке покрытыми электродами перенос электродного металла осуществляется в основном первым типом — крупными каплями различного размера. В некоторых случаях внутри крупной капли находятся газы, выделяющиеся при плавлении покрытия и металла электрода. Под действием давления газов крупная капля разрушается, образуются (к моменту ее дальнейшего движения в шов) мелкие капли, брызги и частицы в парообразном состоянии. К моменту попадания в шов капли при сварке покрытыми электродами имеют неодинаковые размеры. Образование одинаковых капель с одинаковой частотой их переноса при сварке покрытыми электродами практически невозможно в силу возникающих воздействий на перенос электродного металла. Большую стабильность переноса электродного металла возможно получить лишь при струйном переносе, при переносе мелкими каплями. Уменьшение тока при сохранении того же напряжения дуги (той же длины дуги) при сварке покрытыми электродами приводит к увеличению объема капли, а частота их образования падает. Это ведет к снижению количества переносимого ме-

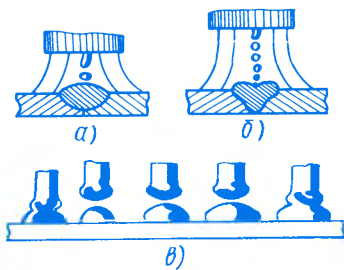


Рис. 93. Схема переноса электродного металла: а – крупнокапельный, б – мелкокапельный или струйный, в – с короткими замыканиями или перемичками

талла в единицу времени. При дальнейшем уменьшении тока и сохранении того же напряжения на дуге образуется мало капель, но они будут настолько велики, что оторвутся от электрода еще до короткого замыкания ими дуги, как это видно из рис. 93, б. Это ведет к еще меньшей производительности наплавки. Таким образом, для получения оптимальной технологии сварки (максимальная производительность переноса электродного металла и лучшее формирование металла шва) необходимо с уменьшением тока уменьшать и напряжение на дуге (длину дуги) и наоборот. Оптимальная технология разрабатывается с учетом $U_d = 25 \text{ В}$ при $I \leq 100 \text{ А}$, а с учетом $U_d = 40 \text{ В}$ при $I \geq 500 \text{ А}$. В интервале 100–500 А напряжение изменяется линейно между 25 и 40 В.

При полуавтоматической дуговой сварке в аргоне или богатой аргоном защитной атмосфере смешанного состава или при наличии специальной по химическому составу сварочной проволоки при определенных условиях (например, при сварке в аргоне сварочной проволокой диаметром 1,6 мм, токе 300 А и относительно длинной дугой) перенос бывает мелкокапельным (струйным). Мелкие капли (рис. 93, в) переносятся одна за другой, создавая видимость сплошной струи. Струйный перенос обладает некоторыми преимуществами – меньшее выгорание легирующих примесей в проволоке, большая производительность и стабильность переноса электродного металла, лучшее формирование шва и др.

При шланговой сварке сварочная проволока меньших диаметров предпочтительнее сварочной проволоки больших

диаметров. Малый диаметр сварочной проволоки позволяет обеспечить большую частоту переноса капель электродного металла. При этом возрастает скорость движения капель и уменьшается выгорание легирующих элементов. Однако для проволоки малых диаметров необходимо иметь оборудование с подачей проволоки порядка 1000 м/ч.

При полуавтоматической сварке плавящимся электродом в СО перенос электродного металла идет с замыканиями каплями дуги и в редких случаях со свободным полетом капель, подобно сварке покрытыми электродами. Перенос капель с короткими замыканиями позволяет сваривать в любом положении, в том числе детали, допускающие лишь ограниченный нагрев, например тонкие листы.

Количество наплавляемого электродного металла при переносе с коротким замыканием (рис. 93, а) меньше, чем при струйном, но оно все же существенно больше, чем при использовании покрытых электродов. Глубина проплавления металла при переносе с коротким замыканием меньше, чем при струйном переносе.

На характер переноса электродного металла влияет не только напряжение и ток, но также и реактивное сопротивление источника питания дуги, например при шланговой сварке в СО возможны переносы с замыканиями (с перемичками) и капельный со свободным полетом капель; перенос с замыканиями рекомендуется со сварочной проволокой малых диаметров, а при пользовании сварочной проволокой больших диаметров образуется капельный перенос.

Значение электромагнитных сил (пинч-эффекта) при сварке плавящимся электродом. Известно, что вокруг участка электрической цепи при протекании через него тока возникает магнитное поле, которое, взаимодействуя с током в проводнике, вызывает радиальное сжатие проводника (рис. 94). Дуга (катодная зона, столб и анодная зона) представляет собой участок цепи, в котором действие электромагнитных сил проявляется наиболее сильно, поскольку она состоит из жидких и газообразных элементов.

С увеличением сварочного тока электромагнитные силы возрастают. Для

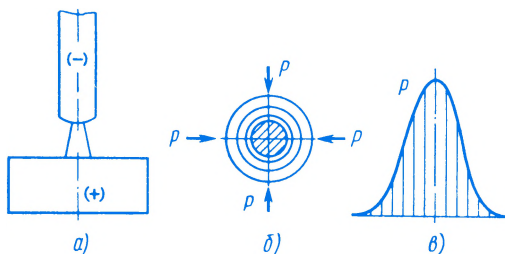


Рис. 94. Распределение кольцевых магнитных линий в столбе дуги:

a – дуга, *б* – сжимающее действие магнитного поля, *в* – изменение силы *P* в зависимости от расстояния от оси проводника

струйного переноса требуется относительно увеличенный ток и длина дуги. Перенос капель возможен в любом пространственном положении, если электромагнитные силы достаточны для преодоления гравитационной силы (притяжения).

Исследователи считают, что электромагнитные силы являются преобладающими по сравнению с другими (поверхностное натяжение, сила гравитации-притяжения, силы химических реакций и др.), участвующими в образовании и переносе электродных капель на изделие.

Особенно сильно проявляется пинч-эффект при струйном переносе капель.

§ 56. Нагревание изделия и эффективный кпд дуги

Количество теплоты, вводимое дугой в свариваемое изделие в единицу времени, называют эффективной тепловой мощностью дуги q_n . Она включает в себя теплоту, непосредственно выделяющуюся на катодном или анодном пятне на изделии; теплоту, поступающую с каплями электродного металла, покрытия или флюса; теплоту, вводимую в изделие из столба дуги.

Скорость нагревания изделия при дуговой сварке характеризуется эффективным кпд нагревания металла дугой η_n , представляющим отношение эффективной мощности q_n к полной тепловой мощности дуги $q = TU$, таким образом $\eta_n = q_n/q$. Числовая величина η_n зависит от вида дуговой сварки, типа сварного соединения, длины дуги, скорости сварки,

от рода и полярности тока, марки электрода и др.

Значения η_n для различных видов сварки: открытая угольная дуга 0,5–0,6; дуга в аргоне 0,5–0,6; сварка покрытыми электродами 0,7–0,85; сварка под флюсом 0,85–0,93.

Количество теплоты, вносимое дугой в изделие на единицу длины шва, называется погонной тепловой энергией сварки. Погонная тепловая энергия (Дж/см) выражается отношением $q_n = q_n/v = TU\eta_n/v$, где v – скорость сварки, см/с.

§ 57. Производительность расплавления и наплавки электродов

Производительностью расплавления электродов называют массу расплавленного дугой электродного металла в единицу времени. Производительность расплавления электрода Pr зависит от количества теплоты, сообщенного дугой электроду. Производительность расплавления (г/ч) электродов при сварке определяется по формуле $Pr = \alpha_p I$, где α_p – коэффициент расплавления электрода, представляющий собой массу расплавленного электродного металла, приходящуюся на один ампер тока в течение часа горения дуги, и имеет размерность г/(А · ч). Обычно $\alpha_p = 7 \div 22$ г/(А · ч) в зависимости от марки покрытия, плотности тока, рода, полярности тока и др.

Производительность наплавки электродов. Расплавленный металл электрода не полностью переносится в шов, часть его теряется на разбрызгивание, испарение и угар в процессе горения дуги.

Производительность переноса (г/ч) электродного металла в шов, или производительность наплавки Π_n , определяется по формуле $\Pi_n = \alpha_n I$. Как правило, коэффициент наплавки α_n меньше коэффициента расплавления α_p на величину потерь электродного металла. Обычно $\alpha_n < \alpha_p$ на 1–3 г/(А · ч). Для электродов с железным порошком в покрытии $\alpha_n > \alpha_p$.

Коэффициент потерь электродного металла $\psi = [(\alpha_p - \alpha_n)/\alpha_p] 100$ и составляет 3–20%. Менее 3% потерь электродного

металла обычно не бывает, а потери более 20% делают сварку электродами при данных условиях нерациональной.

Значения коэффициентов расплавления и наплавки используются для нормирования расхода электродов и времени сварки.

Пример. Определить производительность наплавки при сварке покрытыми электродами диаметром 4 мм при токе $I = 160$ А, если коэффициент наплавки данных электродов $\alpha_n = 10$ г/(А · ч).
 $P_n = \alpha_n I = 10 \cdot 160 = 1600$ г/ч = 1,6 кг/ч.

Контрольные вопросы

1. Что называется сварочной дугой?
2. Какие существуют основные виды сварочных дуг?
3. Какие надо выполнить условия для зажигания и горения дуг?
4. Объясните строение электрической дуги.
5. Кроме электрической дуги назовите другие виды электрических разрядов.
6. Назовите типы переноса электродного металла.
7. В чем преимущества струйного переноса электродного металла перед крупнопельным?
8. Как подсчитывают производительность расплавления и наплавки электродов?

ГЛАВА XI. ОСНОВЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ

§ 58. Особенности металлургии сварки

Характер металлургических процессов при дуговой сварке подобен характеру металлургических процессов в сталеплавильной печи. Однако между ними наблюдаются как качественные, так и количественные отличия. Сварка характеризуется малыми массами нагретого и расплавленного металла (десятки граммов по сравнению с тоннами в мартеновской печи), высокой температурой нагрева (порядка 2600 °С), большой скоростью процесса, быстрым отводом теплоты из сварочной ванны, окруженной холодными и массивными стенками свариваемого изделия.

Указанные особенности обуславливают кратковременность протекания химических реакций, которые не всегда могут полностью завершаться. С другой стороны, процессы затвердевания и кристаллизации металла шва сильно ускоряются, что существенно отражается на структуре (строении) металла шва и околошовной зоны основного металла.

§ 59. Окисление и раскисление металла при сварке

При сварке на воздухе расплавленный металл окисляется атомарным и ионным свободным или связанным кислородом. Свободным называют кислород, который получается в зоне дуги из атмосферы воз-

духа; связанным — кислород, находящийся в оксиде, например SiO_2 .

При сварке стали в значительном количестве окисляется железо, например $[\text{Fe}] + (1/2\text{O}_2) \rightarrow [\text{FeO}]$, где квадратными скобками (как принято в теории металлургических процессов) обозначены вещества в металлическом, а круглыми — в шлаковом расплаве. В результате реакции получается низший оксид железа — закись железа FeO .

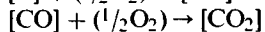
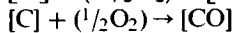
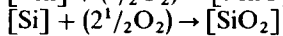
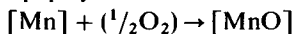
В сварочном расплаве закись железа растворяется в железе меньше, чем в сталеплавильной печи, что объясняется прежде всего малым промежутком времени, в течение которого происходит окисление и растворение компонентов при сварке.

При охлаждении сварочной ванны происходит обратное явление: закись железа (или отрицательные ионы кислорода) выпадают из раствора, так как их растворимость уменьшается со снижением температуры. Скорость охлаждения металла в сварочной ванне влияет на количество выпавшей закиси железа из раствора. При относительно низких скоростях охлаждения закись железа полностью выпадает из раствора и располагается по границам зерен как более легкоплавкий компонент, затем при дальнейшем охлаждении ниже 570 °С свободная закись железа преобразуется в более высший оксид железа $\text{Fe}_2\text{O}_4(4\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Fe})$ в виде глобулей (шлаковых шариков), которые нарушают прочную

связь между зернами и вызывают красноломкость металла, а при комнатной температуре — хрупкость.

Кроме оксида железа металл шва засорен и другими оксидами, образующимися от окисления других элементов, например Mn, Si, C.

Окисление марганца, кремния и углерода свободным кислородом протекает по формулам:



Улучшение прочностных свойств стали достигается восстановительным процессом, называемым раскислением.

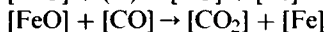
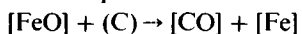
Различают осаждающее и диффузионное раскисление.

Сущность осаждающего раскисления сводится к тому, что железо восстанавливается из растворенной закиси железа металлом, обладающим более высоким химическим сродством к кислороду и дающим оксид с очень малой растворимостью в железе. Химическая реакция осаждающего раскисления $[\text{FeO}] + (\text{Me}) \rightarrow [\text{Fe}] + (\text{MeO})$.

Оксид MeO выпадает при охлаждении из раствора в виде отдельной фазы (шлаковой частицы), всплывает на поверхность сварного шва и образует совместно с другими оксидами сварочный шлак.

В качестве осаждающих раскислителей при сварке применяют чистые материалы (C, Al), ферросплавы (ферромарганец, ферросилиций, ферротитан и др.), комплексные раскислители (сплавы, содержащие два раскисляющих элемента и более одновременно).

При подборе раскислителя учитывают его раскислительную способность. Например, при раскислении большим количеством углерода в процессе затвердевания расплава в шве могут от раскисления оставаться газы CO и CO₂, образуя в швах поры:



Чтобы этого не было, нужно иметь остаточного кислорода такое количество, которое обеспечивало бы кристаллизацию без излишнего количества газовыделений.

Стремятся также к тому, чтобы продукты раскисления равномерно распределялись в металле шва.

Содержание азота или его вредное влияние в металле шва можно снизить при раскислении и введением в металл химических элементов, образующих с азотом нерастворимые в жидком металле нитриды, которые в лучшем случае поднимаются из металла шва в сварочный шлак, а в худшем случае — остаются в металле шва с незначительным ухудшением механических свойств. Например, алюминий, применяемый для раскисления железа, соединяется со свободным азотом, образуется нитрид алюминия $\text{Al} + \text{N} \rightarrow \text{AlN}$, который из сварочной ванны удаляется в шлаковую фазу.

При пользовании несколькими раскислителями подбирают их так, чтобы продуктами раскисления являлись бы основные, кислотные и амфотерные оксиды. Эти оксиды, соединяясь между собой, быстрее поднимаются вверх (в сварочный шлак) и не оказывают вредного влияния.

Сущность диффузионного раскисления состоит в том, что для удаления закиси железа из металлического расплава пользуются такими сварочными материалами (покрытием, флюсом, порошком), при плавлении которых образуются сложной структуры шлаки, восстановительные шлаки. Принципиальная химическая реакция диффузионного раскисления $[\text{FeO}] + (\text{SiO}_2) \rightarrow (\text{SiO}_2 \cdot \text{FeO})$.

В качестве минералов для диффузионного раскисления пользуются такими, в которых содержится малое количество оксидов основного металла.

При сварке сталей раскисление железа и других химических элементов стали обязательно, так как при существующей технологии в металле шва кислорода может оказаться больше, чем в свариваемом металле.

§ 60. Растворение газов и борьба с ними

При дуговой сварке невозможно получить металл шва, не содержащий газы (азот и водород), так как, во-первых, любой металл, применяемый для сварки, со-

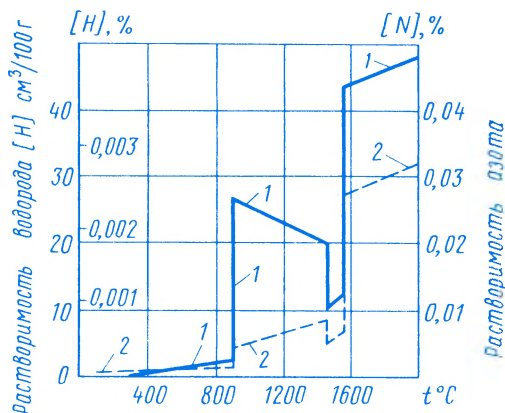


Рис. 95. Диаграмма растворимости азота (1) и водорода (2) в железе

держит газы, во-вторых, расплавленный электродный и основной металл неизбежно соприкасаются с газовой средой, содержащей азот и водород, которые растворяются в расплавленном железе. Их растворимость с понижением температуры железа изменяется. При температуре 1600 °С железо растворяет азота 0,044% и водорода 0,0026%. Содержание азота и водорода в сталях в зависимости от содержания в них примесей может отличаться от указанных выше.

Важной закономерностью поведения газов является скачкообразное изменение их растворимости в металле при переходе из жидкого состояния в твердое (рис. 95).

Наиболее неприятным свойством азота и водорода является малая растворимость их в железе в области низких температур. Поэтому эти газы находятся в виде газовых пор или некоторых химических соединений.

Азот при нагревании растворяется в железе до максимального значения. Он может оставаться при охлаждении в металле шва в виде пересыщенного раствора.

Азот в значительном количестве снижает пластичность и усталостную прочность металла.

Для устранения влияния азота на пористость при сварке в состав сварочных материалов вводят элементы Ti, Zr, Al и др., которые приводят к образованию устойчивых нитридов титана TiN, алюминия AlN и др. Нитриды остаются

в металле швов в виде неметаллических включений. Они тоже снижают качество металла шва, но в меньшей степени по сравнению с растворенным в большом количестве азотом.

Применяют два способа борьбы с азотом: 1) физический — защита расплавленного металла от воздуха; 2) химический — введение в расплавленный металл химических элементов, удаляющих азот в виде химических соединений из металла шва в сварочный шлак.

Водород растворяется в железе тем больше, чем выше температура нагревания металла, но только до определенной величины.

При охлаждении металла шва водород в виде атомов и ионов выделяется из раствора. С течением времени в процессе охлаждения этот водород за счет диффузии может собраться в микронесплошностях, перейти в молекулярное состояние, что повышает внутреннее давление в несплошности и приводит к трещинам (флокены, рыбы глаза). Для борьбы с растворенным водородом прибегают к дегазации металла медленным охлаждением сварных узлов в специальных камерах или вакуумированием сварных изделий.

Источниками водорода при сварке являются воздух, влага в сварочных материалах и ржавчина.

Применяют два способа борьбы с водородом: 1) физический — защита зоны дуги от компонентов, содержащих водород (сушка и проковка материалов, удаление ржавчины, защита дуги от воздуха и др.); 2) химический — перевод водорода из растворимого состояния в нерастворимое, что достигается, например, химической реакцией $[H] + (F) \rightarrow (HF)$, где фтористый водород HF улетучивается из сварочной ванны.

§ 61. Рафинирование металла шва

Удаление избыточного количества вредных примесей и газов из металла шва называют рафинированием металла. Обычно в сталях вредными примесями и газами являются кислород, азот, водород, сера, фосфор и др. (если рассматривать легированные стали). Рафинирование выполняют с помощью

окислительно-восстановительных химических реакций, офлюсованием, медленным охлаждением, вакуумированием и др. Существенную роль в очищении металла шва от вредных примесей приносит офлюсование (флюсование). Некоторые минералы и вещества (например, плавиковый шпат CaF_2 , рутил TiO_2 и др.) при высоких температурах обладают свойством растворять в себе некоторые вредные неметаллические включения и образовывать с ними легкоплавкую смесь, которая всплывает наверх и переводит вредные вещества из сварочной ванны в шлак.

Рафинирование металла от серы называют десульфурацией (обессериванием). Сера снижает механическую прочность, вызывает горячие трещины. Отрицательное влияние серы на свойства стали сказывается при ее содержании более 0,01%.

Сера имеет высокую склонность к ликвации — выпадению из раствора в виде сульфида железа FeS . При кристаллизации металла шва из-за низкой температуры плавления примеси серы заполняют в виде жидкости пространство между кристаллитами и от растягивающих напряжений, возникающих в процессе усадки металла шва, образуются горячие трещины в швах.

Снижение прочности стали при высоких температурах серой называют красноломкостью стали. Явление красноломкости существенно ослабляется введением в металл элементов, обладающих большим сродством к сере, чем железо; тогда образуются тугоплавкие и малорастворимые сульфиды, которые поднимаются из сварочной ванны в сварочный шлак или образуют тугоплавкие сульфиды по границам кристаллитов, но не вызывают горячих трещин. Химическими элементами, которые образуют малорастворимые сульфиды, являются марганец, алюминий и др., они же (MnS , Al_2S_3) могут снижать прочность металла шва.

Лучший способ борьбы с серой — процесс десульфурации, протекающий по реакции $[\text{FeS}] + [\text{CaO}] \rightarrow (\text{CaS}) + [\text{FeO}]$.

Оксид кальция CaO получают разложением мрамора CaCO_3 на CaO и CO_2 . В состав мраморного порошка вводят до 10% от количества мрамора фтористого

кальция CaF_2 , который ускоряет разложение CaCO_3 на CaO и CO_2 и сам процесс десульфурации.

В последнее время при сварке сталей с повышенным содержанием серы в защитный газ добавляют кислород, необходимый для окисления серы по формуле $[\text{S}] + (2\text{O}) \rightarrow (\text{SO}_2)$, где газ SO_2 улетучивается из сварочной ванны в атмосферу.

Рафинирование металла от фосфора называют дефосфорацией (обесфосфориванием) металла. Фосфор в сталях большинства марок является вредной примесью. Он выделяется по границам зерен металла в виде относительно легкоплавких фосфидов железа Fe_3P ($T_{\text{пл}} = 1170^\circ\text{C}$). В результате снижается пластичность металла, особенно ударная вязкость при низких температурах, такое явление называют хладноломкостью стали. Особенно отрицательное влияние фосфор оказывает на сталь с содержанием углерода 0,1% и более и кремния 0,5% и более.

С кислородом фосфор образует P_2O_5 (фосфорный ангидрид); температура плавления и кипения P_2O_5 соответственно 569 и 590°C .

Дефосфорация металла шва протекает по реакции $[\text{P}_2\text{O}_5] + (\text{CaO})_3 \rightarrow (\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8)$ плюс нейтральные добавки, обычно плавиковый шпат. Тогда фосфаты кальция $\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8$ будут разжижены и поднимутся в сварочный шлак.

§ 62. Кристаллизация металла шва и образование трещин

Кристаллизацией называется процесс образования зерен из расплавленного металла при переходе его из жидкого состояния в твердое. Различают первичную и вторичную кристаллизации. Первичная кристаллизация протекает при высоких скоростях охлаждения и перехода металла из жидкого состояния в твердое. Вторичная кристаллизация начинается с распада первичной структуры в результате структурных превращений и заканчивается при низких температурах образованием устойчивых нераспадающихся микроструктур.

Температуры, при которых происходят первичная и вторичная кристаллизации стали, и характер образующейся при

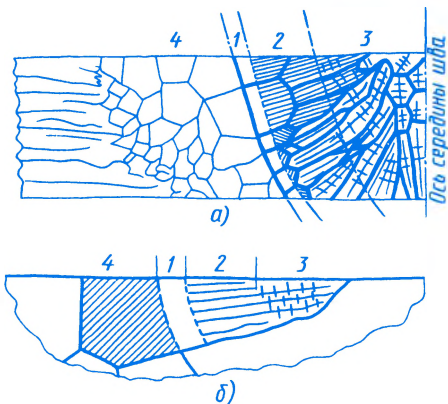


Рис. 96. Типы кристаллической структуры сварного металла:

a – макроструктура основного и сварного металла, *б* – фрагмент структуры части металла шва; 1 – участок послыоного роста (гладкий фронт кристаллизации), 2 – ячеистая кристаллизация, 3 – ячеисто-дендритная кристаллизация, 4 – оплавленные зерна основного (свариваемого) металла

этом структуры металла в зависимости от содержания углерода определяют по диаграмме состояния железо – углерод.

Процесс кристаллизации состоит из двух стадий: образование центров кристаллизации или зародышей (зачатков); рост кристаллов вокруг этих центров.

Различают самопроизвольное и несамопроизвольное зарождение кристаллов. В первом случае образование зародышей и позднее кристаллов происходит только в высокочистом жидком металле. Образование зародышей кристаллизации объясняют тем, что при переохлаждении жидкости (имеется разность между температурой плавления и действительной температурой жидкости) самопроизвольно создаются устойчивые группировки атомов, некоторые из которых становятся зародышами кристаллизации. Во втором случае кристаллизация начинается с готовых центров кристаллизации. Такими центрами могут быть мелкие тугоплавкие твердые частицы, находящиеся во взвешенном состоянии в жидкости (их называют модификаторами) или на стенках, соприкасающихся с кристаллизующейся жидкостью.

Растущие кристаллы в металловедении принято называть кристаллитами. Кристаллиты растут по различным схемам – послыоный рост, ячеистый, дендритный и ячеисто-дендритный (рис. 96).

В технически чистых металлах швов преобладает ячеистая структура. Ячеистая структура представляет собой ряд параллельных игл (ячеек), вытянутых в направлении кристаллизации (в направлении отвода теплоты) и имеющих поперечный размер ячейки $10^{-5} - 10^{-6}$ см; границы ячеек образованы скоплением примеси (рис. 96, б). Продвигаясь в расплав (к центру сварочной ванны) ячейки укрупняются. На ячейках могут появиться ветви второго порядка – ячеистый рост сменяется дендритным.

При дендритной кристаллизации (дендрон по-гречески – дерево) первоначально вырастает ствол (ось первого порядка). От этого ствола под углом к нему возникают и растут ветви (оси второго порядка), от которых могут быть ветви (оси третьего порядка). Одновременно с образованием осей кристаллизации идет заполнение жидким металлом (расплавом) пространства между осями дендрита.

При однопроходной сварке металл шва имеет столбчатое строение. Столбчатый кристаллит в металле шва, выполненном дуговой сваркой за один проход дуги, может представлять собой группу ячеек и дендритов. Образование только ячеистой или дендритной или ячеисто-дендритной макроструктуры зависит от чистоты сварочной ванны, распределения при кристаллизации загрязняющих примесей, скорости охлаждения и т. д.

В случае смешанной структуры ячейки появляются не от самой границы сплавления с основным металлом, а на некотором расстоянии от нее, затем возникает переход от ячеистой структуры к структуре дендритов.

В зависимости от условий сварки размеры столбчатых кристаллитов изменяются в достаточно широких пределах, при дуговой сварке их размер обычно равен 0,3–3 мм в поперечном сечении. У корня шва расположены наиболее мелкие кристаллиты, ближе к центру шва – крупные со смешанной структурой.

Готовыми центрами кристаллизации металла многослойного шва являются частично оплавленные зерна столбчатых кристаллитов предыдущего слоя шва. Видимая граница между слоями шва исчезает.

Химический состав металла шва внутри каждого кристаллита при сварке сталей является неодинаковым. Участки кристаллитов, образовавшиеся в конце процесса кристаллизации (например, вверху шва при однопроходной сварке), загрязнены примесями в большей степени, чем первые затвердевшие участки кристаллитов (например, расположенные в корне шва). Это называется внутрикристаллитной химической неоднородностью. Межкристаллитная химическая неоднородность — это количественно различное накопление примесей по границам кристаллитов.

Кристаллизация металла сварных швов имеет прерывистый характер. Под действием сил, появляющихся в процессе сварки и переменной скорости кристаллизации, металл шва имеет слоистый характер расположения примесей при любых условиях сварки (рис. 97). Чем сильнее теплоотвод и меньше объем жидкого металла, тем тоньше кристаллизационный слой. Кристаллизационные слои в любом сечении шва могут быть рассмотрены на специально подготовленных макрошлифах. Такой вид химической неоднородности называют макрон неоднородностью шва.

Одним из наиболее опасных дефектов металла сварных швов и околошовной зоны являются горячие трещины, образующиеся по границам кристаллитов на завершающем этапе затвердевания (кристаллизационные трещины). Эти трещины образуются под влиянием загрязнений металла шва и детали. Большинство загрязнений имеют более низкую температуру плавления, чем железо (например, сульфид железа имеет температуру плавления 1190°C). Поэтому загрязнения при охлаждении металла шва относительно долгое время находятся между кристаллитами (или зернами) в жидком и твердо-жидком состоянии и не могут сопротивляться растягивающим силам, возникающим в сварном соединении в процессе усадки металла шва, трещины по границам кристаллитов (или зерен), в местах залегания легкоплавких загрязнений становятся неизбежными.

Форма шва влияет на расположение загрязнений, неметаллических включений

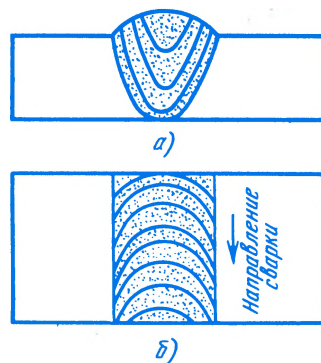


Рис. 97. Кристаллизационные слои в шве: а — поперечное сечение стыкового соединения, б — внешний вид (чешуйчатость) шва

и, следовательно, на различную вероятность образования горячих трещин. В широких и неглубоких швах опасные включения вытесняются вверх, в сварочный шлак; в узких и глубоких швах включения часто остаются между кристаллитами (или зернами).

Наряду с горячими трещинами бывают холодные. Холодные трещины как в металле швов, так и в основном свариваемом металле возникают под влиянием водорода, мартенситного превращения и от выпадения с течением времени из раствора частиц сульфидов, фосфидов, нитридов и др.

Мартенситное превращение идет с увеличением объема, что вызывает появления внутренних напряжений и трещин.

Атомарный водород, выпавший при охлаждении металла из раствора, соединяется в молекулы с образованием внутризеренного давления, что усиливает образование трещин в мартенситной или бейнитной структуре.

Выпадающие из раствора некоторые частицы, указанные выше, тоже вызывают внутренние напряжения и трещины.

§ 63. Строение сварного соединения

Соединение, выполняемое сваркой плавлением, состоит из четырех зон: первая — металл шва, вторая — зона плавления, третья — зона термического влияния и четвертая — основной металл (рис. 98).

Основной металл — металл соединяемых частей.

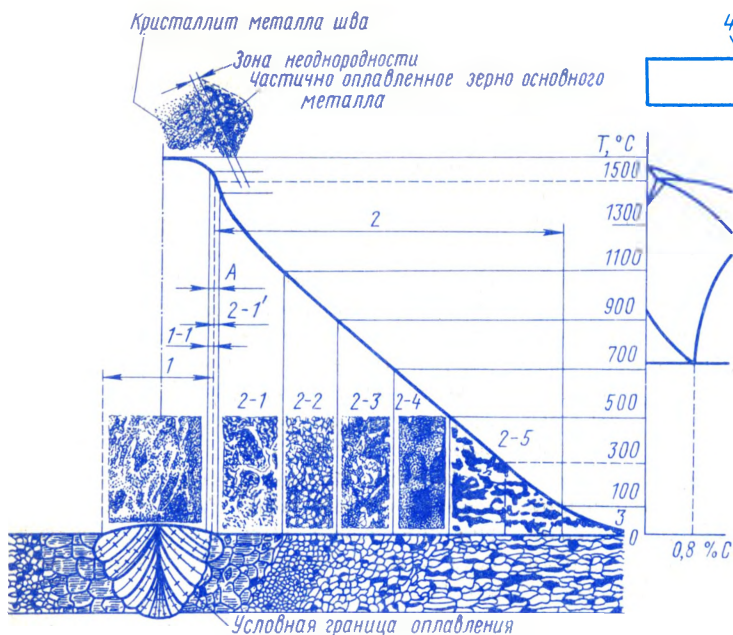


Рис. 98. Зоны сварного соединения:

1 — металл шва, 2 — зона сплавления, 3 — зона термического влияния, 4 — основной металл

Рис. 99. Строение стыкового соединения, выполненного дуговой сваркой из низкоуглеродистой стали за один проход дуги:

1 — ширина металла шва, 2 — зона термического влияния, А — зона сплавления (неоднородности), участки: 2-1 перегрева, 2-2 — полной перекристаллизации, 2-3 — неполной перекристаллизации, 2-4 — рекристаллизации, 2-5 — старения; 1-1 — микроучасток интенсивной диффузии металла шва, 2-1' — интенсивность диффузии зоны влияния

Зона термического влияния — участок основного металла, неподвергшийся расплавлению, структура и свойства которого изменяются в результате нагревания и пластической деформации при сварке.

Под металлом шва понимают сплав, образованный переплавленным основным и наплавленным металлами или только переплавленным основным металлом.

Зона сплавления — металл, сосредоточенный по бокам границы между основным металлом и металлом шва (1-1 на рис. 99). В ней сосредоточены химическая неоднородность, диффузионные процессы и концентрация структурных напряжений, что является результатом плохого перемешивания в пограничном слое металла сварочной ванны и основного металла. В зоне сплавления металл отличается от соседних металлов химическим составом и механическими свойствами.

Толщина зоны сплавления выражается микронами, но по значению при определении работоспособности сварных соединений ее роль очень велика. В этой зоне наиболее часто возникают трещины и несплавления разнородных плохо сваривающихся металлов.

Считают, что химическая неоднородность, возникающая в металле зоны сплавления, приводит к высоким структурным напряжениям, а отсюда и к трещинам.

§ 64. Микроструктура металла в зоне термического влияния

В зоне термического влияния сварного соединения низкоуглеродистой стали и низколегированной горячекатаной стали различают следующие участки (рис. 99): перегрева, полной перекристаллизации, неполной перекристаллизации, рекристаллизации и старения.

На участке перегрева происходит рост аустенитного зерна. В результате нагревания металла до высоких температур поверхность перегретых зерен может превышать поверхность начальных (до нагревания) зерен в 16 раз при ацетиленокислородной и в 12 раз при дуговой сварке. Перегрев снижает механические свойства стали, главным образом пластичность и сопротивление ударным нагрузкам. Эти свойства тем ниже, чем крупнее зерна и шире участок перегрева.

На участке перегрева находится микроучасток интенсивной диффузии

и химической неоднородности 2—1, который захватывает часть оплавленных зерен основного металла. Поэтому иногда этот микроучасток рассматривают как самостоятельный участок зоны термического влияния и называют участком неполного расплавления.

По мере удаления от шва температура металла понижается. В пределах температур 900—1100 °С находится участок полной перекристаллизации с мелкозернистой структурой. Здесь происходит аустенитное превращение с образованием мелких зерен. Поэтому получаемый при сварке металл на данном участке будет обладать более высокими механическими свойствами.

При температуре нагревания 723—900 °С (между двумя критическими точками) происходит неполная перекристаллизация; наряду с крупными зернами в этом участке остаются и более мелкие, полученные от перекристаллизации. По прочности металл этого участка занимает промежуточное положение между металлом на участке полной перекристаллизации и основным металлом.

Участок, нагретый от 500 до 723 °С, называется участком рекристаллизации; в нем структура стали по составу не изменяется, а происходит лишь восстановление прежней формы и размеров зерен, деформированных при холодной прокатке металла. Если до сварки основной металл не подвергался холодной пластической деформации, то процесс рекристаллизации происходит не будет.

На участке, нагретом ниже 500 °С, структура стали, выявленная оптическим микроскопом, не отличается от струк-

туры основного металла. Однако сталь, нагретая от 100 до 500 °С, обладает пониженными механическими свойствами, что объясняется выпадением из твердого раствора чрезвычайно мелких частиц различных примесей, располагающихся в основном по границам зерен. Это явление называют старением металла. Металл становится хрупким. Кроме того, снижение пластичности происходит под влиянием образующихся от сварки пластических деформаций в сварных соединениях. Для низкоуглеродистой стали это соответствует температурам нагрева сварных соединений неограниченных размеров от 100 °С.

Ширина зоны термического влияния зависит прежде всего от погонной энергии при сварке. При ручной сварке она составляет 5—6 мм, при газовой доходит до 25 мм.

Прочность металла шва, металла в зоне сплавления, металла в зоне термического влияния и основного металла всегда неодинаковая. Поэтому такое сварное соединение можно рассматривать как неоднородное тело.

Контрольные вопросы

1. В чем заключаются особенности металлургии сварки?
2. Какие вещества растворяются в жидком железе?
3. Назовите способы борьбы с загрязнениями при сварке и их сущность.
4. Объясните сущность процесса кристаллизации металла шва.
5. Нарисуйте строение сварного соединения, выполненного сваркой плавлением.
6. Назовите участки зоны термического влияния в сварном соединении.
7. Расскажите о причинах образования трещин в сварных соединениях.

ГЛАВА XII. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

§ 65. Механические испытания сварных соединений

Механические испытания металла разделяют на три вида:

статические, когда нагрузка на испытываемый образец плавно возрастает;

динамические, когда нагрузка прилагается мгновенно, ударом;

на усталость, когда на испытываемый образец прилагаются переменные по величине или направлению силы (циклическая нагрузка).

Испытания проводят на стандартных

образцах, вырезанных непосредственно из контролируемой конструкции или от специально сваренных для проведения испытаний контрольных соединений.

При сварке контрольных соединений условия подготовки под сварку, состав основного металла и сварочных материалов, режимы сварки и термообработки должны быть такими, как при сварке контролируемой конструкции. В случае термической вырезки заготовок для образцов следует предусматривать припуск на удаление из рабочей части образца зоны металла с измененными свойствами.

Клеймение проб, контрольных соединений и готовых образцов производят любым способом так, чтобы клеймо располагалось вне рабочей части образца и сохранялось на нем после испытания.

Виды механических испытаний наплавленного металла, металла различных участков сварного соединения и сварного соединения в целом на образцах с использованием статической и динамической нагрузками установлены ГОСТ 6996–66. Испытание металла на устойчивость проводят согласно ГОСТ 2860–65.

ГОСТ 6996–66 предусмотрено семь видов механических испытаний.

1. Испытание металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла на статическое растяжение проводится на круглых образцах для определения предела текучести, временного сопротивления, относительного удлинения и сужения после разрыва. Образцы изготовляют пяти типов I, II, III, IV, V, отличающихся формой (имеются две формы), диаметром (3; 6; 10 мм в рабочей части) и другими размерами. Внешний вид цилиндрических образцов типов I, II, III приведен на рис. 100. Допускается применение пропорциональных коротких цилиндрических образцов другого диаметра по ГОСТ 1497–73.

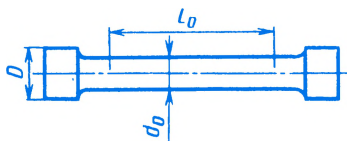


Рис. 100. Цилиндрический образец типа I, II, III для испытания на статическое растяжение с основными размерами, мм:
 $d_0 = 3; 6; 10$; $D = 6, 12; 16$; $l_0 = 10; 30; 50$

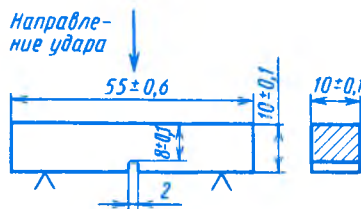


Рис. 101. Образец типа VI для испытания на ударный изгиб

Для испытания при повышенной температуре применяют образцы типов IV и V. Подробная методика проведения испытаний металла на статическое растяжение при нормальной температуре предусмотрена ГОСТ 1497–73.

2. Испытание металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла на ударный изгиб (на надрезанных плоских образцах) проводится для определения ударной вязкости металла шва, околошовной зоны (в различных участках) и наплавленного металла.

Стандартом предусмотрено несколько типов образцов, отличающихся толщиной металла: от 11 мм и выше – образцы типов VI и IX, от 6 до 11 мм – VII и X, от 2 до 6 мм – VIII и XI; формой надреза: полукруглый – в образцах типов VI, VII и VIII, треугольником – IX, X и XI; различной шириной образца по его сечению: 10 мм в образцах типов VI, VII, IX, X и 8 мм в образцах VIII и XI; различной глубиной надреза: у образцов с полукруглым надрезом типа VI – 2; 3; 5 мм, у образцов с надрезом треугольником под углом 45 типов IX, X, XI – 2 мм. Внешний вид распространенного образца типа VI показан на рис. 101.

При вырезке образцов типов VI и IX из листов толщиной 11 и 12 мм и образцов типов VII из листов толщиной 6 мм допускается наличие необработанного слоя металла на поверхности образца. Поверхность основного металла в образцах типов VIII и XI не обрабатывают.

Образцы различных типов дают несравнимые между собой результаты испытаний.

Подробная методика испытания образцов на ударную вязкость указана в ГОСТ 9454–78.

В зависимости от цели испытания надрез в образце располагается по оси шва, зоне сплавления или на различных участках зоны термического влияния. После испытания образца на ударный изгиб исследуется структура излома для определения дефектов металла сварного соединения и процента кристалличности.

3. Испытание металла различных участков сварного соединения на стойкость против механического старения проводят на плоских образцах, предназначенных для испытания на ударный изгиб. Образцы изготовляют из металла, подвергавшегося механическому старению (статическое растяжение в машине до 10%, затем равномерное нагревание в печи в течение 1 ч при температуре 250 °С и охлаждение на воздухе).

4. Измерение твердости металла различных участков сварного соединения проводят на приборах Виккерса, Роквелла (шкалы А, В, С) и Бринелля. Обычно измеряется на шлифах: для стыковых соединений в продольном направлении и по оси высоты шва, а также вдоль сплавления металла шва с основным металлом; для угловых швов — по зоне сплавления, по биссектрисе и от биссектрисы к катетам.

При сварке низкоуглеродистой стали колебания твердости металла в различных участках сварного соединения незначительны. При сварке закаливающейся стали колебания достигают значительной величины. Это показывает на необходимость термической обработки сварного изделия, улучшения однородности свойств и его повышенной работоспособности.

5. Испытанием сварных соединений на статическое растяжение определяют прочностью наиболее слабого участка стыкового или нахлесточного соединения и прочность металла шва в стыковом соединении; испытанию подвергаются плоские и круглые образцы.

Плоские образцы типов XII и XIII изготовляют со снятым усилением шва. Разрешается производить испытания образцов типов XII и XIII без снятия утолщения. В случае если мощность разрывной машины недостаточна, то разрешается проводить испытания на плоском образце типа XV (рис. 102).

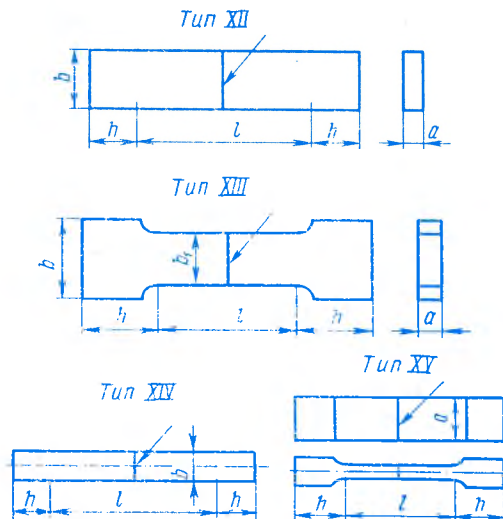


Рис. 102. Различные типы образцов, предназначенных для испытаний сварных соединений на статическое растяжение:

b — ширина, l — расчетная длина, h — величина захвата, a — толщина, b_1 — расчетная ширина

Круглые (цилиндрические) образцы изготовляют типов XVI и XVII. У образца типа XVII диаметр для захвата машинной равен 30 мм вместо 20 мм у образца типа XVI.

Испытание сварных стыковых соединений стержней проводят на образцах типа XIV. При недостаточной мощности разрывной машины разрешается круглый образец типа XIV заменять образцами типов XVI и XVII.

Для контроля прочности сварных соединений из труб применяют образцы типов XVIII и XIX. Максимальный диаметр трубы при испытании этих образцов определяется мощностью оборудования.

При недостаточной мощности разрывных машин разрешается при диаметре трубы более 60 мм испытывать стыковое соединение труб на образцах типов XII и XIII. Образцы не выправляют. Для этой же цели разрешается применять образцы типов I—V. Металл шва располагают посередине рабочей части образца.

Сварные соединения, выполненные точечными швами, испытывают на срез или на отрыв растяжением образца.

Определение прочности (временного сопротивления) металла шва в стыковом соединении проводится на образцах ти-

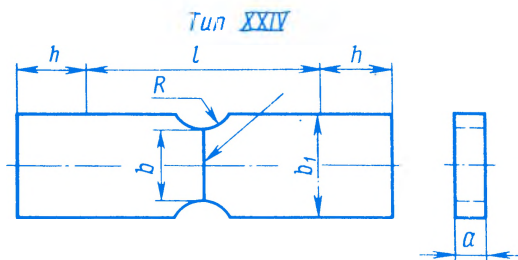


Рис. 103. Образец для определения прочности металла шва в стыковом соединении:

h — величина захвата, l — расчетная длина, b — расчетная ширина, b_1 — ширина образца, a — толщина

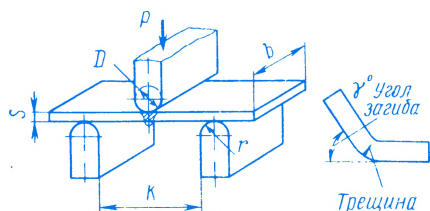


Рис. 104. Испытание образца на статический изгиб (загиб)

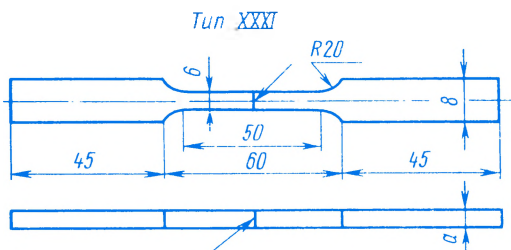


Рис. 105. Образец для испытания на ударный разрыв

пов XXIV (плоский, рис. 103) и XXV (круглый, с закруглением в центре образца, подобно образцу типа XXIV).

Временное сопротивление (МПа) определяют по формуле $\sigma_b = K(P/F)$, где K — поправочный коэффициент, P — максимальное усилие, Н; F — площадь поперечного сечения образца в наименьшем сечении до испытания, m^2 (mm^2).

Для углеродистых и низколегированных конструкционных сталей коэффициент K принимается равным 0,9. Для других металлов значение коэффициента K устанавливается соответствующей технической документацией.

6. Испытание сварного соединения на статический изгиб (загиб) проводят на плоских образцах, вырезанных из сварного соединения.

Испытание на изгиб с расположением шва показано на рис. 104.

Для толщин основного металла S до 5 мм и от 5 до 50 мм ширина образцов принимается равной $S + 15$ и $S + 30$; общая длина образца принимается $2,5D + 80$, где D — диаметр оправки, мм.

Усиление сварного шва снимается, грани образца на его среднем участке длиной не менее одной трети от длины образца спиливаются по радиусу. Диаметр оправки обычно принимают равным двум толщинам образца.

Испытание на изгиб определяет пластичность стыкового соединения при изгибе. Испытание ведут до появления трещины на месте перегиба. При отсутствии трещины испытание заканчивается загибом образца до параллельности сторон; в этом случае угол загиба образца равен 180° .

7. Испытание сварных соединений на ударный разрыв (рис. 105) проводится для сварных стыковых соединений листов толщиной до 2 мм (тип образца XXXI).

Испытания проводят на маятниковых копрах с приспособлением для закрепления плоских образцов.

Все виды перечисленных испытаний, кроме испытаний сварных соединений на статический изгиб и измерение твердости, проводят не менее чем на трех образцах. Испытание сварных соединений на статический изгиб проводят не менее чем на двух образцах, измерение твердости — не менее чем в пяти точках для каждого участка сварного соединения.

Результат по всем видам испытаний определяют как среднее арифметическое из результатов испытаний однотипных образцов.

Испытанию на усталость подвергается металл на специальных образцах (ГОСТ 2860—65) и на готовых сварных конструкциях.

Сопротивление металла циклической нагрузке характеризуется пределом выносливости, т. е. наибольшим напряжением, которое может выдержать металл без разрушения за большое число циклов (для стали принимают 10 циклов). Предел выносливости чаще определяется на вращающемся образце (гладком или с надрезом) с приложением изгибающей нагрузки.

Кроме стандартных цилиндрических образцов усталость металла определяют на сварной конструкции с помощью пульсаторов (вибраторов), позволяющих развивать мощное переменное усилие. В этом случае количественной оценкой прочности является число циклов, которое выдержала испытываемая конструкция до начала разрушения.

§ 66. Металлографические исследования металла различных участков сварного соединения

Металлографическим исследованием определяют макроскопическую и микроскопическую структуры металлов шва, зоны сплавления, зоны термического влияния и основного металла.

Структуру металла, видимую невооруженным глазом или с увеличением в 30 раз, называют макроскопической структурой (макроструктура). Структура металла, рассматриваемая с помощью оптического или электронного микроскопа, называется микроскопической (микроструктура).

Металлографические исследования проводят на макро- или микрошлифах. Шлиф представляет собой кусок вырезанного из сварного соединения металла со специально обработанной поверхностью, необходимой для металлографического исследования. Шлифы обычно вырезают любым способом поперек сварного соединения высотой 15–40 мм. Одну из плоских поверхностей будущего шлифа обрабатывают строганием и шлифованием для макроисследования и плюс полированием для микроисследования. Шлифование и полирование шлифов осуществляют на специальных станках или вручную наждачной специальной бумагой разных номеров в зависимости от применяемых реактивов, которыми подвергают травлению поверхность шлифа для обнаружения четкой структуры.

Подготовленные шлифы для исследования структуры перед травлением их реактивами протирают смоченной в спирте ватой и просушивают. Это необходимо для получения хорошего качества рассматриваемой структуры.

Металл шлифов травят химическим или электролитическим способами. При

химическом травлении контролируют температуру и время травления металла шлифа, при электролитическом — плотность тока, расстояние между электродами и время травления.

Шлифы на микроструктуру травят теми же реактивами, что и на макроструктуру, но меньшей концентрации.

Простой и достаточно распространенный реактив для травления макрошлифов из углеродистой стали состоит из 25 частей азотной кислоты и 75 частей по объему воды, травление происходит в течение 0,5–1,0 мин. при комнатной температуре. При травлении микрошлифов пользуются 10%-ной азотной кислотой, время травления снижается до 0,5 мин.

На макроструктуре четко выявляются зоны сварного соединения (шов, зона термического влияния), слои наплавленного металла, направленность кристаллитов, дефекты (непровары, трещины, поры, шлаковые включения) и др.

Исследованием под оптическим микроскопом (увеличение 50–3000 раз) удается определить величину и форму зерен, структурные составляющие (перлит и феррит, мартенсит и феррит и др.), неметаллические включения и другие дефекты в отдельных частях сварного соединения.

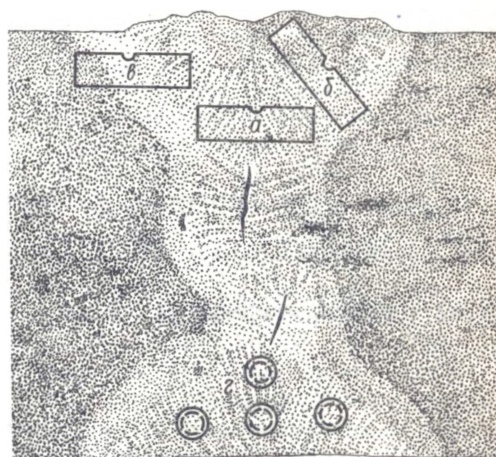


Рис. 106. Расположение образцов для определения механических свойств характерных участков сварного соединения:

а — на ударную вязкость вдоль кристаллитов, б — поперек кристаллитов, в — на участке перегрева зоны термического влияния, г — круглые разрывные образцы в металле шва

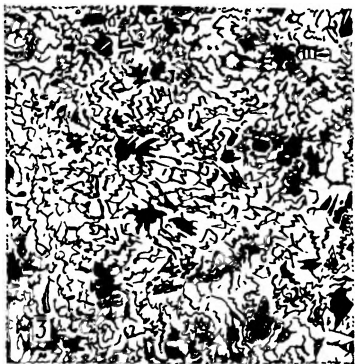


Рис. 107. Микроструктура стали марки ВСтЗсп3

Методика макро- и микроисследования металла приведена в ГОСТ 10243—75 и 5640—68. Примеры макро- и микро-структуры сварных соединений даны на рис. 106 и 107.

Определение в наплавленном металле скопления соединений серы, фосфора и оксидов железа основано на способе получения макроотпечатков со шлифа на фотографическую бумагу или пленку. Например, для выявления ликвации (скопления) серы в виде сульфида железа на приготовленный макрошлиф накладывают и плотно прижимают засвеченную фотографическую бумагу, предварительно выдержанную 5—8 мин в 5%-ном растворе серной кислоты. Через 3—5 мин бумагу снимают со шлифа и фиксируют. Все операции выполняют при дневном свете. Бромосеребряная бумага, соприкасаю-

щаяся с сернистыми включениями шлифа, окрашивается в коричневый цвет.

Для выявления соединений фосфора или оксидов железа в наплавленном металле применяются более сложные методы.

Определение внутренних дефектов засверливанием отверстий в швах основано на макроисследовании металла. Сверлом диаметром, равным ширине шва плюс 1,5 мм, сверлят по оси шва отверстия до корня шва. Для облегчения засверливания предварительно сверлят канавки сверлом меньшего диаметра. После засверливания поверхность отверстия зачищают и протравливают реактивом.

Осматривая отверстие невооруженным глазом или в лупу, выявляют дефекты. После контроля отверстие заваривают.

В настоящее время данный вид исследования засверливанием редко применяют из-за ряда его несовершенств; он почти вытеснен ультразвуковым контролем качества сварки.

Контрольные вопросы

1. Какие имеются виды механических испытаний металла?
2. Какие типы образцов изготавливаются для механических испытаний металла сварных соединений?
3. Как подготавливаются шлифы для исследования структуры металла?
4. Какие существуют составы реактивов для травления металлографических шлифов?
5. Как макроисследованием определить в наплавленном металле скопления соединений серы?

ГЛАВА XIII. РУЧНАЯ ДУГОВАЯ И ГАЗОВАЯ СВАРКА УГЛЕРОДИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

§ 67. Краткие сведения о сталях

Стали подразделяются на углеродистые и легированные.

Углеродистыми конструктивными называют стали, содержащие углерода 0,1—0,7%.

Легированными сталями называют стали на основе железа, содержащие один или несколько легирующих элементов и углерода до 0,5%.

Углеродистые стали поставляют по

ГОСТ 380—71 (углеродистая сталь обыкновенного качества), ГОСТ 1050—74 (углеродистая конструкционная качественная сталь), ГОСТ 23570—79 (сталь для строительных конструкций), ГОСТ 5521—76 (сталь для судостроения), ГОСТ 6713—75 (сталь для мостостроения) и др.

Углеродистая конструкционная сталь, идущая на сварные изделия, разделяется на низкоуглеродистую, среднеуглеродистую и высокоуглеродистую. К низкоуглеродистым сталям относят стали, не

закаливающиеся при дуговой и газовой сварке, содержание углерода в них не превышает 0,22%; в среднеуглеродистых сталях углерода равно 0,2–0,45% и в высокоуглеродистых 0,45–0,7%.

По основной структуре стали подразделяются на классы: перлитный, бейнитный, мартенситный, ферритный, аустенитный и карбидный.

Сталь машиностроительная в большинстве случаев относится к перлитному классу, сталь с особыми свойствами — к аустенитному, мартенситному или ферритному классам.

Углеродистая сталь обыкновенного качества по характеристике поставки подразделяется на три группы: А — механическим свойствам, Б — химическому составу и В — механическим свойствам и химическому составу. Согласно строительным нормам и правилам изготовления сварных изделий должно производиться из сталей группы В. Сталь группы В имеет шесть марок в зависимости от химического состава и механических свойств, степени раскисления и номера категории стали. Для сварных конструкций сталь группы В применяют в основном марок ВСт2 и ВСт3 всех степеней раскисления и всех номеров категорий. Расшифровка стали по названию марки следующая: ВСт3сп3 — сталь группы В, марки 3, спокойная (по раскислению), 3-й категории; ВСт3Гпс4 — сталь группы В, марки 3, с повышенным содержанием марганца, полуспокойная, 4-й категории; ВСт3кп — сталь группы В, марки 3, кипящая, 1-й категории.

Марки углеродистой конструкционной качественной стали обозначаются: 08, 10, 15, 20 и т. д., где цифры показывают среднее содержание углерода в стали в сотых долях процента.

Марки углеродистой свариваемой стали для строительных металлических конструкций обозначаются: 18кп, 18пс, 18сп, 18Гпс и 18Гсп, где цифры показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента (от 0,14 до 0,22%, а в марке 18Гсп от 0,14 до 0,20%), буква Г — содержание марганца от 0,80 до 1,10% и индексы кп, пс, сп означают — кипящая, полуспокойная и спокойная сталь.

Современное машиностроение и строительство невозможно без применения легированных сталей; они увеличивают надежность, долговечность и экономичность конструкции при меньшей массе и лучших эксплуатационных свойствах. Это особенно важно для комбинированных конструкций, собираемых из неоднородных металлов. Однако некоторые неоднородные металлы или вообще не способны соединяться сваркой, или технология их сварки очень сложна. В связи с этим большое значение в технологии сварки имеет понятие о свариваемости металлов.

Свариваемость — свойство металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия.

Сложность понятия свариваемости материалов объясняется тем, что при оценке свариваемости должна учитываться взаимосвязь сварочных материалов, материалов и конструкции изделия с технологией сварки. Показателей свариваемости много. Например, показателем хорошей свариваемости низкоуглеродистой стали в изделиях, работающих при статических нагрузках и цеховой температуре, является возможность получения сварных соединений равнопрочных с основным металлом без применения специальных технологических условий (предварительного подогрева, термообработки и др.).

Показателями свариваемости легированных сталей, предназначенных, например, для изготовления химической аппаратуры, является возможность получить сварное соединение, обеспечивающее специальные свойства — коррозионную стойкость, прочность при высоких или низких температурах.

При сварке разнородных металлов показателем свариваемости является возможность образования в соединении межзатомных связей. Металлы однородные соединяются сваркой без затруднений, тогда как некоторые пары из разнородных металлов совершенно не образуют в соединении межзатомных связей, например не сваривается медь со свин-

цом, затруднена сварка железа со свинцом, титана с углеродистой сталью, медью и т. д.

Важными показателями свариваемости металлов являются возможность избежания в сварных соединениях закаленных участков, трещин и других дефектов, отрицательно влияющих на работу сварного изделия.

При оценке свариваемости термически упрочненной стали важной характеристикой является ее склонность к разупрочнению (потере прочности) при сварке. Обычно разупрочнение происходит в зоне термического влияния на участке с температурами нагревания 400–720 °С в зависимости от температуры отпуска стали на металлургическом заводе в процессе ее изготовления (закалка плюс отпуск).

Все это показывает, что свариваемость металла зависит от состава металла, его физических свойств, технологии сварки (выбор присадочного материала, режима сварки и др.), формы и размеров изделия, условий эксплуатации. Единого показателя свариваемости металлов нет.

Свариваемость металлов носит комплексный характер, зависящий от ряда показателей прежде всего от свойств свариваемого металла.

При проектировании сварного изделия применяют различные методики и технологические пробы с целью определения свариваемости и проверки стойкости металла против образования трещин, перехода в хрупкое состояние, коррозии, износа и др.

Классификация углеродистых сталей по свариваемости. По признакам стойкости против образования трещин при соответствующей технологии сварки все стали с ферритно-перлитной и бейнитной структурами можно разделить ориентировочно на четыре группы: I – стали, не закаливающиеся при дуговой и газовой сварке и поэтому сваривающиеся без ограничений; II – стали, склонные к образованию закалочных микроструктур, но при правильно выбранной технологии сварки, без подогрева металла свариваются без появления их; III – стали, склонные к образованию закалочных

Таблица 18. Свариваемость перлитных сталей

Класс свариваемости	Стали	Условия сварки
I	Низкоуглеродистые, содержащие $C \leq 0,22\%$ (марки ВСтЗсп5, ВСтЗГпс5, 18кп, 18сп, 18Гпс, 18Гсп, 08, 10, 15 и др.)* Низколегированные низкоуглеродистые, содержащие $C \leq 0,14\%$ (марки 09Г2С, 10Г2С1, 10ХСНД, 12Г2СМФ, 12ГС и др.)	Свариваются без особых ограничений, независимо от толщины металла, температуры окружающего воздуха и жесткости изделия, в широком интервале режимов сварки
II	Углеродистые, содержащие 0,22–0,30% углерода (марки Ст4, 20, 25 и др.) Низколегированные низкоуглеродистые, содержащие 0,14–0,22% углерода (марки 15ХСНД, 14Г2АФ, 15Г2АФДпс, 16Г2АФ, 14ГСМФР и др.)	Свариваются с ограничениями по температуре окружающего воздуха (не ниже –5 °С), толщине (менее 20 мм) и жесткости при правильно выбранном в узком интервале режимов сварки
III	Углеродистые, содержащие 0,3–0,4% углерода (марки Ст5, 25, 35 и др.) Низколегированные среднеуглеродистые, содержащие 0,22–0,3% углерода (марки 18Г2АФ, 20ХГСА и др.)	Свариваются с предварительным или сопутствующим подогревом до 100–250 °С
IV	Теплоустойчивые стали (12ХМ, 15ХМ, 20ХМЛ, 12Х1МФ, 15Х1МФ и др.) Среднелегированные среднеуглеродистые (25ХГСА, 30ХГСА, 30ХГСНА, 30ХН2МФА, 20Х2МА и др.) Перлитные высоколегированные стали различных марок	Свариваются с подогревом и последующей термообработкой сварного изделия

* Свариваемость сталей может оцениваться и по эквивалентному углероду C_e , определяемому по формуле:

структур при сварке и сваривающиеся с подогревом для избежания появления этих структур; IV — стали, закаливающиеся при сварке и сваривающиеся с предварительным или с сопутствующим подогревом и немедленной термообработкой металла изделия после сварки (табл. 18).

§ 69. Сварка углеродистых конструкционных сталей

Низкоуглеродистые стали, содержащие до 0,2% углерода, сваривают при использовании типовых сварочных материалов. В зависимости от степени ответственности свариваемого изделия используются электродами типов Э38, Э42 и Э42А.

Электроды типа Э38 применяют для изготовления неответственных изделий, Э42 — для ответственных и Э42А — для особо ответственных изделий.

Для сварки изделий из толстых листов (15 мм) и в неудобных для сварщика положениях (монтажная сварка в строительстве) следует использовать электроды с повышенной прочностью наплавленного металла типов Э46 и Э46А. Это требование объясняется тем, что выполнение многослойных швов больших сечений в неудобных положениях трудно осуществить без дефектов. Гарантия прочности соединений достигается применением электродов, дающих повышенную прочность металла шва.

Швы, соединяющие низкоуглеродистые стали, выполненные всеми видами дуговой и газовой сварки, обладают вполне удовлетворительной стойкостью против образования трещин.

Среднеуглеродистые стали, содержащие от 0,2 до 0,45% углерода, сваривают с применением дополнительных технологических приемов так, чтобы при сварке не образовались трещины. Стали марок ВСт4 различной степени раскисления и различных категорий и марки 25 при неправильно выбранном тепловом режиме сварки могут образовать трещины, главным образом в угловых швах или в первом слое многослойного стыкового шва, сваренного без зазора между листами или в последних швах изделий, имеющих большую жесткость или если сварка

выполняется при низких температурах воздуха и др. Во всех этих случаях технологию сварки нужно строить для сталей указанных марок так, чтобы скорости охлаждения металла шва были бы по возможности небольшими.

Сталь марки Ст5 содержит от 0,29 до 0,37% углерода, поэтому свариваемость этой стали хуже свариваемости стали марки Ст4. Изделия из стали Ст5 нужно сваривать с дополнительным подогревом. Лучше всего дополнительный нагрев изделия производить одновременно по двум сторонам от оси шва на расстоянии 50–70 мм до температуры 100–200 °С: для листов толщиной порядка 15 мм температура подогрева составляет 100 °С; для более толстых — 200 °С.

Высокую стойкость металла шва против трещин и необходимые механические свойства сварного соединения обеспечивают покрытые электроды марок УОНИИ-13/45, УОНИИ-13/55, АНО-7, АНО-8, АНО-11 и др.

Более худшей свариваемостью обладают стали марок Ст6 и 40. Изделия из этой стали свариваются с подогревом, а после сварки подлежат термической обработке.

Из высокоуглеродистой стали ($C = 0,46 \div 0,70\%$) сварные конструкции, как правило, не изготовляют. Эта сталь применяется в литых деталях.

§ 70. Сварка низколегированных сталей

Легированные стали подразделяются на низколегированные (легирующих элементов в сумме менее 2,5%), среднелегированные (от 2,5 до 10%) и высоколегированные (более 10%).

Низколегированные стали делят на низколегированные низкоуглеродистые, низколегированные теплоустойчивые и низколегированные среднеуглеродистые.

Содержание углерода в низколегированных низкоуглеродистых конструкционных сталях не превышает 0,22%. В зависимости от легирования стали подразделяют на марганцовистые (14Г, 14Г2), кремнемарганцовистые (09Г2С, 10Г2С1, 14ГС, 17ГС и др.), хромокремнемарганцовистые (14ХГС и др.), марган-

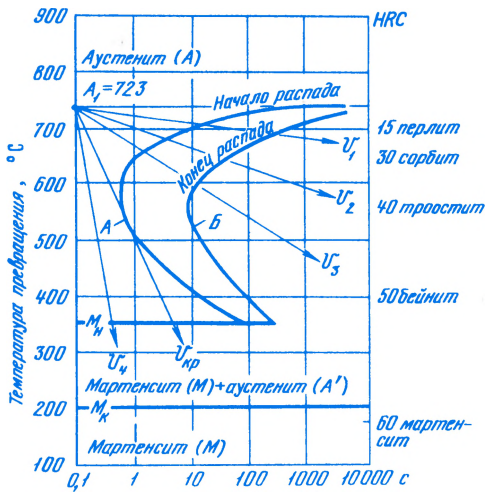


Рис. 108. Диаграмма изотермического (при постоянной температуре) распада аустенита низкоуглеродистой стали:

A – начало распада, B – конец распада, A_1 – критическая точка стали, M_n и M_k – начало и конец превращения аустенита в мартенсит; v_1, v_2, v_3, v_4 – скорости охлаждения с образованием различных типов структур

ценоазотнованадиевые (14Г2АФ, 18Г2АФ и др.), хромкремненикельмедистые (10ХСНД, 15ХСНД) и др. Временное сопротивление разрыву низколегированные низкоуглеродистые стали, горячекатаные имеют в пределах $(48 \div 90) \cdot 10^7$ Па.

Низколегированные теплоустойчивые стали обладают повышенной прочностью при высоких температурах эксплуатации. Они наиболее широко применяются при изготовлении паровых энергетических установок.

Низколегированные среднеуглеродистые (более 0,22% углерода) конструкционные стали (17ГС, 18Г2АФ, 35ХМ и др.) применяют обычно в термообработанном состоянии. Технология сварки этих сталей подобна технологии сварки среднелегированных сталей (см. § 71).

Особенности сварки низколегированной стали. Низколегированные стали сваривать труднее, чем низкоуглеродистые конструкционные. Низколегированная сталь более чувствительна к тепловым воздействиям при сварке. В зависимости от марки низколегированной стали при сварке могут образоваться закалочные структуры или перегрев в зоне термического влияния сварного соединения.

Структура металла в зоне термического влияния зависит от его химического состава, скорости охлаждения и длительности пребывания металла при соответствующих температурах, при которых происходит изменение микроструктуры и размера зерен. Если в доэвтектоидной стали получить нагревом аустенит (рис. 108), а затем сталь охлаждать с различной скоростью, то критические точки стали снижаются.

При малой скорости охлаждения получают структуру перлит (механическая смесь феррита и цементита). При большей скорости охлаждения аустенит распадается на составляющие структуры при относительно низких температурах и образуются структуры – сорбит, троостит, бейнит и при очень высокой скорости охлаждения – мартенсит. Наиболее хрупкой структурой является мартенситная, поэтому не следует при охлаждении допускать превращения аустенита в мартенсит при сварке низколегированных сталей.

Скорость охлаждения металла (особенно большой толщины) при сварке всегда значительно превышает обычную скорость охлаждения металла отливки на воздухе, вследствие чего при сварке легированных сталей возможно образование мартенсита.

Для предупреждения образования при сварке закалочной мартенситной структуры необходимо применять меры, замедляющие охлаждение зоны термического влияния (нужно применять подогрев изделия, многослойную сварку с малым интервалом времени между наложениями слоев металла в шов и др.). Оказывается, что при высоких температурах эксплуатации изделий для повышения сопротивления ползучести (деформирование металла изделия при высоких температурах с течением времени) можно иметь в металле крупнозернистую структуру. Но металл с очень крупным зерном обладает пониженной пластичностью и поэтому размер зерен в таких случаях ограничивают.

При эксплуатации изделий в условиях низких температур ползучесть исключается и необходима мелкозернистая структура металла, обеспечивающая увеличенную прочность и пластичность.

Покрытые электроды и другие сварочные материалы при сварке низколегированных сталей подбираются такими, чтобы содержание углерода, серы, фосфора и вредных элементов в них было ниже по сравнению с материалами, предназначенными для сварки низкоуглеродистых конструкционных сталей. Этим самым удается увеличить стойкость металла шва против кристаллизационных трещин, так как низколегированные стали в значительной степени склонны к их образованию.

Основы технологии сварки низколегированной стали. Низколегированные низкоуглеродистые стали 09Г2, 09Г2С, 10ХСНД, 10Г2С1 и 10Г2Б при сварке покрытыми электродами не закаляются и мало склонны к перегреву. Сварку этих сталей производят по технологии аналогичной технологии сварки низкоуглеродистой стали.

Для обеспечения равнопрочности соединения ручную сварку выполняют электродами типов Э46А и Э50А. Твердость и прочность околошовной зоны практически не отличаются от основного металла.

Низколегированные низкоуглеродистые стали 12ГС, 14Г, 14Г2, 14ХГС, 15ХСНД, 15Г2Ф, 15Г2СФ, 15Г2АФ при сварке могут образовать закалочные микроструктуры и перегрев металла шва и в зоне термического влияния. Количество закаляющихся структур резко уменьшается, если сварка выполняется с относительно большой погонной тепловой энергией, необходимой для уменьшения скорости охлаждения сварного соединения. Однако снижение скорости охлаждения металла при сварке приводит к укрупнению зерен (перегреву) металла шва и околошовного металла вследствие повышенного содержания углерода в этих сталях. Это особенно касается сталей 15ХСНД, 14ХГС. Стали 15Г2Ф, 15Г2СФ и 15Г2АФ менее склонны к перегреву в околошовной зоне, так как они легированы ванадием и азотом. Поэтому сварка большинства указанных сталей ограничивается более узкими пределами тепловых режимов, чем сварка низкоуглеродистой стали.

Режим сварки необходимо подбирать так, чтобы не было большого количества

закалочных микроструктур и сильного (очень крупных в большом количестве зерен) перегрева металла. Тогда можно будет производить сварку стали любой толщины без ограничений при окружающей температуре не ниже минус 10°С. При более низкой температуре окружающего воздуха необходим предварительный подогрев до 120–150°С. При температуре ниже минус 25°С сварка изделий из закаляющихся сталей запрещается.

Для предупреждения большого перегрева сварку сталей 15ХСНД и 14ХГС следует проводить на пониженной погонной тепловой энергии (при пониженных значениях тока электродами меньшего диаметра) по сравнению со сваркой низкоуглеродистой стали.

Для обеспечения равнопрочности основного металла и сварного соединения при сварке сталей 15ХСНД и 14ХГС надо применять электроды типа Э50А или Э55.

Технология сварки низколегированных среднеуглеродистых сталей 17ГС, 18Г2АФ, 35ХМ и других подобна технологии сварки среднелегированных сталей.

§ 71. Сварка среднелегированных сталей

Среднелегированные стали (ГОСТ 4543–71) обладают высоким значением временного сопротивления разрыву (600–2000 МПа) и высокой стойкостью против перехода в хрупкое состояние; поэтому их применяют для конструкций, работающих при низких или высоких температурах, при ударных или знакопеременных нагрузках, в агрессивных средах и в других тяжелых условиях.

Среднелегированные стали (20ХГСА, 25ХГСА, 30ХГСА, 30ХГСНА, 30ХН2МФА и др.) чувствительны к нагреву, при сварке они могут закаляться, перегреваться, образовывать холодные трещины, что затрудняет их сварку. Чем выше содержание углерода и легирующих примесей и чем толще металл, тем хуже свариваемость этих сталей.

Эти стали свариваются покрытыми электродами с основным покрытием на постоянном токе с обратной полярностью, швы выполняются много-

слоиные каскадным и блочным способами. Технология сварки должна предусматривать низкие скорости охлаждения металла шва. Существенно способствует предупреждению трещин в металле повышение его температуры более 150 °С. Длина ступени каскадной сварки должна выбираться из расчета указанного разогрева металла предыдущего слоя шва перед наложением последующего слоя шва. Обычно длина ступени сварки составляет 150–200 мм.

Марки покрытых электродов при сварке среднелегированных сталей (ВИ9-6, ВИ12-6, НИАТ-3М и др.) выбирают в зависимости от вида термической обработки сварного соединения.

§ 72. Дуговая и газовая сварка легированных теплоустойчивых сталей

Теплоустойчивые стали по структуре подразделяются на стали перлитного класса (12МХ, 12Х1М1Ф, 20Х1М1Ф1ТР и др.) и стали мартенситного класса (15Х5, 15Х5М и др.).

Все теплоустойчивые стали поставляются потребителю после термической обработки (закалка плюс высокий отпуск; отжиг); рабочая температура изделий из сталей (трубы пароперегревателей, дегазы газовых турбин, трубы печей нефтезаводов и др.) не превышает 600 °С. Если некоторые изделия эксплуатируются при температуре выше 600 °С, то они изготавливаются из высоколегированной жаростойкой и жаропрочной стали (см. § 74).

Для дуговой сварки теплоустойчивой стали ГОСТ 9467–75 предусматривает девять типов электродов (Э-09М, Э-09МХ, Э-09Х1М, Э-05Х2М, Э-09Х2М1, Э-09Х1МФ, Э-10Х1М1НФБ, Э-10Х3М1БФ, Э-10Х5МФ).

Технологией сварки теплоустойчивой стали любой марки предусматривается предварительный или сопутствующий местный или общий подогрев свариваемого изделия, обеспечение по возможности структурной однородности металла шва с основным и термическая обработка сварного изделия.

Подогрев свариваемого изделия необходим для устранения в металле трещин от сварки.

Химическая однородность металла шва с основным нужна для исключения диффузионных явлений, могущих произойти при высоких температурах во время эксплуатации сварных изделий, так как перемещение химических элементов в процессе диффузии приводит к снижению длительности эксплуатации изделий.

С помощью термической обработки удается улучшить во всем сварном изделии микроструктуру металла. Однако для повышения длительности работы изделий нужно правильно выбрать и осуществить режим термической обработки. Лучшая термическая обработка сварных изделий из теплоустойчивой стали – закалка и высокий отпуск. На практике применяют только высокий отпуск или отжиг с нагревом до температуры около 780 °С.

Необходимый подогрев свариваемого изделия, а также термическая обработка сварных изделий производится, как правило, индукционным током промышленной или повышенной частоты. Время выдержки при максимальной температуре нагрева при отпуске берется из расчета 4–5 мин/мм толщины стенки; охлаждение сварного изделия до температуры предварительного подогрева (200–450 °С) должно быть медленным.

Для сварки теплоустойчивых сталей в монтажных условиях при невозможности подогрева и последующей термообработки применяются электроды марки АН-ЖР-2 (электроды конструкции института им. Е. О. Патона). В этом случае в металле шва содержание никеля будет не менее 31% и металл шва получит аустенитную структуру. Электроды пригодны для сварки во всех пространственных положениях. Широко используются для сварки теплоустойчивых сталей покрытые электроды серии ЦЛ (ЦНИИТмаш, легированные стали, например ЦЛ-14, ЦЛ-30 и др.), ТМЛ и др.

Сварку теплоустойчивых сталей покрытыми электродами производят на тех же режимах, что и сварку низколегированных конструкционных сталей. При сварке необходимо полностью проварить корень шва, для чего первый слой выполняют электродом диаметром 2–3 мм. Большая часть электродов требует сварки на постоянном токе обратной полярности.

Техника сварки теплоустойчивых сталей аналогична технике сварки низкоуглеродистых сталей. Многослойную сварку выполняют каскадным способом (без охлаждения каждого выполненного слоя шва).

Газовая сварка теплоустойчивых сталей иногда дает более работоспособные сварные изделия, чем дуговая сварка покрытыми электродами. При газовой сварке теплоустойчивых сталей мощность пламени составляет 100 дм³ ацетилена/ч на 1 мм толщины металла; сварку ведут только нормальным (восстановительным) пламенем. Присадочным металлом служит сварочная проволока марок Св-08ХМФА, Св-10ХМФТ, Св-10Х5М, Св-18ХМА и других в зависимости от марки свариваемой стали. В целях предотвращения выгорания легирующих примесей и образования микротрещин вначале кромки деталей «пролуживают» тонким слоем расплавленного металла и быстро заполняется форма подготовки жидким металлом. Присадочный металл должен находиться все время при сварке в сварочной ванне; пользоваться капельным приемом сварки нельзя во избежание выгорания легирующих элементов.

Газовая сварка стыков труб производится с предварительным подогревом всего стыка. Стык по периметру трубы можно нагревать той же горелкой, которой пользуются при выполнении шва. Техника сварки теплоустойчивых сталей аналогична технике сварки низкоуглеродистой стали. Термообработка сварного стыка необходима; ее можно выполнять сварочной горелкой, а еще лучше другой — более мощной в зависимости от диаметра толщины трубы и других условий.

§ 73. Сварка термически упрочненных сталей

Термической обработкой (чаще всего закалка плюс отпуск) повышают механические свойства как углеродистых, так и легированных конструкционных, теплоустойчивых, жаропрочных и других сталей (например, 10Г2С1, 09Г2С, 14Г2, 15ХСНД, 12Г2СМФ, 15Г2СФ, 15ХГ2СФР, 15Г2АФ, 15ХГСА и др.).

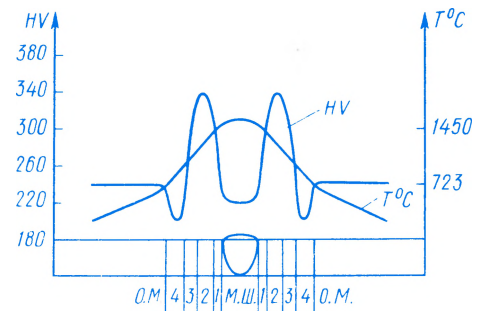


Рис. 109. Кривые изменения твердости HV в сварном соединении термически упрочненной стали:

М.Ш. — металл шва, 1, 2, 3, 4 — участки неполного расплавления (микроучасток неоднородности), закалки, неполной закалки, отпуска (разупрочнения), О.М. — основной металл

При содержании углерода более 0,12% термоупрочненные стали в процессе сварки образуют закалочные микроструктуры в зоне термического влияния, а также разупрочнение металла, если сварное соединение не подвергается после сварки термической обработке. Изменения твердости сварного соединения термически упрочненной стали даны на рис. 109. Из рисунка видно, что зона термического влияния при сварке упрочненной стали, склонной при сварке к закалке, разделяется на следующие участки: 1 — неполного расплавления или его еще можно называть микроучастком интенсивной диффузии и химической неоднородности части оплавленных зерен основного металла (см. § 64), 2 — закалки и перегрева с температурами нагрева выше 920–950 °С, 3 — неполной закалки с температурами нагрева от 720 до 920 °С, 4 — участок разупрочнения с температурами нагрева ниже 720 °С.

На участке закалки твердость металла будет максимальной, на участке неполной закалки твердость снижена. Самая низкая твердость по сравнению с другими участками, а также с основным металлом будет на участке разупрочнения. Участок разупрочнения — самое слабое место сварного соединения при работе его на статическую нагрузку.

Ширина участка разупрочнения влияет на работоспособность сварного соединения: она будет тем выше, чем меньше ширина этого участка. Ширина участка

разупрочнения зависит от скорости охлаждения.

Для снижения ширины разупрочненного металла, как и всей зоны термического влияния, следует применять режимы сварки с низкой погонной теплотой энергией.

Газовая сварка термически упрочненных сталей вызывает образование широкого участка разупрочнения, и она не может быть рекомендована, если нельзя выполнить последующую термическую обработку сварного изделия.

§ 74. Сварка высоколегированных сталей и сплавов

Высоколегированными называют стали, содержащие один или несколько легирующих элементов в количестве 10–55%.

Высоколегированными сплавами называют сплавы, содержащие в себе железа и никеля более 65% или никеля более 55%, остальное – при-меси.

По ГОСТ 5632–72 насчитывается 94 марки высоколегированных сталей и 22 марки высоколегированных сплавов. Несколько марок сталей и сплавов выпускается по различным техническим условиям.

Высоколегированные стали и сплавы классифицируют по различным признакам, главным образом по системе легирования, структуре и свойствам. По системе легирования высоколегированные стали делят на хромистые, хромоникелевые, хромомарганцовые, хромоникелемарганцовые и хромомарганцеазотистые.

По структуре высоколегированные стали подразделяют на стали мартенситного класса (15X5, 15X5M и др.), мартенситно-ферритного (15X6СЮ, 12X13 и др.), аустенитно-мартенситного (07X16H6, 08X17H5M3), аустенитно-ферритного (08X20H14C2 и др.) и аустенитного класса (03X17H14M2, 12X18H9 и др.). В некоторых аустенитных сталях никель, как дефицитный материал, частично или полностью заменяют марганцем и азотом.

По системе упрочнения высоколегированные стали и сплавы делят на карбидные, содержащие углерода 0,2–1,0%,

боридные (образуются бориды железа, хрома, ниобия, углерода, молибдена и вольфрама), с интерметаллидным упрочнением (упрочнение мелкодисперсными частицами).

По свойствам высоколегированные стали и сплавы подразделяют на коррозионностойкие (нержавеющие), обладающие стойкостью против любой коррозии – атмосферной, почвенной, щелочной, кислотной, солевой: межкристаллитной; жаростойкие (окалиностойкие), не окисляющиеся при высоких температурах нагрева (до 1300 °С); жаропрочные, способные работать при температурах выше 1000 °С в течение нормированного времени без снижения прочности.

Особенности сварки высоколегированных сталей и сплавов. По сравнению с низкоуглеродистыми сталями большинство высоколегированных сталей и сплавов обладают пониженным (в 1,5–2 раза) коэффициентом теплопроводности и увеличенным (в 1,5 раза) коэффициентом линейного расширения. Низкий коэффициент теплопроводности приводит при сварке к концентрации теплоты и вследствие этого к увеличению проплавления металла изделия. Поэтому для получения заданной глубины проплавления следует снижать величину сварочного тока на 10–20%. Увеличенный коэффициент линейного расширения приводит при сварке к большим деформациям сварных изделий, а в случае значительной их жесткости (относительно крупные изделия, повышенная толщина металла, отсутствие зазора между свариваемыми деталями, жесткое закрепление изделия при сварке) – к образованию трещин в сварном изделии.

Высоколегированные стали и сплавы более склонны к образованию трещин, чем низкоуглеродистые. Горячие трещины появляются большей частью в аустенитных сталях, холодные – в закаливающихся сталях мартенситного и мартенситно-ферритного классов. Кроме того, коррозионностойкие стали, не содержащие титана или ниобия или легированные ванадием, при нагревании выше 500 °С теряют антикоррозионные свойства по причине выпадения из твердого раствора карбидов хрома и железа, которые становятся центрами коррозии

и коррозионного растрескивания. Термической обработкой (чаще закалкой) можно восстановить антикоррозионные свойства сварных изделий. Нагревом до 850 °С ранее выпавшие из раствора карбиды хрома вновь растворяются в аустените, а при быстром охлаждении они не выделяются в отдельную фазу. Такой вид термообработки называют стабилизацией. Однако стабилизация приводит к снижению пластичности и вязкости стали.

Получение высокой пластичности, вязкости и одновременно антикоррозионности сварных соединений возможно нагревом металла до температуры 1000–1150 °С и быстрым охлаждением в воде (закалка).

Пути предотвращения трещин при сварке высоколегированных сталей: создание в металле шва двухфазной структуры (аустенит и феррит); ограничение в шве содержания вредных примесей (серы, фосфора, свинца, сурьмы, олова, висмута) и введение в металл таких элементов, как молибден, марганец, вольфрам; применение электродных покрытий основного и смешанного видов; создание изделию менее жесткого состояния при сварке.

С увеличением жесткости изделия при выполнении шва аустенитной стали необходимо увеличивать в металле шва содержание феррита от 2 до 10%. В этом случае пластичность металла шва по сравнению с аустенитным повышается и усадка (даже при жестком состоянии сварного изделия) происходит без образования трещин.

Применение электродов с основным или со смешанным покрытием, но с легированием металла шва молибденом, марганцем и вольфрамом придает металлу шва мелкозернистое строение. В этом случае пластические свойства металла возрастают и при усадке металла шва (и околошовного металла) горячие трещины в нем не возникают.

Для получения сварных соединений без трещин рекомендуется свариваемые детали собирать с зазором (рис. 110) и по возможности применять швы с низким проваром (коэффициент формы провара должен быть менее 2). Швы лучше выполнять тонкими электродами диаме-

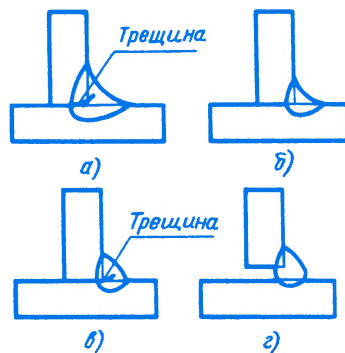


Рис. 110. Влияние коэффициента формы провара (а, б) и зазора в корне шва (в, г) на образование кристаллизационных трещин

тром 1,6–2,0 мм при минимальной погонной тепловой энергии.

Сварные соединения со структурой неоднородностью как после сварки, так и после термической обработки обладают меньшей прочностью по сравнению с прочностью основного металла. Кроме того, в сварных соединениях, работающих при высоких температурах, наблюдается диффузия между металлом шва и основным металлом, что приводит к появлению холодных трещин в околошовной зоне и в зоне сплавления. Поэтому выбор типа электрода при дуговой сварке различных марок высоколегированных сталей и сплавов должен быть строго обоснован.

Подогрев (общий или местный) до температуры 100–300 °С рекомендуется при сварке высоколегированных сталей и сплавов в зависимости от характера микроструктуры основного металла, содержания углерода, толщины и жесткости изделия. Для мартенситных сталей и сплавов подогрев изделия обязателен; для аустенитных сталей он применяется редко. Подогрев способствует более равномерному распределению температур по изделию в процессе сварки и охлаждению с меньшими скоростями, в результате чего не образуется концентрация усадочных деформаций в сварном соединении и трещины не возникают.

Перегрев (укрупнение зерен) металла шва и околошовного металла при сварке высоколегированных сталей и сплавов зависит от химического состава и микроструктуры, температуры нагрева и длительности пребывания металла при

высокой температуре. Обычно при сварке больше перегреваются однофазные ферритные стали.

Высоколегированные стали, содержащие углерода более 0,12% (17X18H9, 31X19H9MBBT, 36X18H25C2 и др.), свариваются с предварительным подогревом до 300 °С и выше с последующей термической обработкой сварных изделий.

Сварочная проволока, виды электродных покрытий и типы покрытых электродов для сварки. Для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами применяют сварочную проволоку, например марок Св-04X19H9, Св-05X19H9Ф3С2, Св-06X19H9Т — всего 41 марка по ГОСТ 2246—70.

Электроды берут с основными, рутилоосновными и рутилофлюоритно-основными покрытиями. Дуговая сварка аустенитных сталей электродами с основным покрытием приводит к науглероживанию металла шва, что вызывает снижение стойкости его против межкристаллитной коррозии. Науглероживание происходит за счет разложения мрамора, который содержится в большом количестве в этом покрытии. Науглероживание металла шва исключается при сварке аустенитной стали электродами с рутилоосновным покрытием (например, марки ОЗЛ-14), содержащего мрамора только 10% вместо 35—40% в электродах с основным покрытием (например, в электродах марки УОНИИ-13/НЖ).

ГОСТ 10051—75 предусматривает 49 типов покрытых электродов для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами, например Э-02X19H9Б, Э-04X20H9, Э-06X13Н, Э-08X14H65M15B4Г2, Э-10X20H70Г2M2B и др.

Каждый тип покрытого электрода включает одну или несколько марок электродов.

Условное обозначение покрытых электродов, предназначенных для дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами, выполняется по ГОСТ 9466—75 с дополнительными необходимыми сведениями на установление по ГОСТ 10052—75 группы индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва.

Газовая сварка аустенитных сталей

производится пламенем мощностью 70—75 дм³ ацетилена/ч на 1 мм толщины металла. Окислительное пламя при сварке не допускается, так как оно влечет выгорание хрома. Для присадки применяют сварочную проволоку марок Св-02X19H9Т, Св-08X19H10Б и других с минимальным содержанием углерода, легированную ниобием или титаном. При газовой сварке титан почти полностью выгорает и не может обеспечить стойкость металла шва против межкристаллитной коррозии. Кроме того, нержавеющие стали при температурах нагрева 500—850 °С с низкими скоростями охлаждения, которые сопутствуют газовой сварке, при распаде твердого раствора выделяют по границам зерен карбиды хрома, являющиеся центрами коррозии металла.

Диаметр проволоки выбирают приблизительно равным толщине основного металла при толщине листов 1—6 мм.

При сварке в большинстве случаев пользуются флюсами, например, марки НЖ-8 такого состава: 28% мрамора, 30% фарфора, 10% ферромарганца, 6% ферросилиция, 6% ферротитана и 20% двуоксида титана. Флюс разводится на жидком стекле и наносится на кромки деталей в виде пасты. Сварка производится после высыхания флюса.

Сварка двухслойных сталей. Двухслойные стали состоят чаще всего из низкоуглеродистой стали и покрывающего ее слоя коррозионной стали. В качестве антикоррозионного слоя применяют аустенитные стали марок 08X18H10Т, 08X17H13M3Т и подобных им. Дуговая сварка двухслойной стали по технике выполнения швов аналогична сварке однослойного металла. Чаще всего шов выполняется вначале со стороны углеродистой стали, затем наплавленный металл со стороны плакирующего слоя зачищается и сваривается уже плакирующей слой. Электроды по химическому составу должны быть однородны с металлом плакирующего, например для стали 08X17H16M3Т применяют электроды с покрытием марки НЖ-16 и проволоку марки Св-06X19H10M3Т.

Для сварки аустенитными электродами применяют постоянный ток обратной полярности.

§ 75. Основные требования безопасности труда при сварке углеродистых и легированных сталей

При сварке углеродистых и легированных сталей различного химического состава необходимо выполнять следующие требования безопасности.

1. Прежде всего при сварке сталей необходимо соблюдать требования, описанные в § 24.

2. При сварке покрытыми электродами с основным покрытием, в состав которого входит плавиковый шпат, требуется обеспечить от места сварки усиленный отвод сварочной пыли. В составе этой пыли находится фтористый водо-

род, отрицательно влияющий на здоровье человека.

3. Сварка стальных изделий, выполняемая с подогревом, должна выполняться с предосторожностью от возможных ожогов в случае соприкосновения человека с подогретым изделием.

Контрольные вопросы

1. Что такое свариваемость сталей?
2. Расскажите о свариваемости углеродистых сталей.
3. Какие затруднения встречаются при сварке легированных сталей?
4. Что такое разупрочнение стали при сварке?
5. Какими электродами пользуются при сварке аустенитных сталей?

ГЛАВА XIV. ГАЗОВАЯ И ДУГОВАЯ СВАРКА ЧУГУНОВ

§ 76. Свойства чугунов

Чугуном называют сплав железа с углеродом, содержащий от 2,14 до 6,7% углерода. Чаще всего применяются чугуны с содержанием от 2,6 до 3,6% углерода, до 5% кремния и до 2% марганца, далее идут примеси серы и фосфора. В специальные чугуны вводят легирующие добавки: никель, хром, молибден, ванадий, титан. В зависимости от состояния углерода и легирующих добавок в сплаве различают белые, серые, ковкие и высокопрочные чугуны.

Белый чугун имеет в изломе белый или светло-серый цвет; углерод в нем находится в химически связанном состоянии в виде карбида железа — цементита Fe_3C . Цементит хрупок, обладает высокой твердостью (800 НВ), поэтому и белый чугун имеет высокую твердость и хрупкость, не поддается механической обработке и ограниченно применяется в качестве конструкционного материала.

Серый чугун (ГОСТ 1412—79) имеет в изломе серебристый цвет, объясняемый содержанием части углерода в виде пластинчатого графита и части углерода в химически связанном состоянии в виде перлита.

Ковкий чугун получают из белого специальной термической обработкой

для повышения пластических свойств по сравнению со свойствами серого чугуна.

Высокопрочный чугун (ГОСТ 7293—79) содержит графит шаровидной формы, получаемый в результате добавления в сплав некоторых элементов (магний, церий и др.) и продувания через жидкий чугун азота.

Марки чугунов обозначаются: СЧ 10 (серый чугун с пределом прочности при растяжении 100 МПа и при изгибе 280 МПа); КЧ 30—6 (ковкий чугун с пределом прочности при растяжении не менее 300 МПа и относительным удлинением не менее 6%); ВЧ 38—17 (высокопрочный чугун с пределом прочности при растяжении не менее 380 МПа и относительным удлинением не менее 17%).

Чугуны менее прочны и более хрупки, чем стали, не дешевле сталей и лучше отливаются в формы. Поэтому чугуны широко используют для изготовления литых изделий.

§ 77. Свариваемость чугунов

Затруднения при сварке чугунов объясняются следующими их свойствами.

1. Отсутствие площадки текучести чугуна и низкая пластичность приводят к появлению трещин при напряжениях, достигающих величины временного сопротивления разрыву. Эти напряжения

могут возникать при неравномерном нагреве и охлаждении во время отливки или сварки деталей и при эксплуатации изделия. Трещины могут образоваться как в основном металле, так и в металле шва в процессе сварки и при охлаждении сварного изделия.

2. Склонность чугуна при высоких скоростях охлаждения закаливаться с образованием хрупких структур мартенсита, бейнита и троостита. В закаленных участках чугун становится твердым (800 НВ) и не поддается механической обработке. Закалочные структуры вредны еще и потому, что их образование сопровождается появлением внутренних напряжений и образованием далее трещин.

3. Способность чугуна к отбеливанию при быстром охлаждении места сварки обычно приводит к образованию тонкой отбеленной прослойки на границе сварного шва и металла изделия. Эта отбеленная прослойка имеет низкую пластичность по сравнению с другими участками сварного соединения и под влиянием растягивающей силы, образующейся при охлаждении сварного соединения, она вместе с наплавленным металлом откалывается от основного металла или вызывает трещину по границе отбеленной прослойки с основным металлом.

4. Чугуны не имеют тестообразного состояния при переходе от жидкого к твердому. Это свойство чугуна затрудняет сварку его в наклонном и вертикальном положениях и не позволяет вести сварку в потолочном положении.

5. Склонность к образованию пористости, что объясняется низкой температурой плавления чугунов ($T_{пл}$ чугуна 1142°C при содержании углерода 4,3%; промышленные чугуны обычно имеют $T_{пл} = 1200 \div 1250^{\circ}\text{C}$) и быстрым переходом из жидкого в твердое состояние его. Поэтому газы (в основном CO и CO_2 , образующиеся при окислительной атмосфере) не успевают выделиться из металла.

6. Разнородность чугунных изделий по химическому составу, термической обработке и структуре, что требует разнобразной технологии и приемов сварки. Мелкозернистые серые чугуны свариваются лучше, чем крупнозернистые. Плохо свариваются черные чугуны, ко-

торые в изломе имеют крупнозернистое строение темного цвета. Такие чугуны называют графитными, так как в них весь углерод находится в виде свободного графита. При сварке чугуна с такой структурой не получается необходимое качество сварного соединения.

Высокопрочные и ковкие мелкозернистые чугуны свариваются лучше, чем серые.

§ 78. Классификация видов обработки чугунов

1. По характеру обработки: соединение чугунных деталей сваркой, заварка трещин в изделиях и исправление наплавкой поверхностных дефектов чугунного литья.

2. По способу нагрева при сварке: без подогрева изделия (холодная сварка) и с подогревом изделия (горячая сварка).

3. По виду сварки: дуговая, газовая и электрошлаковая сварка.

§ 79. Сварка чугуна без дополнительного подогрева изделия

Сварка чугуна без подогрева употребляется шире, чем сварка чугуна с подогревом изделия. Основные виды сварки чугуна без подогрева: ручная дуговая сварка покрытыми электродами, порошковой и самозащитной проволокой и вертикальная сварка с принудительным формированием металла шва.

Вертикальная сварка чугуна с принудительным формированием металла шва. Она предназначена для изготовления крупных литейно-сварных изделий с толщиной стенки до 100 мм. Процесс соединения деталей ведется без подогрева и термической обработки, что дает значительный экономический эффект. Институт разработал специальную проволоку и флюс, обеспечивающие металл шва в виде модифицированного чугуна. Твердость металла шва и зоны термического влияния не превышает 220–230 НВ, обрабатываемость соединения хорошая.

Сварка стальными электродами с применением шпилек. Сварка комбинируется с механическим усилением зоны сплавления ввертыванием в тело изделия

стальных шпилек, которые связывают металл шва и основной металл, разгружая хрупкую закаленную прослойку в зоне сплавления.

При изломе изделия с толщиной стенки до 12 мм шпильки могут ввертываться без разделки кромок. При толщинах более 12 мм место излома подготавливается с разделкой. Диаметр шпилек зависит от толщины свариваемого изделия: при толщине до 12 мм диаметр шпильки должен быть не более 6 мм; диаметр шпилек более 16 мм и менее 3 мм не рекомендуется. Диаметр шпилек обычно равен 0,15–0,2 толщины детали.

Количество шпилек, которые нужно поставить на одну сторону трещины, зависит от качества чугуна, нагрузки, которую несет деталь, длины трещины и др. Максимальное количество шпилек по их площади не должно превышать 0,25 площади излома детали.

Высота шпилек над поверхностью равна 0,5–1 диаметра шпильки, но не более 5–6 мм; глубина ввертывания – 1,5 диаметра шпильки.

Покрытые электроды любой марки, обеспечивающие мягкий наплавленный металл, берут диаметром не более 3–4 мм, ток – 100–120 А. Пониженный ток обеспечивает малую глубину расплавления чугуна и минимальный нагрев изделия, что уменьшает отбеливание и предотвращает появление трещин.

Процесс сварки. Сначала кольцевыми швами обвариваются ввернутые шпильки. Обварку нужно производить вразброс, с тем чтобы получить по возможности более равномерное нагревание металла детали. Потом заправляют участки между обваренными шпильками, причем заварка также ведется отдельными валиками. Длина каждого валика не должна превышать 100 мм. Второй слой валиков наносится перпендикулярно направлению валиков первого слоя. После нанесения наплавки на каждую сторону поверхности кромок переходят к заварке разделки и трещины. В последнем случае диаметр электродов можно принять 4 мм и сварочный ток 120–140 А.

Для ускорения заварки трещины в изделии толщиной более 10 мм вводят дополнительные стальные связи (рис. 111). Связи и промежутки между ними прова-

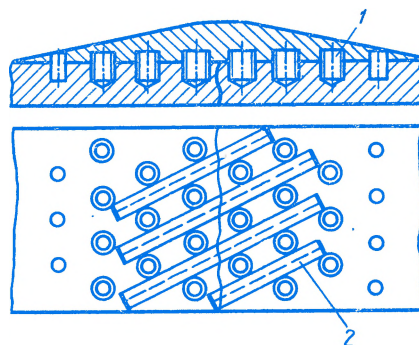


Рис. 111. Расположение стальных связей в металле шва при холодной сварке чугуна: 1 – шпильки, 2 – стальные связи

риваются не полностью. Сверху вся поверхность сварного соединения покрывается стальным наплавленным металлом.

Сварка стальными электродами с применением шпилек может выполняться в любом пространственном положении без демонтажа всего чугунного изделия.

Порошковые и самозащитные проволоки для сварки чугунов без подогрева. В состав шихты порошковой проволоки марок ППАНЧ-1 и ППАНЧ-2 введены графит, ферросилиций, ферромарганец, ферротитан, алюминий и железо. Диаметр проволоки 3 мм. Самозащитной проволокой на никелевой основе марки ПАНЧ-11 (проволока Академии наук, для чугуна, модель 11) можно выполнять сварку деталей из чугуна серого, ковкого и высокопрочного в сочетании со стальными деталями и выполнять ремонтные работы при восстановлении тонкостенных деталей, особенно работающих под давлением. Диаметр проволоки 1,2 мм, сварочный ток 100–140 А, напряжение дуги 14–18 В, скорость сварки 10–15 см/мин.

Сварка чугуна без подогрева покрытыми электродами. Применяются электроды медно-стальные на медной проволоке марки ОЗЧ-2 (опытный завод, для чугунов, модель вторая), железоникелевые марки ОЗЖН-1, медно-никелевые марки МНЧ-2, электроды на проволоке Св-08 марки ЦЧ-4 и др., которыми пользуются в основном в ремонтных работах по за-

варке различных дефектов на обрабатываемых, обработанных и необработываемых поверхностях.

Пайка чугуна. Пайка представляет собой процесс соединения деталей нагревом до температуры плавления припоя, заполняющего зазор между соединяемыми деталями. Основной металл при пайке не плавится. В качестве припоев используют специальные чугунные материалы (НЧ-2, УНЧ-2), латунные припой (ЛОК59-1-03, ЛОМНА), легкоплавкие оловянисто-свинцовые припой (ПОС30, ПОС40) и др.

Подготовленная под пайку поверхность подогревается пламенем газовой горелки до температуры плавления чугуна или латунного припоя (800–950 °С). Вначале следует образовать отдельные расплавленные капли припоя, которые должны с помощью флюсов легко растекаться тонким слоем по кромке чугунного изделия. Для того чтобы материал припоя проникал в поры чугуна и лучше его смачивал, во флюс добавляют активные вещества, способствующие смачиваемости чугуна и получению относительно прочной связи между припоем и чугуном.

Для пайки чугуна чугунными припоями употребляют флюсы марок МАФ-1 (плавная бора 33%, сода кальцинированная 12%, селитра натриевая 27%, оксид кобальта 7%, фтористо-циркониевый натрий 12,5%, фтористый калий 8,5%), ФСЧ-2; для пайки латунными припоями употребляют флюсы марок ФПСЧ-1 (углекислый литий 25%, кальцинированная сода 50%, борная кислота остальное), ФПСЧ-1 и др.

Для лучшего сцепления чугуна с латунью графит с поверхности кромок предварительно выжигают газовым пламенем с избытком кислорода. Затем в разделку вносят флюс; после расплавления флюса расплавляют латунный припой, который образует жидкую ванну и заполняет разделку. Наплавленный металл сразу же после пайки проковывают ручным медным молотком.

Пайка чугуна легкоплавкими припоями (оловянисто-свинцовые и цинковые) затруднена плохим смачиванием его поверхности; этот вид пайки дает низкую прочность соединения.

§ 80. Сварка чугуна с дополнительным подогревом изделия

Сварку чугуна с подогревом можно применять для изделий ограниченных размеров и массы (до 2,5 т), так как при большом объеме нагретого металла производить сварку трудно.

Сварка чугуна с подогревом выполняется в такой последовательности.

1. Подготовка к сварке. Раковины и шлаковые включения полностью удаляются вырубкой или сверлением. Трещины, подлежащие заварке, вырубаются с разделкой; невырубленным остается притупление в 3–6 мм. Если объем металла, подлежащего наплавке, велик и превышает 60 см, то место, предназначенное к сварке, должно быть заформовано так, чтобы можно было обеспечить заполнение этой части ванны жидким чугуном. Формовку выполняют графитовыми пластинами или формовочным песком, замешанным на жидком стекле. Формовка должна исключить возможность вытекания жидкого металла из ванны (рис. 112). Объем расплавленной ванны должен обеспечивать возможность поддержания ее в жидком состоянии.

После заварки одной секции и затвердевания заваренного участка вставка вынимается.

2. Подогрев изделия производится в печах или специальных нагревательных ямах. Обычно температура нагрева при газовой сварке поддерживается в пределах 450–600 °С и при дуговой сварке 700–850 °С. Подогрев чугунных изделий перед сваркой до таких высоких температур требуется для того, чтобы снизить скорость охлаждения металла шва и придать ему относительно высокие пластические свойства и возможность обработки

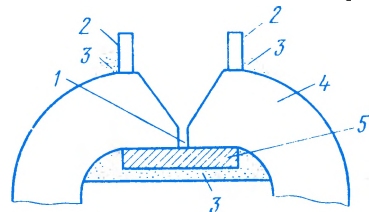


Рис. 112. Подготовка чугунного изделия с трещиной под сварку с подогревом:

1 – трещина, 2 – графитовые пластины, 3 – формовочная смесь, 4 – свариваемое изделие, 5 – графитовая вставка

режущим инструментом; подогрев необходим также после сварки, чтобы происходило равномерное охлаждение всего изделия и не возникали трещины. Более высокая температура подогрева чугунного изделия при дуговой сварке объясняется тем, что погонная тепловая энергия в этом случае меньше, чем при газовой сварке.

3. Выполнение сварки. Чугуны с подогревом свариваются газовым пламенем и дугой.

Газовая сварка производится нормальным пламенем горелкой с наконечниками № 5—7. Допускается сварка науглероживающим пламенем. Применение флюса при газовой сварке чугунов обязательно. Чаще всего в качестве флюса используют прокаленную буру или смесь из 50% углекислого и 50% двууглекислого натрия; рекомендуется флюс марки ФСЧ-2. Защиту сварочной ванны эффективно выполнять газообразным флюсом БМ-1, состоящим из летучей борорганической жидкости.

Присадочным материалом при горячей газовой сварке служат чугунные прутки марок А, Б, ПЧ-1, ПЧ-2 и ПЧ-3. Прутки обеспечивают при сварке наплавленный металл с перлитно-ферритной или с перлитной структурой.

При газовой сварке чугунный пруток погружают в сварочную ванну только после нагрева его конца до температуры светло-красного каления. Пруток вынимают из ванны только для нанесения на его поверхность флюса. Основной металл и присадочный пруток плавятся под флюсом.

Горячая дуговая сварка чугунов выполняется или покрытыми электродами (электроды чугунные на прутках ПЧ-1, А, Б) марки ЭЧ-1, ЦЧ-5 (электроды на проволоке Св-08), ЭЧ-2 (электроды чугунные на прутках ПЧС-1), или порошковой проволокой марок ПП-АН-Ч2 (проволока института им. Е. С. Патона), ППЧ-3М (проволока ВНИИЛИТмаш и Станколит), ПП-АН-Ч5. Для горячей дуговой механизированной заварки дефектов средних и небольших размеров (до 50 см) применяют механизированную сварку порошковой проволокой с использованием керамических стержней (например, марки СКЧ-3).

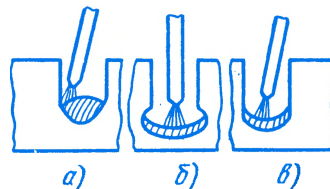


Рис. 113. Форма сварочной ванны в зависимости от ее нагрева:

а — холодная, б — перегретая, в — нормальная

Качество соединения свариваемых частей и температура, от которой оно зависит, определяются формой сварочной ванны. Выпуклая поверхность ванны (рис. 113, а) говорит о плохом соединении.

В этом случае сварщик должен увеличить нагрев стенок изделия. Когда ванна чрезмерно горяча, расплавление стенок изделия идет интенсивно, образуется очень характерный подрез стенки (рис. 113, б); в этом случае требуется пламя или дугу перенести в центр ванны, уменьшить температуру ванны добавлением в нее кусочков стержней, электродов или заранее приготовленных мелких кусков чугуна.

Правильный процесс сварки характеризуется вогнутой поверхностью сварочной ванны (рис. 113, в) без подреза; жидкий чугун хорошо смачивает стенки детали.

Многослойная сварка чугуна применяется редко и лишь в тех случаях, когда невозможно поддерживать всю ванну в жидком состоянии.

4. Охлаждение изделий после горячей сварки производится с малой скоростью, иногда в течение 3—5 сут. Подготовка к охлаждению заключается в том, что после окончания сварки поверхность металла шва засыпается слоем мелкого порошка древесного угля, а все изделие со всех сторон закрывается асбестовыми листами и сухим песком.

§ 81. Основные требования безопасности труда при сварке чугунов

1. Часто работа сварщика чугунов связана с перемещением грузов подъемно-транспортными устройствами, поэтому сварщики должны быть аттестованы

на право производства стропальных работ.

2. Участок горячей сварки чугуна должен быть оборудован дополнительным к приточно-вытяжной вентиляции специальным отсасывающим устройством для удаления выделяющейся при сварке пыли. Дополнительное отсасывающее устройство должно устанавливаться на расстоянии 1–1,2 м от места сварки и создавать скорость движения загрязненного воздуха в сечении отсоса порядка 8 м/с. При холодной дуговой сварке чугуна иметь дополнительную вентиляцию не обязательно.

3. Любой вид сварки чугуна, сопровождающийся выделением ядовитых паров (меди, марганца, цинка и др.), должен

выполняться сварщиком в фильтрующем или шланговом противогазе.

4. При пайке чугуна припоем из меди и ее сплавов сварщику нужно работать в респираторе ШБ-1, «Лепесток», «Астра-2» и др.

Контрольные вопросы

1. Почему чугуны свариваются хуже сталей?

2. Когда применяют сварку чугунов без подогрева и когда с подогревом?

3. Какие электроды и присадочные материалы применяют при сварке чугунов без подогрева и с подогревом?

4. Какими по составу пользуются флюсами при сварке чугунов?

5. Чем отличается пайка от сварки?

ГЛАВА XV. РУЧНАЯ ДУГОВАЯ И ГАЗОВАЯ СВАРКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И ИХ СПЛАВОВ

§ 82. Сварка меди и ее сплавов

Свариваемость меди. Медь сваривается плохо ввиду ее высокой теплопроводности, жидкотекучести и повышенной склонности к образованию трещин при сварке.

Теплопроводность меди при комнатной температуре в шесть раз больше теплопроводности технического железа, поэтому сварка меди и ее сплавов должна производиться с увеличенной погонной тепловой энергией, а во многих случаях с предварительным и сопутствующим подогревом основного металла.

При переходе из твердого состояния в жидкое медь выделяет большое количество теплоты (скрытая теплота плавления), поэтому сварочная ванна поддерживается в жидком состоянии более длительное время, чем при сварке стали. Повышенная жидкотекучесть меди затрудняет ее сварку в вертикальном, горизонтальном и особенно в потолочном положениях.

Водород в присутствии кислорода оказывает отрицательное действие на свойства меди. Водород, проникающий в медь при повышенных температурах сварки, реагирует с кислородом оксида меди ($\text{Cu}_2\text{O} + 2\text{H} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 2\text{Cu}$), образует

водяной пар, который, стремясь расширяться, приводит к появлению мелких трещин. Это явление при сварке меди называют «водородной болезнью». Если сваривать медь покрытыми медными электродами без подогрева свариваемого изделия (с быстрым охлаждением), то возникают горячие трещины.

Однако при сварке с подогревом, создающим условия медленного охлаждения, водяной пар в большинстве случаев до затвердевания металла выходит наружу; небольшая часть водяного пара остается между слоем сварочного шлака и поверхностью металла шва. В результате этого поверхность металла шва после удаления еще горячего шлака становится неровной с мелкими углублениями, что можно избежать при очень медленном охлаждении шва и шлака.

Чем больше содержится кислорода в свариваемой меди, тем значительнее проявляется «водородная болезнь».

Примеси в меди мышьяка, свинца, сурьмы, висмута и серы затрудняют сварку. Они практически не растворяются в меди, не образуют с ней легкоплавкие химические соединения, которые, находясь в свободном состоянии, располагаются по границам зерен и ослабляют межатомные связи. В результате под дей-

ствием растягивающей усадочной силы в процессе охлаждения сварного соединения образуются горячие трещины. Поэтому содержание каждой из вредных примесей (кислорода, висмута, свинца в меди и в сварочных материалах) не должно быть более 0,03%, а для особо ответственных сварных изделий — 0,01%.

Коэффициент линейного расширения меди больше коэффициента линейного расширения железа, в связи с чем сварочные деформации при сварке конструкций из меди и ее сплавов несколько больше, чем при сварке сталей.

Основные виды сварки меди плавлением: дуговая покрытыми электродами; дуговая порошковой проволокой (см. § 99), дуговая в газе (см. § 98), автоматическая дуговая под флюсом, плазменная сварка, газовая сварка и др.

Сварка меди покрытыми металлическими электродами дает удовлетворительное качество в случаях, если свариваемая медь содержит кислорода не более 0,01%. При содержании в меди кислорода в количествах более 0,03% сварные соединения имеют низкие механические свойства.

Для сварки меди применяют покрытые электроды марок К-100 (завод «Комсомолец»), ОМЗ-1 (опытный Московский завод) и др. Состав электрода марки К-100 следующий: стержень из металла марки М1; покрытие — плавиковый шпат 12,5%, полевой шпат — 15%, ферромарганец Мп1, Мп2 — 47,5%, кремнистая медь (73—75% меди, 23—25% кремния и остальное примеси) — 25%.

Режимы сварки электродами К-100

Толщина металла, мм	до 3	3—5	свыше 5
Диаметр электрода, мм	3	4	5
Ток, А	150—200	250—300	350—450

Сварку ведут в нижнем положении на постоянном токе обратной полярности. При сварке листов толщиной более 6 мм требуется предварительный подогрев основного металла до 300—400°C.

Газовая сварка медных листов толщиной до 10 мм выполняется пламенем мощностью 150 дм³ ацетилен/ч на 1 мм толщины металла. Листы

большой толщины сваривают пламенем из расчета 200 дм³/ч на 1 мм толщины металла. Сварку лучше производить одновременно двумя горелками с двух сторон восстановительным пламенем, с тем чтобы не допускать образования в сварочной ванне оксидов меди. Сварка меди науглероживающим пламенем не допускается, так как при этом образуются поры и трещины в шве вследствие образования СО₂ и Н₂О по реакциям: $CO + Cu_2O \rightarrow CO_2 + 2Cu$; $H_2 + Cu_2O \rightarrow H_2O + 2Cu$.

Шов заполняется за один слой. Многослойная газовая сварка вызывает перегрев металла и трещины в швах. Чтобы избежать перегрева меди, сварку следует вести с высокими скоростями нагрева и охлаждения сварных соединений.

Металл толщиной до 2 мм сваривают встык без присадочного материала, при толщине 3 мм и более применяют скос кромок с углом разделки 90° и притуплением 1,5—2 мм. Толстые медные листы сваривают встык с разделкой кромок в вертикальном положении одновременно с двух сторон двумя горелками. Присадочной проволокой служит чистая медь или медь с содержанием раскислителей: фосфора — до 0,2% и кремния — до 0,15—0,30%. Проволоку подбирают диаметрами от 1,5 до 8 мм в зависимости от толщины свариваемых листов; проволока диаметром 8 мм употребляется для листов толщиной 15 мм и более.

Газовая сварка меди выполняется с флюсами, состоящими в основном из буры.

Высокое качество сварного соединения получают, применяя газофлюсовую сварку, при которой порошкообразный флюс засасывается ацетиленом и подается непосредственно в пламя горелки от специальной установки КГФ-2-66.

Применению проковки металла шва (лучше околшовного металла) еще более улучшает механические свойства сварных соединений.

Сварка латуни. Латунь представляет собой сплав меди с цинком; температура плавления латуни 800—1000°C.

При дуговой сварке из латуни интенсивно испаряется цинк; расплавленный металл поглощает водород, который не

успевают выделиться при затвердевании жидкого металла в сварочной ванне, в результате чего в шве образуются газовые поры. Водород попадает в сварочную ванну из покрытия, флюса или воздуха.

Сварка латуней покрытыми электродами находит ограниченное применение, в основном для исправления брака литья. Это объясняется сильным испарением цинка по сравнению прежде всего с газовой сваркой или дуговой под флюсом, или дуговой в защитном газе.

Для дуговой сварки латуни применяют электроды с покрытием вида ЗТ. Состав электрода следующий: стержень из кремнемарганцовистой бронзы Бр КМц 3-1, содержащей 3% кремния и 1% марганца; покрытие из 17,5% марганцевой руды, 13% плавикового шпата, 16% серебристого графита, 32% ферросилиция 75%-ного, 2,5% алюминия в порошке. Сварка ведется постоянным током при обратной полярности короткой дугой с целью снижения выгорания цинка. От вытекания металла из сварочной ванны стык защищают прокаленной асбестовой подкладкой с обратной стороны стыка. При толщине листов до 4 мм разделка кромок такая же, как и для стали. После сварки шов проковывают, а затем отжигают при 600–650 °С для выравнивания химического состава и придания металлу мелкозернистой структуры.

Сварку латуни можно выполнять угольным электродом на постоянном токе прямой полярности с применением флюса.

Дуговая сварка латуней порошковой проволокой и в газе описаны в § 98, 99; в последние годы стали применять плазменно-дуговую сварку латуней, меди и др.

Газовая сварка латуней обеспечивает лучшее качество сварных соединений, чем дуговая покрытыми электродами. Для уменьшения испарения цинка сварку латуни ведут окислительным пламенем; при этом на поверхности сварочной ванны образуется жидкая пленка оксида цинка, препятствующая его испарению. Избыточный кислород окисляет часть водорода пламени, поэтому поглощение жидким металлом водорода уменьшается.

Для удаления оксидов меди и цинка

при газовой сварке пользуются флюсом, составленным на основе буры.

Для уменьшения испарения цинка и поглощения сварочной ванной водорода конец ядра пламени должен находиться от свариваемого металла на расстоянии в 2–3 раза большем, чем при сварке стали.

Для газовой сварки латуней применяют присадочную проволоку марки ЛК62-0,5 (ГОСТ 16130–72), содержащую 60,5–63,5% меди, 0,3–0,7% кремния, остальное – цинк. В качестве флюса при сварке этой присадочной проволокой применяют прокаленную буру. Без применения флюса можно пользоваться самофлюсующейся присадочной проволокой марки ЛКБ062-004-05.

Хорошее качество газовой сварки латуней достигается применением флюса БМ-1 (разработан ВНИИавтогенмаш), состоящего из 25% метилового спирта и 75% метилбората или флюса БМ-2, состоящего из одного метилбората. Эти флюсы вводятся в сварочную ванну в виде паров. Ацетилен пропускаясь через жидкий флюс, находящийся в особом сосуде (флюсопитателе), насыщается парами флюса и подается в горелку. В пламени флюс сгорает по реакции: $2\text{В}(\text{СН}_3\text{О})_3 + 9\text{О}_2 = \text{В}_2\text{О}_3 + 6\text{СО}_2 + 9\text{Н}_2\text{О}$. Борный ангидрид $\text{В}_2\text{О}_3$ является флюсующим веществом. Применение флюса БМ-1 повышает производительность сварки, дает металл шва с высокими механическими свойствами и обеспечивает почти полную безвредность процесса для сварщика.

Сварка бронзы. Бронза – это сплавы меди с оловом (3–14% – оловянистые бронзы), кремнием (до 1% – кремнистые бронзы), марганцем, фосфором, бериллием и др. Обычно бронзы применяются для изготовления литых деталей.

Сварные соединения марганцовистой бронзы (0,2–1% – марганца) отличаются высокой пластичностью и прочностью, несколько превышающей прочность сварных соединений меди.

Бериллиевые бронзы, содержащие до 0,05% бериллия, образуют сварные соединения с удовлетворительной прочностью.

Содержание более 0,5% бериллия в медном сплаве приводит при сварке

к окислению бериллия; образовавшиеся оксиды с трудом удаляются из сварочной ванны. Поэтому качество сварных соединений из таких бронз невысокое.

Существует несколько десятков марок бронз. По свариваемости бронзы значительно отличаются друг от друга, поэтому и технология сварки бронз разнообразна.

Сварку бронзы можно выполнять угольным электродом с присадочным металлом, покрытыми электродами, неплавящимся (вольфрамовым) электродом в аргоне, плазменной дугой и др.

Обычно присадочный материал подбирают близким к химическому составу свариваемого металла.

Сварку марганцовистой бронзы (например, марки Бр Мц5) выполняют электродами марки К-100, обязательно с предварительным подогревом до 400–500 °С. Для сварки алюминиевых и алюминиево-никелевых бронз (исправление дефектов литья) можно применять электроды марки АНМц/ЛКЗ-АБ с предварительным подогревом до 150–300 °С. Сварку выполняют на постоянном токе при обратной полярности короткими участками.

Как правило, бронзы сваривают в нижнем или наклонном (до 15°) положении.

Газовая сварка бронз ведется восстановительным пламенем, так как при окислительном пламени происходит выгорание легирующих элементов (олова, алюминия, кремния). Мощность пламени устанавливают 100–150 дм³ ацетилена/ч на 1 мм толщины свариваемого металла. При сварке пользуются теми же флюсами, что и для сварки меди и латуни.

Газовая сварка бронз дает прочность сварных соединений, равную 80–100% прочности свариваемого металла.

§ 83. Сварка алюминия и его сплавов

Алюминий обладает низкой прочностью ($\sigma_b \approx 10 \cdot 10^7$ Па), поэтому его применяют в основном в химическом аппаростроении, для оконных и дверных переплетов и декоративных изделий в строительстве. Он обладает малой плотностью (2,7 г/см³), повышенной кор-

розионной стойкостью и большой пластичностью по сравнению с низкоуглеродистой сталью.

Повышенную прочность имеют сплавы алюминия с марганцем, магнием, кремнием, цинком и медью.

Алюминий и его сплавы делят на литейные и деформируемые (катаные, прессованные, кованные). Деформируемые сплавы подразделяют на термически неупрочняемые, к которым относятся сплавы алюминия с марганцем и магнием, и термически упрочняемые, к которым относятся сплавы алюминия с медью, цинком, кремнием.

Наиболее высокой прочностью обладают термически упрочняемые алюминиевые сплавы. Например, механические свойства дюралюминия марки Д16 (3,8–4,9% меди, 1,2–1,8% магния, 0,3–0,9% марганца, остальное – алюминий) следующие: до термической обработки $\sigma_b = 22 \cdot 10^7$ Па и $\delta = 2\%$; после термической обработки $\sigma_b = 42 \cdot 10^7$ Па и $\delta = 18\%$.

Термически упрочненные алюминиевые сплавы разупрочняются при сварке.

Из термически неупрочняемых сплавов наибольшей прочностью обладают сплавы системы Al – Mg – Ti, например сплав АМг6, механические свойства которого следующие: $\sigma_b = (32 \div 38) \cdot 10^7$ Па, $\sigma_1 = (16 \div 18) \cdot 10^7$ Па, $\delta = 15 \div 20\%$ и $a_n = (3 \div 4) \cdot 10^5$ Дж/м². Конструкции из алюминиево-магниевого сплава марки АМг6 изготавливаются в основном сварными.

Свариваемость алюминия и его сплавов. Алюминий и его сплавы имеют большую теплопроводность, теплоемкость и скрытую теплоту плавления. Теплопроводность алюминия в три раза выше теплопроводности низкоуглеродистой стали; при нагреве от 20 до 600 °С разница в теплопроводности еще более возрастает. Следовательно, сварка алюминия и его сплавов должна выполняться с относительно мощным и концентрированным источником нагрева.

Коэффициент линейного расширения алюминия в два раза выше, чем коэффициент расширения железа. Это способствует увеличенным деформациям и короблению при сварке алюминиевых изделий.

Низкая удельная плотность ($2,7 \text{ г/см}^3$) и температура плавления (660°C) алюминия по сравнению с высокой удельной плотностью оксида алюминия Al_2O_3 ($3,85 \text{ г/см}^3$) и его температурой плавления (2050°C) затрудняют процесс сварки. Тугоплавкий и тяжелый оксид может оставаться в металле и снижать работоспособность сварного соединения. При сварке алюминия и его сплавов необходимо применять различные способы борьбы с оксидом Al_2O_3 . Во всех случаях поверхность металла изделия должна зачищаться непосредственно перед сваркой, а процесс сварки должен протекать с защитой расплавленного металла от действия газов воздуха.

Используют два способа борьбы с оксидом алюминия: сварка с растворителем оксидов (электродные покрытия, флюсы), сварка без растворителей, но с так называемым катодным распылением.

Растворителями оксида Al_2O_3 и других оксидов являются галогенные соли щелочноземельных металлов (хлористый, фтористый литий и др.), которые растворяют оксиды и вместе с ними поднимаются из сварочной ванны в сварочный шлак. Так как раствор обладает пониженной температурой плавления, меньшей удельной плотностью и меньшей вязкостью, чем каждый компонент в отдельности, то он выводится из металла шва в сварочный шлак.

Сущность катодного распыления состоит в том, что при дуговой сварке в аргоне на постоянном токе и только при обратной полярности происходит дробление оксидной пленки Al_2O_3 с последующим распылением частиц оксида. Тонкая оксидная пленка, покрывающая сварочную ванну, разрушается под ударами тяжелых положительных ионов аргона (атомный вес аргона примерно в 10 раз тяжелее атомного веса гелия и поэтому при сварке в гелии катодного распыления не происходит), образующихся при горении дуги.

Алюминиевые сплавы обладают повышенной склонностью к образованию пор. Пористость металла при сварке алюминия и его сплавов вызывается водородом, источником которого служит адсорбированная влага на поверхности

основного металла и особенно сварочной проволоки, а также воздух, подсосываемый в сварочную ванну. В этом случае алюминий в сварочной ванне взаимодействует с влагой по реакции: $2\text{Al} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{H}$.

Для получения беспористых швов при сварке алюминия и его сплавов даже небольшой толщины иногда требуется подогрев, снижающий скорость охлаждения сварочной ванны и способствующий более полному удалению водорода из металла при медленном охлаждении. Например, при наплавке на лист алюминия толщиной 8 мм беспористый шов можно получить при подогреве металла до 150°C . При увеличении толщины металла до 16 мм даже подогрев до температуры 300°C не обеспечивает беспористых швов.

Однако подогрев листов для сварки некоторых сплавов следует применять осторожно. Например, при сварке толстолистовых алюминиево-магниевого сплавов допускается подогрев до температуры не выше $100\text{--}150^\circ\text{C}$. Более высокая температура подогрева может усилить пористость шва за счет выделения из твердого раствора магния и образования при этом водорода по реакции: $\text{Mg} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MgO} + 2\text{H}$. Кроме того, при сварке подогретого металла (алюминиево-магниевого сплавов) снижаются механические свойства сварных соединений.

При аргонодуговой сварке алюминия и его сплавов борьбу с порами ведут с помощью окислительной атмосферы. Наилучшие результаты получаются при добавке к аргону 1,5% кислорода. Окислительная атмосфера в районе поверхности сварочной ванны не дает водороду растворяться в металле, так как водород будет находиться прежде всего в окисленном состоянии и поры в швах не образуются.

Виды сварки алюминия и его сплавов. Детали из алюминия и его сплавов можно соединять как сваркой плавлением, так и сваркой давлением. Широкое распространение получили следующие виды сварки: ручная или механизированная дуговая сварка неплавящимся электродом в защитном инертном газе (в основном в аргоне); механизированная дуговая

сварка плавящимся металлическим электродом в защитном газе; автоматическая дуговая сварка плавящейся сварочной проволокой по слою дозированного флюса; стыковая или точечная контактная сварка и др.

Состав флюсов и покрытий для сварки алюминия и его сплавов. Ручную сварку алюминия дугой или газовым пламенем выполняют с подогревом листов от 100 до 400 °С; чем толще деталь, тем выше температура подогрева. Для сварки употребляют флюс, чаще всего марки АФ-4а, содержащий 50% хлористого калия, 14% хлористого лития, 8% фтористого натрия и 28% хлористого натрия.

Составы электродных покрытий могут быть следующие: покрытие I — 65% флюса АФ-4а и 35% криолита и покрытие II — 50% хлористого калия, 30% хлористого натрия и 20% криолита Na₃AlF₆.

Подбор присадочного электродного металла. ГОСТ 7871—75 предусматривает для сварки алюминия и его сплавов проволоку 14 марок: из технического алюминия (Св-А97, Св-А85Т, Св-А5), алюминивно-марганцевую (Св-АМц), алюминивно-магниевою (Св-АМг3, Св-АМг4, Св-АМг5, Св-1557, Св-АМг6, Св-АМг63, Св-АМг61), алюминивно-кремниевую (Св-АК5, Св-АК10) и алюминивно-медистую (Св-1201).

Стандарт распространяется на тянутую и прессованную (марка Св-АК10) проволоку диаметрами от 0,8 до 12,5 мм. Проволока поставляется в упаковке, срок хранения не более 1 года со дня изготовления.

Обычно сварочную проволоку подбирают из условия однородности с основным металлом или с несколько повышенным содержанием одного или нескольких элементов против основного металла с учетом неизбежного обеднения металла шва некоторыми элементами (Mg, Zn) при сварке.

Технология сварки. Для дуговой сварки алюминия применяют покрытые электроды марки ОЗА-1 (опытный завод, для алюминия, модель 1) со стержнем из алюминиевой проволоки.

Сварка этими электродами производится в нижнем и вертикальном положениях постоянным током обратной полярности, короткой дугой без поперечных колебаний. При диаметре электрода 4 мм ток берется 120—140 А, для других диаметров — выше. Сварку осуществляют с подогревом изделия до температуры 200—250 °С при толщине металла 6—10 мм, 300—350 °С при 10—16 мм. Электроды перед употреблением (за несколько минут) просушивают при температуре 200 °С в течение 2 ч. После сварки сварочный шлак немедленно удаляют стальной щеткой с промывкой горячей водой.

Для заварки литейных пороков в изделиях применяют покрытые алюминиевые электроды марки ОЗА-2.

Форма подготовки кромок под сварку алюминиевых сплавов подобна подготовке при сварке сталей. Швы по возможности выполняются односторонними и на больших скоростях.

Сварка угольным электродом производится на постоянном токе прямой полярности. Листы толщиной до 3 мм желательно сваривать с отбортовкой кромок без присадочного металла. Сварка более толстых листов требует разделки кромок и применения присадки. Желательно применение массивных медных или стальных подкладок под свариваемые листы. Можно использовать флюс марки АФ-4а или флюс следующего состава: 45% хлористого калия, 15% хлористого лития, 30% хлористого натрия, 7% фтористого калия и 3% сернокислого натрия.

Примерные режимы сварки алюминия угольным электродом

Толщина свариваемого металла, мм	1—2	2—4	4—6	6—8	8—12	12—16
Диаметр угольного электрода марки СК, мм	6—8	8—10	10—12	10—12	12—15	12—15
Диаметр присадочного прутка, мм	—	3—4	4—5	4—5	5—6	6—8
Сварочный ток, А	100—180	180—240	220—300	250—350	300—400	350—600

Газовая сварка алюминия и его сплавов обеспечивает удовлетворительное качество сварных соединений. Мощность газового пламени при сварке подбирается в зависимости от толщины свариваемого металла.

Толщина металла, мм	до 1,5	1,5–3	3–5	5–10	10–15	15–20
Расход ацетилена, дм ³ /ч	50–100	100–200	200–400	400–700	700–1200	900–1200

При газовой сварке алюминия и его сплавов применяют флюсы. Флюс АФ-4а разводят дистиллированной водой и наносят на свариваемые кромки. При сварке применяют присадочную проволоку той же марки, что и свариваемый металл.

§ 84. Сварка титановых сплавов

При удельной плотности в 4,5 г/см³ титан и его сплавы имеют временное сопротивление разрыву $(45 \div 150) \cdot 10^7$ Па. Замена стали титаном уменьшает массу изделий на 20–30%.

Титан обладает также высокой антикоррозионной стойкостью. Для сварных изделий используется технический титан марок ВТ1-00, ВТ1-0, ВТ-1 и его сплавы с алюминием, хромом, молибденом, оловом, ванадием, марганцем, церием марок ВТ5, ВТ5-1, ВТ6, ВТ8, ВТ14 и др.

Титан более активен по сравнению с алюминием к поглощению кислорода, азота и водорода в процессе нагрева. Поэтому при сварке технического титана необходимо особенно надежная защита от этих газов. Такая защита осуществляется при дуговой сварке в инертном газе, а также при использовании флюса-пасты, наносимой на свариваемые кромки. Институт электросварки им. Е. О. Патона разработал серию специальных флюсов-паст (от АН-ТА до АН-Т17А), которые по составу являются бескислородными фторидно-хлоридными. Дуговая сварка титана и его сплавов покрытыми электродами, угольной дугой, а также газовым пламенем не применяется. Последними видами сварки нельзя обеспечить высокое качество сварных соединений из-за слишком большой активности титана к кислороду, азоту и водороду.

Технический титан соединяют аргонодуговой, дуговой под флюсом и некоторыми видами сварки давлением.

§ 85. Сварка магниевых сплавов

Магний обладает большим сродством к кислороду, чем титан. Магний, соединяясь с кислородом, образует тугоплавкий и тяжелый оксид магния. Темпера-

туры плавления магния и оксида магния соответственно равны 651 и 2150 °С, удельные плотности — соответственно 1,74 и 3,2 г/см³. Плотность магниевых сплавов около 1,8 г/см³. Временное сопротивление сплавов при растяжении составляет $(21 \div 34)10^5$ Па.

Магниевые сплавы сваривают вольфрамовым электродом в аргоне. Газовая сварка, дуговая сварка покрытыми электродами и угольным электродом применяются редко. Аргонодуговую сварку рекомендуется применять только для всех магниевых сплавов. Газовую сварку можно применять только для сплавов марок МА1, МА2, МА8, МЛ2, МЛ5 и МЛ7 и лишь с применением флюса из фтористых солей. Наилучшим флюсом считают флюс марки ВФ-156 (33,3% фтористого бария, 24,8% фтористого магния, 19,5% фтористого лития, 14,8% фтористого кальция, 4,8% натриевого криолита, 2,8% оксида магния).

§ 86. Основные требования безопасности труда при сварке цветных металлов и их сплавов

1. При дуговой и газовой сварке цветных металлов и сплавов необходимо соблюдать требования, описанные в § 24, 32 и 75.

2. Необходимо усилить от места сварки цветных металлов отсос паров и сварочной пыли.

3. Сварку латуни на открытой площадке необходимо выполнять с респиратором марок ШБ-1, «Лепесток», «Астра-2» и др., а в замкнутых резервуарах — со шланговым противогазом, чтобы не допустить попадания в дыхательные органы паров цинка, входящего в состав латуни.

Контрольные вопросы

1. Почему медь и ее сплавы свариваются хуже большинства сталей?
2. Почему газовая сварка латуней обеспечивает лучшее качество, чем дуговая?
3. Как влияет химический состав на свариваемость бронзы?

4. Какие свойства алюминия определяют его свариваемость?
5. Приведите основные марки сварочных алюминиевых проволок.
6. В чем заключаются особенности сварки технического титана?
7. Почему плохо свариваются магний и его сплавы?

ГЛАВА XVI. НАПЛАВКА НА МЕТАЛЛЫ

§ 87. Сущность процесса и классификация видов наплавки

Наплавкой называется нанесение с помощью сварки слоя металла на поверхность изделия. Обычно наплавляемый слой имеет неравновесную структуру, состоящую из тончайших частиц твердых зерен карбидов. В зависимости от состава карбидов можно получать наплавку с особыми свойствами (износостойкой, кислотоупорной, жаростойкой, антифрикционной и др.). Такую наплавку используют при ремонте и изготовлении новых деталей.

Применяется дуговая, газовая, плазменная, электрошлаковая и другие виды наплавки. Наибольший объем наплавочных работ выполняется сварочной дугой.

При наплавке в отличие от сварки в процессе участвует небольшое количество основного металла в связи с небольшой глубиной проплавления, поэтому внутренние напряжения и деформации изделия, склонность к образованию трещин относительно незначительны.

Заданные особые свойства наплавленного слоя получают введением в его состав легирующих элементов. Способы легирования различны: за счет взаимодействия расплавленного металла и шлака, поглощения некоторых элементов из газовой среды, введения в сварочную ванну легирующих добавок. Чаще всего применяют последний способ, как наиболее надежный и обеспечивающий нужный состав наплавленного слоя.

Особенно важно при наплавке получить однородность химического состава наплавленного металла, а следовательно, его свойств на всей поверхности наплавляемой детали.

§ 88. Материалы для наплавки. Техника дуговой наплавки

Наплавочная проволока. По ГОСТ 10543—75 стальная наплавочная проволока изготавливается диаметром от 0,3 до 8 мм. Стандартом предусмотрена углеродистая проволока 9 марок (Нп-25, Нп-30, Нп-35, Нп-40, Нп-45, Нп-50, Нп-65, Нп-80, Нп-85); легированная проволока 11 марок (Нп-40Г, Нп-50Г, Нп-65Г, Нп-30ХГСА и др.) и высоколегированная проволока 10 марок (Нп-20Х14, Нп-30Х13 и др.).

Обычно наплавка проволокой выполняется под флюсом на автоматах, шланговых полуавтоматах и электродами с основным покрытием.

Техника наплавки предусматривает наложение ниточных валиков с перекрытием предыдущего валика на $\frac{1}{3}$ его ширины или валиков с поперечными колебаниями электрода.

Покрытые электроды. ГОСТ 10051—75 предусматривает 44 типа электродов, обеспечивающих твердость наплавленного слоя от 20 до 66 НРС.

Некоторые типы электродов для наплавки: Э-10Г2 (электрод, среднее содержание углерода в наплавленном металле 0,10%, в наплавленном металле содержится из легирующих элементов марганец порядка 2%); Э-16Г2ХМ (электрод, среднее содержание углерода в наплавленном металле 0,16%, марганца около 2%, хрома до 1% и молибдена до 1%); Э-15Х28Н10С3-М2ГТ (электрод, углерода в наплавленном металле порядка 0,15%, хрома до 28%, никеля около 10%, силиция 3%, молибдена 2%, марганца до 1% и титана до 1%).

Распространение получили покрытые электроды для наплавки марок, напри-

мер, ОЗН-250У (относится к типу Э-10Г2) и расшифровывается так: «опытный» завод (электродный) для наплавки, средняя твердость наплавленного металла 250 НВ, предназначены для наплавки деталей, испытывающих ударные нагрузки (оси, валы и др.). Применяются электроды ОЗН-300У, ОЗН-350У, ОЗН-400У.

Для наплавки штампов употребляют покрытые электроды серии ОЗШ (опытного завода для штампов), например марок ОЗШ-1 (наплавка штампов для горячей штамповки), ОЗШ-3 или ОЗШ-4 (для холодной штамповки).

Наплавка на металлорежущий инструмент выполняется покрытыми электродами марок, например, ОЗИ-4 (опытного завода, для инструмента, модель 4), ОЗИ-5 и др. Если покрытые электроды для наплавки инструмента предложены в ЦНИИТмаше, то они названы, например, ЦИ-1М, ЦИ-2У и др.

Порошковая проволока и лента. Для полуавтоматической и автоматической наплавки под флюсом и в газе применяют порошковые проволоку и ленту, а также спеченную ленту. Порошковую проволоку для наплавки изготавливают из мягкой металлической оболочки, заполненной смесью ферросплавов, карбидов, боридов и др.

Спеченную ленту на железной основе изготавливают по ГОСТ 22366—77 методом порошковой металлургии путем холодной прокатки и спекания. Она обладает повышенным электросопротивлением, что повышает производительность наплавки до 30% по сравнению с холоднокатаной лентой аналогичного состава. Обычно порошковая лента не подвергается волочению по сравнению с порошковой проволокой.

Порошковой проволокой можно наплавлять изделия открытой дугой, в защитном газе и под флюсом. Например, для наплавки высокомарганцевистых сталей пользуются порошковой проволокой марки ПП-АН 105, для наплавки высокохромистых сталей открытой дугой — порошковой проволокой марки ПП-АН 170 и т. д. Промышленностью выпускаются порошковые ленты, например, марок ПЛ-АН 101, ПЛ-АН 111 — универсальные, предназначенные для наплавки как открытой дугой, так и под флюсом.

Спеченные ленты маркируются, например, ЛС-5Х4В3ФС (лента спеченная, дающая наплавленный металл химического состава (%): углерода — 0,5, хрома — 4, ванадия — 3, вольфрама — менее 1 и силициума — менее 1).

При дуговой наплавке порошковой проволокой применяют токи меньшей величины, чем для сварки. В этом случае глубина проплавления металла изделия снижается и наплавляемый металл меньше перемешивается с основным, в результате чего твердость наплавленного металла возрастает.

Флюсы. Для наплавки пользуются как плавными флюсами (марки АН-60, ОСЦ-45, АН-15М и др.), так и неплавленными, керамическими флюсами. Например, наплавку проволокой Св-08 колес мостовых кранов, опорных катков, роликов, натяжных колес гусеничных тракторов ведут с флюсом АНК-18. Флюс АНК-19 применяют для наплавки рабочих поверхностей бульдозеров, скреперов и грейдеров. Керамические флюсы позволяют получать наплавленный металл повышенной износостойкости при использовании низкоуглеродистой сварочной проволоки.

Литые прутки для наплавки. Для наплавки в аргоне или газокислородным пламенем выпускают литые прутки диаметром 6—8 мм, длиной до 500 мм. Литые прутки также идут на изготовление покрытых электродов для ручной дуговой наплавки, например марки ГН-1 со стержнем из сплава сормайт (для ремонта и изготовления быстроизнашивающихся деталей горячих центробежных насосов, деталей засыпных аппаратов доменных печей, арматуры для нефтепродуктов); марки ЦН-2 со стержнем из стеллита марки ВЗК (для наплавки арматуры котлов высоких параметров).

Зернистые (порошкообразные) сплавы. Сталилит приготавливается перемешиванием порошков углеродистого феррохрома, ферромарганца и нефтяного кокса с чугушной стружкой. Эту смесь используют для наплавки ножей бульдозеров, козырьков ковшей экскаваторов и др. Твердость наплавки сталилитом составляет не менее 52 НРС.

Вокар — зернистая смесь измельченного вольфрама и продукта прокатки са-

хара (углерода) применяется для наплавки бурового инструмента. Твердость первого слоя 50–58 HRC и второго слоя 61–63 HRC.

Сплав виском (Всесоюзный научно-исследовательский институт сельскохозяйственного машиностроения) составляется из феррохрома, ферромарганца, чугунной стружки и графита. Твердость наплавки 250–320 НВ.

Боридная порошковая смесь БХ (50% боридов хрома и 50% железного порошка) создает твердость 68 HRC.

Карбидно-боридная порошковая смесь КБХ (5% карбида хрома, 5% бориды хрома, 60% феррохрома, 30% железного порошка) нашла большее применение, чем смесь БХ.

Техника наплавки. Должна обеспечить максимальную производительность и хорошее формирование наплавленного слоя, позволяющее уменьшить припуски на механическую обработку после наплавки.

Производительность наплавки зависит от способа ее выполнения. Например, при ручной наплавке покрытыми электродами производительность составляет 0,8–3 кг/ч, при автоматической под флюсом от 2 до 15 кг/ч, при электрошлаковой проволочным электродом — от 20 до 60 кг/ч и электродом большого сечения — до 150 кг/ч.

При наплавке плоских поверхностей целесообразно применять широкие валики, т. е. вести процесс с колебательными движениями электрода.

Наплавку можно вести также узкими валиками на некотором расстоянии один от другого, без удаления шлака с каждого валика. Шлак удаляют со всех валиков, затем наплавляют валики в свободных промежутках.

Наплавку тел вращения производят вдоль образующей или круговыми валиками. При наплавке покрытыми электродами ось детали располагают горизонтально, при наплавке открытой дугой шланговым полуавтоматом — вертикально. Наплавку по винтовой линии целесообразно выполнять при диаметре детали не более 100 мм.

При наплавке зернистых порошков (сталинита, вокара, боридной смеси, по-

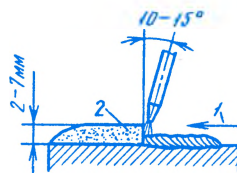


Рис. 114. Положение угольного электрода в процессе наплавки порошковых сплавов:

1 — общее направление наплавки, 2 — слой шихты

рошкообразного сормаита, порошков марок ПН-АН20, ПН-АН31, ПН-АН32 и др.) используют угольный электрод. Предварительно рабочая поверхность очищается от ржавчины, масла и грязи. Затем на поверхность детали насыпается тонкий слой (0,2–0,3 мм) прокаленной буры (флюса) и слой порошка сплава (шихты) высотой 2–7 мм и шириной 30–40 мм. Этот слой разравнивается и слегка уплотняется гладилкой.

Процесс сплавления крупинки сплава с поверхностью детали производится угольной дугой постоянного тока на прямой полярности или переменным током с осциллятором. Совершая поперечные и поступательные движения угольным электродом, можно достичь относительно ровной поверхности наплавленного слоя (рис. 114). Высота наплавленного слоя уменьшается по сравнению с высотой шихты на 60–65% для сталинита, на 35–50% для вокара, на 70–80% для боридной смеси. Можно производить наплавку в несколько слоев, однако общая толщина наплавленного слоя (во избежание трещин и выкрашивания кусков сплава при эксплуатации) не должна превышать 5–6 мм для сталинита, 3–4 мм для вокара и 1,4–1,7 мм для боридной смеси.

Порошкообразные сплавы можно наплавлять и металлическими электродами, например типа Э42, но в этом случае твердость наплавки понизится.

При ручной наплавке применяют также трубчатые электроды из порошковой проволоки.

§ 89. Наплавка газокислородным пламенем

Наплавка газокислородным пламенем применяется реже ручной дуговой из-за относительно больших деформаций на-

плавляемой детали, хотя оба вида наплавки дают одинаковую производительность. Детали небольших размеров наплавляются газокислородным пламенем без дополнительного нагрева наплавляемой детали. Крупногабаритные изделия подвергаются предварительному или сопутствующему подогреву до 500–700 °С. Подобно сварке применяют левую и правую наплавку.

Газокислородное пламя применяют главным образом для наплавки литыми твердыми сплавами (стеллитами, сормайттами). Обычно стеллиты (хромокобальтовые сплавы, например, марки ВЗК; они обладают высокой жаропрочностью, сопротивлением истиранию при температуре до 1000 °С) применяют для изделий, работающих при высоких, а сормайтты – при низких температурах. В процессе наплавки этими материалами пользуются флюсами. При наплавке стеллитом употребляют флюс, состоящий из 20 % буры прокаленной, 68 % борной кислоты и 12 % плавикового шпата. Для наплавки сормайтта флюс состоит из 50 % буры, 47 % двууглекислой соды и 3 % кремнезема.

Газокислородную наплавку применяют и с трубчатыми наплавочными материалами. Трубчатые наплавочные материалы представляют собой стальные или никелевые трубки, наполненные смесью

карбидов вольфрама с другими износостойкими материалами (крупка). В случае использования крупки из карбида вольфрама твердость наплавки получается 85 HRC.

Газокислородную наплавку порошковыми сплавами ранее применяли редко из-за раздувания порошка пламенем горелки. Теперь для наплавки пламенем применяют порошки ПГ-ХН80СР-2, ПГ-ХН80СР-3 и др., не раздуваемые пламенем. Наплавка производится горелкой ГАЛ-2-69. За один проход наносится слой толщиной не более 1 мм. По производительности процесс порошковой наплавки газовым пламенем не уступает наплавке прутковыми материалами.

Широкое применение в промышленности получила газопламенная наплавка латуни и бронзы на стальные и чугунные изделия. Находит распространение газопорошковая и наплавка напылением. Последний способ наплавки позволяет наносить очень тонкий износостойкий слой без деформации изделия.

Контрольные вопросы

1. Что называется наплавкой?
2. Какие применяются наплавочные материалы?
3. Расскажите о технике наплавки покрытыми электродами.

ГЛАВА XVII. ОСОБЫЕ ВИДЫ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

§ 90. Организационные мероприятия по повышению производительности сварки

При изготовлении сварных изделий производительность труда сварщика может быть повышена благодаря организационным и техническим мероприятиям. К первой группе мероприятий относятся различные прогрессивные приемы и усовершенствования выполнения ручной сварки, которые заключаются в рациональном устройстве электрододержателей, позволяющем уменьшить время на

смену электродов; правильном размещении свариваемых деталей и оснастки на рабочем месте, уменьшающем потери времени на переход; использовании приспособлений для быстрого поворота деталей в процессе сварки; организации удобного места сварщика (специальный стол, вращающийся стул и др.); разделении отдельных операций на переходы и выполнении их в определенной последовательности, и другие мероприятия, уменьшающие время перерывов в горении дуги. Выполнение этих мероприятий позволяет сварщикам увеличить время

горения дуги в течение рабочего дня на 10–15%, что следует считать большим достижением, так как только время смены электродов составляет 7–10% времени рабочего дня.

Технические мероприятия представляют более широкие возможности увеличения производительности труда.

§ 91. Высокопроизводительные виды сварки

Сварка высокопроизводительными покрытыми электродами. Наиболее эффективны электроды с железным порошком в покрытии; это повышает коэффициент наплавки до 18 г/(А·ч) вместо 8–10 г/(А·ч) для обычных электродов. При сварке покрытыми электродами с железным порошком в образовании шва принимает участие не только металл электродного стержня, но и железный порошок, введенный в состав покрытия. Эти электроды должны называться высокопроизводительными.

Производительность электродов характеризуется массой электродного металла, перешедшего на изделие за единицу времени. Наглядное представление о производительности электродов дает следующий пример: электроды АНО-5, ОЗС-6 и АНО-18, имеющие в покрытии 30–35% железного порошка (по отношению к массе всего покрытия) при диаметре стержня 4 мм дают выход наплавленного металла 35–40 г/мин; электроды АНО-1, ОЗС-3, АНО-19 при содержании 50–65% железного порошка дают 65–70 г/мин наплавленного металла (по сравнению с 23–30 г/мин для обычных электродов АНО-4, МР-3, ОЗС-4 и др.).

Однако следует учитывать, что высокопроизводительные электроды позволяют выполнять сварку только в нижнем и наклонном (угол 15–20°) положениях; источники питания для сварки этими электродами должны иметь повышенное напряжение холостого хода (не менее 65 В).

Сварка сдвоенным электродом, гребенкой электродов, трехфазной дугой. При сварке сдвоенным электродом процесс ведут двумя стержнями, соединенными между собой контактной точечной сваркой (рис. 115). Дуга переходит с одного

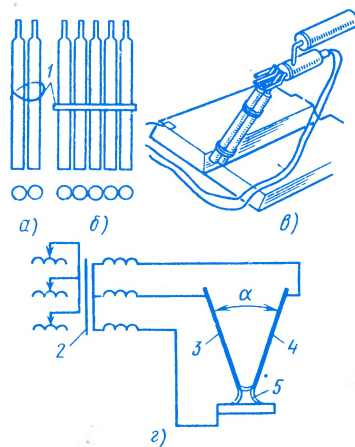


Рис. 115. Схема сдвоенного электрода (а), гребенки (б) и сварки трехфазным током (в, г): 1 — связка электродов, 2 — трехфазный трансформатор, 3, 4 — электроды, 5 — дуга

стержня на другой, попеременно оплавливая их. Производительность сварки повышается на 20–40% по сравнению со сваркой одностержневым электродом. Повышение производительности сварки достигается попеременным подогревом каждого из стержней дугой, горящей между соседними стержнями и изделием, увеличением времени горения дуги, уменьшением времени на смену электродов.

Электроды располагаются так, чтобы их общая ось совпадала с осью шва или при большом угле разделки кромок была перпендикулярна этой оси. Сварочный ток составляет от 100–180 А при диаметре электродов 3+3 мм до 300–400 А при диаметре 6+6 мм.

Сдвоенными электродами можно сваривать за один проход металл толщиной до 12 мм.

Электроды можно располагать по несколько стержней в ряд в виде гребенки. Так же как при сварке сдвоенным электродом, дуга возбуждается на электроде, находящемся на более близком расстоянии от свариваемого изделия. При плавлении этого электрода дуга переходит на другой стержень и т. д. Электродная гребенка позволяет глубоко опускаться в разделку кромок, располагая гребенку вдоль шва, поэтому можно глубоко проплавлять основной металл и получать хорошее формирование шва. Сварка электродной гребенкой позволяет повысить

вдвое производительность по сравнению со сваркой обычным электродом.

Производительность ручной дуговой сварки можно повысить еще на большую величину, если использовать трехфазный ток. При сварке трехфазной дугой применяют два электрода, к которым подводятся две фазы от источника питания, а третья фаза — к свариваемому изделию. В каждый данный момент в процессе изменения синусоидального тока могут гореть одна или две дуги; при этом выделяется большое количество теплоты, скорость плавления металла возрастает и производительность сварки увеличивается на 50—60% по сравнению со сваркой однофазной дугой. Масса наплавляемого металла достигает 30 г/(А · ч).

Однако при сварке трехфазной дугой сильно утяжелен электрододержатель, что ведет к утомляемости сварщика. Поэтому сварку трехфазной дугой лучше выполнять механизированными способами.

Сварка с глубоким проплавлением. Этот вид сварки еще называют сваркой опиранием. Для сварки применяют электроды с увеличенной толщиной покрытия. Стальной стержень электрода плавится несколько быстрее покрытия, в результате чего на конце электрода из покрытия образуется втулка (козырек). Опирая втулку электрода на поверхность изделия, сварщик перемещает дугу вдоль шва. Образующиеся при плавлении покрытия газы своим давлением вытесняют жидкий металл из сварочной ванны, образуя валик, изделие проплавляется на большую величину, чем при сварке электродом на весу. При этом объем наплавленного металла в сварном шве значительно уменьшается без снижения прочности шва. Этот способ сварки позволяет уменьшать глубину разделки кромок и сваривать металл значительной толщины без разделки кромок с большой скоростью. Сварку выполняют без колебательных поперечных движений электрода.

Техника сварки опиранием заключается в том, что после зажигания дуги сварщик устанавливает электрод под углом 70—80° к плоскости изделия, опускает покрытие электрода на поверхность изделия и дуга автоматически будет перемещаться по оси шва; сварщику приходится сла-

Таблица 19. Режимы сварки опиранием стыковых соединений без скоса кромок электродами марки ОЗС-3

Толщина листа, мм	Рекомендуемый зазор, мм	Диаметр электрода, мм	Ток, А	Глубина проплавления, мм
Односторонняя сварка				
4	1,0	5	200	4
6	1,5	6	250	6
8	2,0	6	350	8
Двусторонняя сварка				
8	1,0	6	350	5
10	1,0—1,5	6	350	6
12	1,5—2,0	8	450	8
16	2,0—2,5	8	450	9

бо нажимать электрододержатель на электрод по его оси к изделию.

Способ сварки опиранием особенно целесообразно применять при выполнении угловых швов в положении «в лодочку», используя для этого электроды марки ОЗС-3 (табл.19) и подобных им марок. Кроме увеличения производительности при сварке опиранием получается высокое качество металла шва.

Сварку опиранием в вертикальном положении по направлению сверху вниз можно выполнять электродами АНО-9. При наложении угловых швов с катодом 8 мм применяют электроды диаметром 4 мм; скорость сварки 10 м/ч, что в два раза больше скорости сварки электродами УОНИИ-13/55 диаметром 5 мм.

Сварка лежачим электродом (рис. 116, б). В разделку свариваемых деталей укладывают один или несколько электродов, длина которых обычно в два раза больше стандартных. От вытекания металла при выполнении стыкового шва предохраняет медная подкладка. При выполнении углового шва подкладка не требуется. Сверху электроды прижимаются к кромкам деталей медной или бронзовой колодкой. Дуга возбуждается вспомогательным электродом и затем продолжает гореть, расплавляя электрод и основной металл. Длина дуги равна толщине покрытия, составляющей 1,5—3,0 мм. Сварку лежачим электродом можно осуществлять и под слоем флюса. Она может применяться для выполнения как прямолинейных, так и криволи-

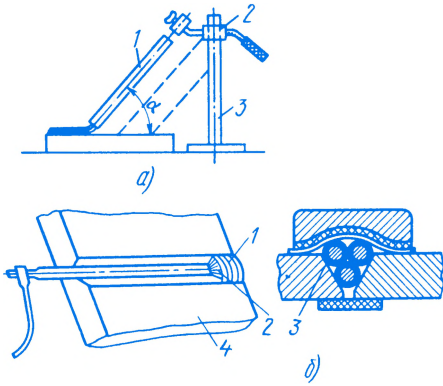


Рис. 116. Схема сварки:
 а – наклонным электродом: 1 – электрод, 2 – обойма, 3 – штанга; б – лежачим электродом: 1 – шов, 2 – дуга, 3 – лежачий электрод, 4 – свариваемый металл

нейных швов, для чего необходимы специальные приспособления.

Сварка наклонным электродом (рис. 116, а). Электрод опирается краем покрытия о свариваемый металл. Второй конец электрода зажат в обойме, которая

во время сварки свободно опускается, скользя по штанге. Угол наклона электрода остается постоянным. Дугу возбуждают так же, как и при сварке лежачим электродом.

Производительность труда сварщика при использовании этих способов возрастает, так как один сварщик может работать на нескольких постах.

Для сварки наклонным и лежачим электродами необходимы специальные электроды марок ОЗС-12, ОЗС-15Н (наклонный электрод) и ОЗС-17Н по качеству наплавленного металла близкие к типу Э-46. Электроды изготавливаются диаметрами 4,5 и 6 мм, длиной от 450 до 700 мм.

Контрольные вопросы

1. Какие электроды называют высокопроизводительными?
2. В чем заключается сущность сварки с глубоким проплавлением?
3. Какие марки покрытых электродов предназначены для сварки опиранием?
4. Как выполняют сварку лежачим и наклонным электродами?

ГЛАВА XVIII. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

§ 92. Основные требования к источникам питания дуги

Электрическая сварочная дуга представляет собой такой вид нагрузки, который отличается от других потребителей электроэнергии тем, что для зажигания дуги требуется напряжение значительно выше, чем для поддержания ее горения; дуга горит с перерывами, во время которых электрическая цепь либо разрывается, либо происходит короткое замыкание. Во время горения дуги напряжение ее меняется с изменением длины дуги, следовательно, меняется и сварочный ток. При коротком замыкании (в моменты зажигания дуги и перехода капли расплавленного металла на изделие) напряжение между электродом и изделием падает до нуля.

Эти особенности дуги обуславливают следующие требования, предъявляемые

к источникам питания (для ручной дуговой сварки).

1. Напряжение холостого хода должно быть в 2–3 раза выше напряжения дуги. Такое требование необходимо для легкого зажигания дуги; в то же время оно должно быть безопасным для сварщика при условии выполнения им необходимых правил. Напряжение холостого хода обычно равно 50–70 В. Максимальное напряжение холостого хода не более 80 В для источников питания переменного тока и 90 В – постоянного тока.

2. Ток при коротком замыкании должен быть ограничен. Нормальный процесс дуговой сварки обеспечивается, если $I_{кз}/I_{св} = 1,1 \div 1,5$, где $I_{кз}$ – ток короткого замыкания; $I_{св}$ – сварочный ток. В некоторых случаях это отношение может достигать 2.

3. Изменения напряжения дуги, происходящие вследствие изменения ее

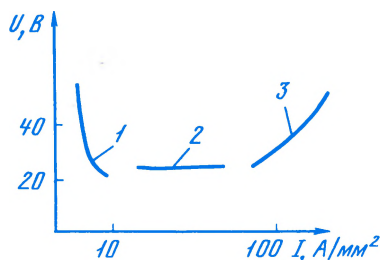


Рис. 117. Статические вольт-амперные характеристики дуги

длины, не должны вызывать существенного изменения сварочного тока, а следовательно, изменения теплового режима сварки.

4. Время восстановления напряжения от короткого замыкания до зажигания дуги должно быть коротким (сотые доли секунды).

5. Источник питания должен иметь устройство для регулирования сварочного тока. Пределы регулирования тока должны быть (приблизительно) от 30 до 130% к номинальному сварочному току. Это необходимо для того, чтобы от одного источника питания производить сварку электродами разных диаметров.

Требования к источникам, предназначенным для питания других видов дуговой сварки, отличаются от приведенных. Например, в источниках питания для полуавтоматической сварки в газе напряжение холостого хода должно практически равняться напряжению дуги.

Чтобы разобраться в этом вопросе, необходимо прежде всего изучить связь между статической вольт-амперной характеристикой дуги и внешней характеристикой источника питания. Необходимо также вспомнить материал § 54 и 55, в которых изложено об условиях зажигания дуги и подборе режимов для различных видов дуговой сварки.

Статическая вольт-амперная характеристика дуги. Зависимость электрического напряжения от тока при постоянной длине горячей дуги называют статической вольт-амперной характеристикой (рис. 117). Напряжение дуги при малых плотностях тока в электроде падает при увеличении тока (падающая статическая ха-

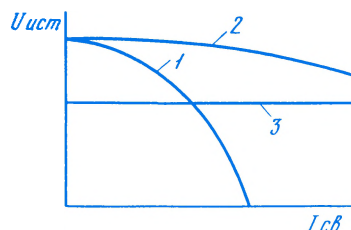


Рис. 118. Виды внешних вольт-амперных характеристик источников питания дуги

рактеристика 1), далее при увеличении плотности тока в определенном интервале остается практически постоянным (жесткая характеристика 2), а затем увеличивается с ростом тока в дуге (возрастающая характеристика 3).

Падение напряжения с ростом тока наблюдается только при малых токах (порядка до 50 А) и может быть отнесено за счет улучшения условий термической ионизации. После возбуждения дуги возникает большее число носителей заряда (электроны, ионы), проводимость столба дуги увеличивается и ток возрастает при уменьшении напряжения.

Дальнейшее увеличение тока приводит к росту поперечного сечения столба дуги без изменения его проводимости, поэтому напряжение на дуге остается практически постоянным.

И наконец, когда требуется для повышения тока количество заряженных частиц не может быть получено за счет расширения столба (активное пятно занимает всю площадь электродной проволоки) и для увеличения их количества требуется повышенное напряжение, получается возрастающая вольт-амперная характеристика дуги.

Обычно падающая характеристика дуги наблюдается при сварке, если применяется плотность тока на электроде менее 10 А/мм², жесткая 10–50 А/мм², возрастающая 50–200 А/мм². Для каждого вида сварки применяется своя оптимальная плотность тока на электроде: для сварки покрытыми электродами – 10–30 А/мм², автоматической под флюсом – 30–50 А/мм², полуавтоматической шланговой – 50–200 А/мм².

Внешние статические вольт-амперные характеристики источника питания дуги. Внешней вольт-амперной характеристикой источника питания дуги называется зависимость напряжения на зажимах источника от величины сварочного тока (рис. 118).

Источники питания дуги имеют следующие виды внешних характеристик: крутопадающую 1, пологопадающую 2, жесткую 3. Крутопадающая характеристика применяется для ручной дуговой сварки покрытыми электродами, пологопадающая и особенно жесткая — для механизированной сварки плавящимся электродом с постоянной скоростью подачи сварочной проволоки в зону дуги.

Устойчивое горение дуги при сварке возможно при условии пересечения статической характеристики дуги с внешней характеристикой источника в рабочей точке, с тем чтобы напряжение дуги равнялось напряжению источника питания дуги.

На рис. 119 показана крутопадающая внешняя характеристика источника питания и пересекающиеся с ней вольт-амперные характеристики дуг различной длины L_1, L_2, L_3 . Рабочая точка A соответствует месту пересечения внешней характеристики источника питания с характеристикой дуги.

Во время горения дуги и переноса электродного металла на изделие длина дуги изменяется, вольт-амперная характеристика дуги меняет свое положение в интервале от B до C , вследствие чего будет изменяться значение напряжения и сварочного тока. Устойчивое горение дуги будет тогда, когда при случайном отклонении от установившегося состояния (точка A) режим сварки быстрее восстановится. Например, при случайном уменьшении длины дуги до точки C ток возрастает до I_3 , электрод быстро оплавится ввиду увеличенного тока и восстановится прежняя длина дуги. Подбор тока при сварке покрытыми электродами от источника с крутопадающей внешней характеристикой дан в § 20.

Условие устойчивости дуги и процесса при полуавтоматической сварке. На рис. 120 показаны три внешние характеристики (крутопадающая, жесткая и возрастающая) источника и две вольт-ам-

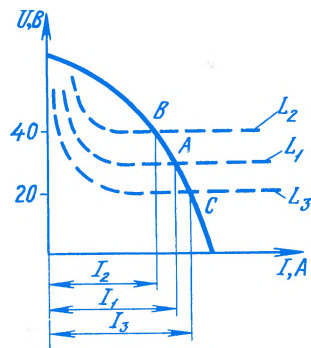


Рис. 119. Пересечение крутопадающей внешней характеристики с характеристиками дуг длиной L_1, L_2 и L_3 ($L_2 > L_1 > L_3$)

перные характеристики дуг различной длины. Видно, что при изменении длины дуги наиболее значительно изменяется сварочный ток величиной ΔI_3 прежде всего от источника с возрастающей внешней характеристикой, меньше изменяется ток ΔI_2 от источника с жесткой характеристикой и совсем мало изменяется ток ΔI_1 от источника с крутопадающей характеристикой. Различное изменение сварочного тока при одинаковом увеличении (изменении) длины дуги характеризует скорость саморегулирования дуги. Чем значительнее изменяется ток, тем быстрее при постоянной скорости подачи сварочной проволоки (электрода) восстанавливается прежняя длина дуги и выше стабильность ее горения. Из рисунка вид-

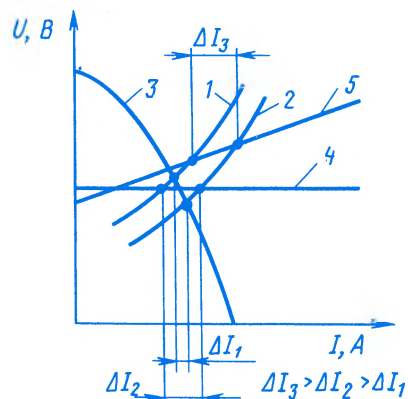


Рис. 120. Изменение сварочного тока в зависимости от вида внешней характеристики источника питания дуги и влияние этого изменения на устойчивость саморегулирования дуги при полуавтоматической сварке:

1, 2 — статические характеристики дуг, 3, 4, 5 — внешние характеристики источников питания

но, что стабильность выше, если используется источник с возрастающей внешней характеристикой. Этим и объясняется, что полуавтоматическая сварка в газе, порошковой проволокой и самозащитной проволокой производится от источников прежде всего с жесткой, а еще лучше с возрастающей внешней характеристикой. Отечественная промышленность выпускает источники с регулируемой внешней характеристикой, пригодные для сварки различными видами с получением стабильной дуги и лучшим качеством сварных соединений.

Динамическая характеристика источника питания. Упомянувшиеся до сих пор внешние характеристики источника тока называются статическими. Это означает, что они определяют конечное значение тока, измеренное при определенном напряжении, и не отражают закон изменения тока и напряжения в переходный период. Динамическую характеристику источника характеризует, например, время восстановления напряжения от нулевого значения в момент короткого замыкания до напряжения повторного зажигания дуги.

Динамические свойства источника питания в основном определяются индуктивностью источника питания дуги.

Повышенные динамические свойства источника питания обеспечивают спокойный перенос электродного металла, уменьшение разбрызгивания электродного металла при сварке и улучшение качества шва.

Внешняя характеристика источника тока, установленная предварительно, в процессе сварки не изменяется. Колебания режима сварки, происходящие от возмущений (от изменения длины дуги и др.) в процессе сварки, обусловлены только изменением статической характеристики дуги.

Для получения равномерного шва по длине и глубине необходимо, чтобы дуга при изменении длины в определенных границах оставалась бы стабильной. Это особенно важно при сварке покрытыми электродами, где затруднено сохранение постоянной величины длины дуги.

Режим работы источника питания. Работа источника питания обычно происхо-

дит с чередующимися включениями и выключениями нагрузки (во время смены электрода, очистки шва от шлака, переходах и т. д.) и характеризуется продолжительностью работы (ПР) или продолжительностью включения (ПВ). Это позволяет допускать временную перегрузку источника. Обе эти величины выражаются в процентах:

$$\text{ПР} = [t_{\text{св}} / (t_{\text{св}} + t_{\text{х х}})] 100,$$

$$\text{ПВ} = [t_{\text{св}} / (t_{\text{св}} + t_{\text{п}})] 100,$$

где $t_{\text{св}}$ — время сварки, $t_{\text{х х}}$ — время холостого хода, $t_{\text{п}}$ — время паузы.

Практически $\text{ПР} = \text{ПВ}$. Для расчета ПР или ПВ берется время цикла сварки $t_{\text{ц}} = t_{\text{св}} + t_{\text{х х}} = t_{\text{св}} + t_{\text{п}} = 5$ мин (иногда принимают $t_{\text{ц}} = 10$ мин).

Как правило, для ручной сварки $t_{\text{св}} = 3$ мин, $t_{\text{п}} = 2$ мин.

В паспорте каждого источника питания указывается номинальный сварочный ток ($I_{\text{н}}$) и номинальное значение продолжительности работы ПР_н (или ПВ_н). Номинальный (расчетный) ток определяется допустимым нагревом основных частей источника. Максимально допустимый сварочный ток определяется по формуле $I_{\text{д}} = I_{\text{н}} \sqrt{\text{ПР}_{\text{н}} / \text{ПР}_{\text{д}}}$, где ПР_д — допустимое значение ПР.

Пользуясь этой формулой, можно правильно использовать источник без перегрузки (без перегрева).

Пример 1. Определить допустимый сварочный ток для источника, в паспорте которого приведены $I_{\text{н}} = 500$ А и ПР_н = 65%, если источник работает непрерывно более 10 мин, т. е. ПР = 100%.

$$I_{\text{д}} = 500 \sqrt{65/100} \approx 500(8/10) = 400 \text{ А.}$$

Таким образом, данный источник питания может работать непрерывно при сварочном токе не более 400 А.

Пример 2. Определить допустимый ПР_д сварочного трансформатора при токе 1200 А, если по паспорту $I_{\text{н}} = 1000$ А и ПР_н = 75%.

Из приведенной выше формулы

$$\text{ПР}_{\text{д}} = \text{ПР}_{\text{н}} (I_{\text{н}}^0 / I_{\text{д}}^2) =$$

$$75 (1000^2 / 1200^2) = 75 \cdot (100/144) = 52\%.$$

§ 93. Сварочные трансформаторы

Для питания дуги при ручной сварке плавящимся электродом трансформа-

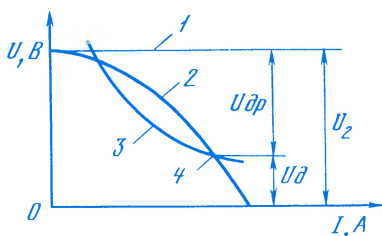


Рис. 121. Образование внешней характеристики:

1 – напряжение на вторичной обмотке сварочного трансформатора, 2 – падающая характеристика источника питания, 3 – статическая характеристика дуги, 4 – точка устойчивого горения дуги; U_d – напряжение дуги, $U_{др}$ – напряжение на дросселе

торы изготавливаются на номинальные сварочные токи от 100 до 500 А.

В старых конструкциях сварочных трансформаторов (СТЭ, СТН) создание падающей внешней характеристики и устойчивого горения дуги, требуемой для процесса дуговой сварки, а также регулирование сварочного тока осуществляются индуктивными дросселями, включаемыми последовательно в цепь вторичных обмоток трансформаторов.

Создание падающей вольт-амперной характеристики. Для зажигания дуги требуется повышенное напряжение по сравнению с напряжением дуги. Во вторичной обмотке сварочного трансформатора индуцируется электродвижущая сила. Она равна напряжению на зажимах сварочной цепи.

При нагрузке ток вторичной обмотки создает магнитный поток в сердечнике дросселя (или трансформатора). Этот магнитный поток индуцирует эдс самоиндукции или реактивную эдс рассеяния. В обоих случаях это приводит к повышению индуктивного сопротивления обмоток и падению напряжения на дуге, т. е. к созданию падающей характеристики (рис. 121).

Улучшение устойчивости горения дуги.

В процессе перехода капли электродного металла на изделие происходит короткое замыкание. Время восстановления напряжения после перехода капли для повторного зажигания дуги, а также после перехода тока через нулевое значение зависит от величины угла сдвига фаз между током и напряжением в сварочной цепи. На рис. 92 показаны кривые изменения тока

и напряжения в зависимости от времени при сварке с активным и индуктивным сопротивлением (со сдвигом фаз между током и напряжением). При одном активном сопротивлении при сварке (дуга представляет собой практически чисто активное сопротивление) происходят перемены в горении дуги в каждом периоде. Время перерыва можно уменьшить различными способами, например увеличением напряжения холостого хода сварочного трансформатора (этот способ не используется ввиду опасности для сварщика) или путем снижения напряжения, необходимого для зажигания дуги. Второй способ связан с применением электродных покрытий, имеющих особые технологические свойства. При работе на токах более 250 А напряжение холостого хода может быть снижено и, следовательно, повышена устойчивость дуги.

Время перерыва можно уменьшить применением тока повышенной частоты. Этот способ иногда находит применение в сварочной практике.

Сварочная дуга, горящая на переменном токе со значительной индуктивностью в цепи, не имеет перерывов, так как эдс самоиндукции поддерживает ее горение. Для того чтобы величина эдс самоиндукции была достаточной для поддержания горения дуги в момент снижения напряжения источника, необходим определенный угол сдвига фаз между током и напряжением. Устойчивое горение дуги на любых сварочных токах обеспечивается при $\cos \varphi = 0,35 \div 0,6$.

Регулирование сварочного тока. Изменение величины сварочного тока можно производить следующими способами:

изменением величины вторичного напряжения холостого хода трансформатора секционированием числа витков первичной или вторичной обмоток, изменением величины индуктивного сопротивления сварочной цепи.

Оба способа следуют из закона Ома для цепи переменного тока: $I_{св} = U / \sqrt{R^2 + x^2}$ или, если пренебречь активным сопротивлением ввиду его малой величины, $I_{св} = U/x$.

Первый способ применяется лишь как дополнительный, например для получения двух диапазонов тока.

Наиболее широко применяется второй способ — изменение индуктивного сопротивления. Этот способ дает возможность плавно регулировать величину сварочного тока.

В трансформаторах типа СТЭ регулирование тока осуществляется изменением воздушного зазора в магнитопроводе дросселя. При вращении регулировочной ручки дроссель по часовой стрелке воздушный зазор увеличивается, магнитный поток уменьшается, индуктивное сопротивление становится меньше, и ток увеличивается.

Вращением рукоятки дросселя против часовой стрелки достигается уменьшение зазора, увеличение индуктивного сопротивления и уменьшение тока.

В современных сварочных трансформаторах для создания необходимых условий используется принцип перемещения вторичной обмотки относительно неподвижной первичной, в результате чего изменяется индуктивное сопротивление и создается падающая внешняя характеристика. Подавляющее большинство сварочных трансформаторов выпускается промышленностью по указанному принципу. Для того чтобы обеспечить широкие пределы регулирования величин сварочного тока, в трансформаторах предусмотрена возможность переключения обмоток с параллельного (получаются максимальные токи) на последовательное соединение (получаются минимальные токи), чем создаются две ступени (два диапазона) регулирования тока.

Наибольшее использование при ручной дуговой сварке (при полуавтоматической шланговой сварке переменный ток не применяется) получили трансформаторы типов ТД-307У2, ТД-401У2 и ТД-503У2. Общий вид и электрическая схема трансформаторов серии ТД даны на рис. 18. Для питания дуг на больших токах применяются сварочные трансформаторы типов ТДФ-1001 и ТДФ-1601.

В сварочных трансформаторах типа ТД грубое регулирование сварочного тока достигается переключением диапазонов сварочного тока, плавное регулирование тока в определенных пределах — перемещением вторичной обмотки. Напряжение холостого хода при различных диапазонах тока различное.

Все трансформаторы типа ТД близки по конструктивному исполнению, работают при естественной вентиляции.

Промышленностью выпускаются переносные сварочные трансформаторы с ПР-20% (типов ТД-101, ТДБ — бытовой, АДЗ-101 и др.), предназначенные для выполнения коротких швов и прихваток, для сварки стали толщиной до 2 мм.

Для облегчения зажигания и стабилизации дуги переменного тока при сварке покрытыми электродами с низкими ионизирующими свойствами, а также при сварке неплавящимся электродом используются осциллятором. Этот прибор создает переменный ток высокой частоты 250–300 кГц с высоким напряжением (более 2500 В). Ток высокой частоты при таком высоком напряжении не представляет большой опасности для сварщика.

Осцилляторы включаются параллельно дуге. В сварочной цепи с осциллятором дуга возбуждается без предварительного замыкания электрода с изделием (на расстоянии 1–3 мм от электрода до изделия), поэтому их иногда целесообразно включать при сварке отделочных и декоративных изделий.

§ 94. Источники питания постоянного тока

Промышленность выпускает сварочные выпрямители, вращающиеся преобразователи и агрегаты. Вращающиеся преобразователи состоят из генератора постоянного тока (коллекторного или вентильного) и асинхронного двигателя. Генератор и двигатель у преобразователя имеют общий вал. В последние годы вращающиеся преобразователи вытесняются сварочными выпрямителями. Сварочные генераторы сохраняют, однако, свое значение в основном при сварке в полевых условиях в составе сварочных агрегатов с двигателями внутреннего сгорания.

Сварочные выпрямители. Типовая электрическая схема сварочного выпрямителя представлена на рис. 19. Преимущества сварочных выпрямителей перед преобразователями заключаются в отсутствии вращающихся частей, более высо-

ком кпд и меньших потерях энергии при холостом ходе, бесшумности работы, равномерной нагрузке трехфазной сети, меньшей массе и более широких пределах регулирования сварочного тока и напряжения. Эти преимущества позволяют широко использовать сварочные выпрямители вместо преобразователей, особенно в условиях стационарного производства.

Сварочный выпрямитель состоит из двух основных частей: понижающего (обычно трехфазного) трансформатора с устройством для регулирования тока или напряжения и выпрямительного блока, состоящего из селеновых или кремниевых вентилей. Имеется вентилятор для охлаждения выпрямительного блока. Вентилятор заблокирован с выпрямителем воздушным реле. Если вентилятор поврежден, то выпрямитель не включается; если повреждение произойдет во время работы, то выпрямитель выключится.

Промышленностью выпускаются однопостовые и многопостовые сварочные выпрямители. Однопостовые выпрямители рассчитаны на получение либо жесткой и пологопадающей, либо крутопадающей вольт-амперной характеристики; выпускаются также универсальные выпрямители с крутопадающими и жесткими характеристиками. Сварочный ток чаще всего регулируется изменением расстояния между обмотками трансформатора (подвижные обмотки первичные).

Для ручной сварки покрытыми электродами, резки и наплавки предназначены сварочные выпрямители типов ВД-306 на номинальный ток 315 А и ВД-502 на 500 А, имеющие падающую внешнюю характеристику.

Выпрямитель ВД-306 выполнен со ступенчато-плавным регулированием сварочного тока. В пределах каждой ступени плавное регулирование тока производится изменением расстояния между катушками обмоток трансформатора. При сближении катушек индуктивности расстояния обмоток и их индуктивные сопротивления уменьшаются, а сварочный ток возрастает. Катушки первичной обмотки подвижные, а вторичной — неподвижные. Регулирование тока осуществляется вручную, отключение от сети — магнитным пускателем.

Однопостовые сварочные выпрямители

с пологопадающей и жесткой внешними характеристиками для механизированной сварки выпускаются типов ВДГ-302УЗ (выпрямитель дуговой, сварка в газе, 3 — условное обозначение номинального сварочного тока, 02 — регистрационный номер, У-исполнение по ГОСТ 15543-70, категория 3), ВДГ-601УЗ, ВСЖ-303 (выпрямитель сварочный, жесткая характеристика, условный номинальный ток 3, регистрационный номер 03 и т. д.) и др.

Сварочный выпрямитель ВДГ-302УЗ создает пологопадающую внешнюю характеристику, необходимую для шланговой полуавтоматической сварки, обеспечивает три ступени напряжений с плавным регулированием под нагрузкой рабочего напряжения. Защита выпрямителя от коротких замыканий при сварке осуществляется автоматическим выключателем. Стабильность дуги и качество сварки улучшаются индуктивностью, включенной в цепь постоянного тока (имеются две ступени индуктивности). Выпрямитель имеет кроме ручного дистанционное управление. Охлаждение выпрямителя принудительное — воздухом. Защита от радиопомех радиоприему, создаваемых при сварке, осуществляется емкостным фильтром. Выпрямитель обеспечен электроизмерительными приборами.

В источнике ВСЖ-303 использован трехфазный трансформатор, имеющий магнитную систему особой конструкции, позволяющую изменять наклон внешних характеристик. В этих условиях сварочный процесс протекает с наименьшим разбрызгиванием электродного металла.

Универсальные сварочные выпрямители серии ВДУ типов ВДУ-305, ВДУ-504 и ВДУ-504-1 выполнены передвижными, предназначены для однопостовой механизированной сварки плавящимся электродом изделий из стали в углекислом газе, а также для ручной дуговой сварки покрытыми электродами. В первом случае выпрямитель работает с жесткой внешней характеристикой, во втором — с падающей характеристикой. Выпрямители ВДУ-504-1 используют для комплектации унифицированных сварочных полуавтоматов.

Кроме передвижных выпрямителей

изготавливаются стационарные выпрямители ВДУ-1201 и ВДУ-1601, их перемещают подъемными средствами, они используются в сварочных автоматах.

Техническая характеристика

сварочных выпрямителей	серии ВДУ	
	ВДУ-305	ВДУ-504
Пределы регулирования сварочного тока, А:		
падающая характеристика	20—315	70—500
жесткая характеристика	50—315	100—500
Пределы регулирования рабочего напряжения, В:		
падающая характеристика	21—33	23—45
жесткая характеристика	16—38	18—50
Напряжение холостого хода, В, не более	70	80
Первичная мощность, кВт·А	23	40

Сварочные генераторы. Сварочные генераторы по магнитным системам и расположению обмоток возбуждения отличаются от генераторов общепромышленного исполнения. Они подразделяются на коллекторные и вентильные (безколлекторные) сварочные генераторы. Коллекторные сварочные генераторы могут работать нормально только при направлении вращения, указанном стрелкой на подшипниковом щите генератора. В коллекторных сварочных генераторах переменная эдс, индуцируемая в якоре, выпрямляется во вращающемся контактном устройстве, называемом коллектором.

Коллекторные сварочные генераторы выпускают с двумя обмотками возбуждения: с самовозбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой в генераторе ГСО-300 (рис. 122), предназначенном для сварочных агрегатов с бензиновым или дизельным двигателями, а также для преобразователей ПСО-300 и др.; с независимым возбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой (рис. 123) в генераторе ГСО-500, находящемся, например, в сварочном преобразователе ПД-501.

Генераторы с параллельной намагничивающей и последовательной размагничивающей обмотками возбуждения относятся к системе генераторов с самовозбуждением (рис. 122). Поэтому их полюсы

изготавливаются из ферромагнитной стали, имеющей остаточный магнетизм.

Как видно из схемы (рис. 122, а), генератор имеет на основных полюсах две обмотки: намагничивающую *H* и последовательно включенную размагничивающую *C*. Ток намагничивающей обмотки создается якорем самого генератора, для чего служит щетка *c*, расположенная на коллекторе посередине между основными щетками *a* и *б*.

Встречное включение обмоток создает падающую внешнюю характеристику генератора (рис. 122, б). Сварочный ток плавно регулируется реостатом РП, включенным в цепь обмотки самовозбуждения. Для ступенчатого регулирования тока размагничивающая обмотка секционирована.

На схеме генератора (рис. 123, а) показаны две обмотки возбуждения: независимая *H* и последовательная *C*, которые расположены на разных полюсах. В цепь независимой обмотки включен реостат РТ. Последовательная обмотка изготовлена из шины большого сечения, так как в ней протекает большой сварочный ток. От части ее витков сделана отпайка, вынесенная на переключатель *П*.

Магнитный поток последовательной обмотки направлен навстречу магнитному потоку, создаваемому независимой обмоткой возбуждения. В результате действия этих потоков появляется результирующий поток. При холостом ходе последовательная обмотка не работает.

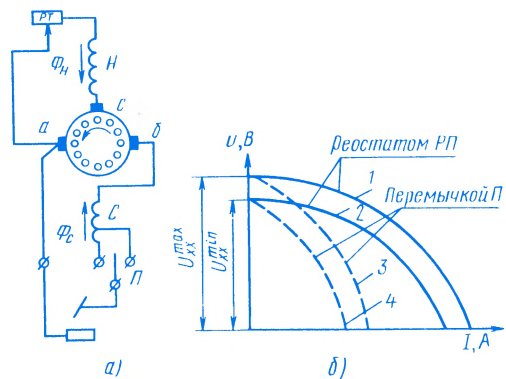


Рис. 122. Генератор с самовозбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой:

а — принципиальная электрическая схема, б — внешние характеристики 1—4

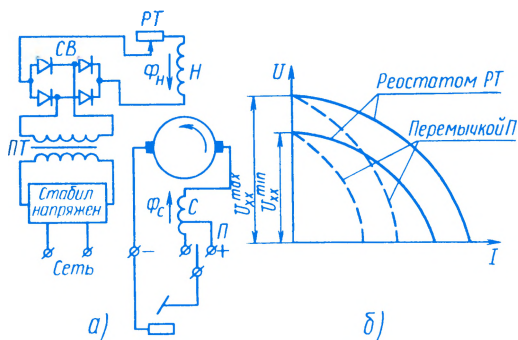


Рис. 123. Генератор с независимым возбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой:

а – принципиальная электрическая схема, *б* – внешние характеристики

Напряжение холостого хода генератора определяется током в обмотке возбуждения. Это напряжение можно регулировать реостатом *РТ*, изменяя значение тока в цепи намагничивающей обмотки.

При нагрузке в последовательной обмотке появляется сварочный ток, создающий магнитный поток противоположного направления. С увеличением сварочного тока противодействующий магнитный поток увеличивается, а рабочее напряжение уменьшается. Таким образом образуется падающая внешняя характеристика генератора (рис. 123, *б*).

Изменяют внешние характеристики регулированием тока в обмотке независимого возбуждения и переключением числа витков размагничивающей обмотки.

При коротком замыкании ток возрастает настолько, что размагничивающий поток резко увеличивается. Результирующий поток, а следовательно, и напряжение на зажимах генератора практически падают до нуля.

Сварочный ток регулируется двумя способами: переключением числа витков размагничивающей обмотки (два диапазона) и реостатом в цепи независимой обмотки (плавное регулирование). При подключении сварочного провода на левый зажим устанавливаются малые токи, на правый – большие.

Генератор с самовозбуждением менее чувствителен к кратковременным снижениям напряжения силовой сети, чем генератор с независимым возбуждением.

Широко используется сварочный генератор ГСГ-500-1 с самовозбуждением и жесткой внешней характеристикой; входит в состав преобразователя ПСГ-500-1, предназначенного для шланговой сварки в углекислом газе плавящимся электродом с постоянной скоростью подачи проволоки.

К универсальным сварочным генераторам относятся однополюсные генераторы ГД-502 и др.; падающие или жесткие внешние характеристики получаются в зависимости от включения или выключения последовательной размагничивающей обмотки.

Вентильные сварочные генераторы. Вентильный генератор с самовозбуждением состоит из индукторного пульсационного синхронного генератора повышенной частоты (200 или 400 Гц) особой конструкции и бесконтактного выпрямительного устройства. Номинальный сварочный ток 315 А, пределы регулирования тока 40–350 А, напряжение холостого хода 85 В.

Вентильный сварочный генератор ГД-312 входит в состав сварочного агрегата АДБ-318 (агрегат дуговой с бензиновым двигателем внутреннего сгорания) и в состав преобразователя ПД с асинхронным двигателем.

Агрегат АДБ-318 предназначен для работы в полевых условиях, преобразователь ПД – в заводских условиях при наличии в цехе трехфазной силовой сети.

§ 95. Сварочные многопостовые системы

В многопостовых системах источник питания снабжает энергией одновременно несколько сварочных постов. Такая система создает условия для более рационального использования производственных площадей и значительного уменьшения расходов на электроэнергию и обслуживание оборудования.

Для многопостовой сварки применяют мощный источник питания с жесткой внешней характеристикой (рис. 124).

Для получения падающей характеристики на каждом сварочном посту сварочная дуга включается последовательно через балластный реостат (рис. 125). Изменением сопротивления реостата регу-

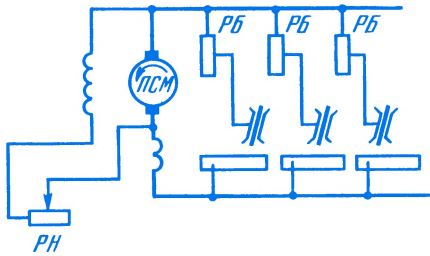


Рис. 124. Принципиальная схема многопостового источника;

PH – реостат регулирования напряжения, PB – балластный реостат

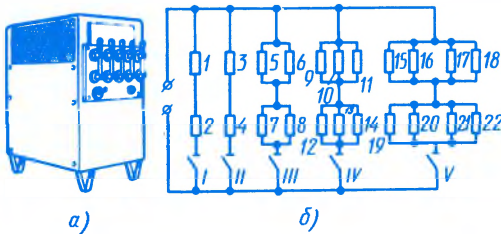


Рис. 125. Балластный реостат типа PB:

a – внешний вид, б – принципиальная схема; 1 – 22 – сопротивления, I – V – рубильники

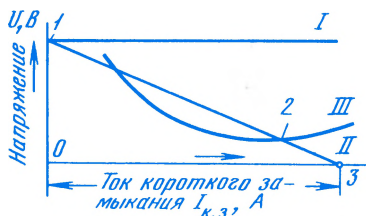


Рис. 126. Вольт-амперная характеристика сварочного генератора (I), сварочного поста при включении балластного реостата (II) и сварочной дуги (III)

лируют сварочный ток по формуле $I = (U_b - U_d) / R$, где U_b – напряжение на зажимах выпрямителя (обычно равно 70 В), U_d – напряжение дуги, R – сопротивление балластного реостата.

Падающая характеристика (рис. 126) имеет вид прямой линии II. Она пересекает статическую характеристику сварочной дуги III в точке 2, являющейся точкой устойчивого горения дуги. Точка I соответствует холостой работе выпрямителя, а точка 3 – моменту короткого замыкания.

Для ручной дуговой сварки покрытыми электродами используют многопостовые выпрямительные установки ВДМ-1001 (выпрямитель дуговой многопостовой, условный номинальный ток – 10, регистрационный номер – 01, рассчитан на 1000 А номинального тока) или ВДМ-1601.

Количество сварочных постов, которые можно подключить к многопостовому выпрямителю, определяют по формуле $n = I / (I_0 a)$, где I – номинальный ток выпрямителя, А; I_0 – наибольший ток, потребляемый одним сварочным постом; a – коэффициент одновременности работы постов, применяемый в расчетах равным 0,6–0,65.

Пример. Определить количество сварочных постов от многопостового выпрямителя с номинальным током 1000 А, если на каждом посту максимальный ток равен 200 А ($n = 1000 / 200 \cdot 0,6 = 8,4$; принимаем 8 постов).

Балластные реостаты (см. рис. 125) служат для создания падающей характеристики на каждом посту и регулирования сварочного тока. Реостатом производится ступенчатая регулировка сварочного тока в достаточно широких пределах (20 ступеней). Реостат состоит из пяти групп сопротивлений, которые с помощью пяти рубильников могут включаться в цепь сварочной дуги. Каждая группа сопротивлений включает в себя несколько элементов сопротивлений, выполненных из проволоки или ленты с большим удельным сопротивлением. Из рис. 125 видно, что минимальный сварочный ток будет при включении рубильника I, а максимальный – при включении всех пяти рубильников. Выпускаются балластные реостаты типов РБ-201, РБ-301 и РБ-501. Реостат РБ-201 дает возможность регулировать сварочный ток от 10 до 200 А через каждые 10 А; РБ-301 – от 15 до 300 А через каждые 15 А; РБ-501 – от 25 до 500 А через каждые 25 А.

Для механизированной сварки плавящимся электродом в углекислом газе применяют многопостовые выпрямители ВДГМ-1602, ВДГМ-1602-1, ВДГМ-1602-2 в зависимости от числа сварочных постов и ВМГ-5000 с частотой пульсаций выпрямленного напряжения 300 Гц.

§ 96. Специализированные источники питания

Для плазменной сварки промышленность выпускает установки УПС-301 и УПС-501.

Для аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом и плазменной сварки предназначена установка УДГ-101.

Институтом электросварки им. Е. О. Патона разработан и выпускается источник питания АП-5М, предназначенный для аргонодуговой и плазменной сварки. Особенностью источника является то, что сварочный ток поддерживается постоянным при изменении длины дуги и напряжения питающей сети. Управление источником — с дистанционного пульта.

На базе единой принципиальной электрической схемы с помощью тиристоров (тиристор — управляемый кремниевый вентиль) наша промышленность выпускает специализированные источники питания постоянного тока с унифицированными блоками для сварки, резки

и плазменного напыления. Источники серий ВСВУ и ВСВ используют для сварки неплавящимся электродом, серии ВСП — для плазменной резки, источник ВПИ — для плазменного напыления.

НИКИМТ разработал и выпускает источник ТИР-300Д для сварки неплавящимся электродом.

Контрольные вопросы

1. Перечислите требования к источникам питания дуги при сварке покрытыми электродами.
2. Что понимают под режимом работы источника питания дуги?
3. Что такое статическая характеристика дуги?
4. Дайте определение внешней статической характеристики источника питания дуги.
5. Какая должна быть статическая характеристика источника питания для полуавтоматической шланговой сварки?
6. Как расшифровать источник питания ТД-307У2?
7. В чем преимущества сварочного выпрямителя перед вращающимся сварочным генератором?

ГЛАВА XIX. ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

§ 97. Устройство полуавтомата

В сварочном автомате две основные операции сварки автоматизированы: подача сварочной проволоки в зону дуги и перемещение дуги по линии шва; в полуавтомате механизирована лишь одна операция — подача электродной проволоки в дугу, а перемещение дуги для образования шва производится сварщиком вручную (рис. 127). Автоматическая подача проволоки с катушки 1 осуществляется подающим механизмом 2, состоящим из электродвигателя *М* переменного или постоянного тока, коробки скоростей ведущего 7 и прижимного ролика 6. Проволока 8 подается роликами с постоянной заданной скоростью через внутренний канал гибкого шланга 3, держатель 4 и наконечник 5. Сварщик держит горелку и вручную перемещает ее по шву.

Одной из основных частей полуавто-

мата является шланг 3, состоящий из проволочной спирали с оплеткой и резиновой оболочкой, по внутреннему каналу которой проходит электродная проволока. Сварочный ток, защитный газ и охлаждающая вода подводятся отдельно. В комбинированных шлангах кроме электродной проволоки в одной оболочке проходят токопроводящий провод, провода цепи управления, защитный газ и охлаждающая вода. Комбинированный гибкий шланг имеет большую массу, сварщику трудно управлять им. Современные полуавтоматы снабжаются автономными шлангами.

Длина шланга составляет не более 3,5 м. На горелке находится кнопка включения подающего механизма.

Подача электродной проволоки вперед и назад осуществляется переключением пакетного переключателя.

В полуавтоматах для сварки в защит-

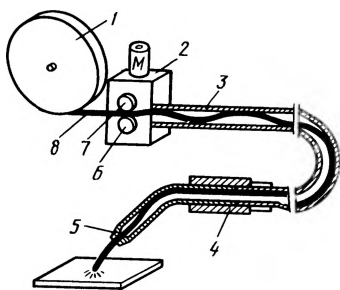


Рис. 127. Шланговый полуавтомат толкающего типа

ном газе одновременно с пуском электродвигателя срабатывает реле для автоматического включения газового клапана. При этом начинается подача электродной проволоки и газа. При размыкании сварочной цепи реле обесточивается и размыкает свои контакты. Подача электродной проволоки и газа прекращается.

Электродвигатель для подачи сварочной проволоки подключается чаще всего к источнику питания сварочной дуги или сети через понижающий трансформатор 380/36 В.

Полуавтоматы подразделяют по назначению на стационарные, где в одном корпусе смонтированы все части аппарата вместе с источником питания; передвижные, где механизм подачи и катушка с проволокой размещены на тележке; переносные, где механизм подачи и катушка с проволокой максимально облегчены; ранцевого типа — для сварки в условиях монтажа и специализированные — для выполнения определенных операций.

Расположение подающего механизма. Для полуавтоматической сварки приме-

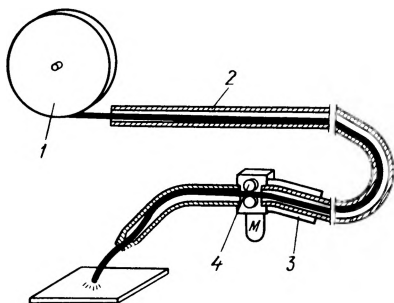


Рис. 128. Шланговый полуавтомат тянущего типа:

1 — катушка с проволокой, 2 — шланг, 3 — держатель горелки, 4 — подающие ролики, М — электродвигатель механизма протягивания

няют шланговые полуавтоматы толкающего типа (рис. 127) и тянущего типа (рис. 128). Тип полуавтомата определяется местом расположения электродвигателя.

Сопротивление прохождению проволоки зависит от количества изгибов шланга, его длины и материала трущихся поверхностей проволоки и канала.

Это сопротивление при работе полуавтомата меняется, что ведет к нарушению равномерности подачи проволоки и стабильности процесса сварки. Сопротивление проталкиванию проволоки может настолько увеличиться, что двигатель механизма подачи остановится или начнется пробуксовка проволоки в подающих роликах.

Для порошковых проволок из алюминия и титана, имеющих повышенный коэффициент трения, сопротивление проталкиванию намного больше, чем для стальных проволок сплошного сечения. Поэтому для снижения сопротивления проталкиванию применяют спирали, изготовленные из материалов с малым коэффициентом трения или обычные спирали, смазанные нейтральной смазкой (например, дисульфидом молибдена, снижающим сопротивление проталкиванию в 1,5–2 раза). Применение спиралей из бронзы снижает сопротивление в 2–3 раза по сравнению со сталью, а в трубках из фторопласта — в 6–10 раз.

Для мягких проволок из алюминия и его сплавов или порошковой проволоки с высоким коэффициентом трения (за счет неровностей поверхности проволоки), а также для проволок малого диаметра (менее 0,8 мм), способных сминаться в канале, полуавтоматы толкающего типа неприменимы.

В этих случаях применяют полуавтоматы тянущего типа, механизм подачи которых расположен в горелке. Однако длина шлангов этих полуавтоматов ограничивается малой мощностью электродвигателя (до 100 Вт) и не превышает 1 м. Более длинные шланги требуют увеличенной мощности и массы двигателей, а следовательно, большой массы горелки.

В полуавтоматах со шлангами более 5 м применяются механизмы подачи тянуще-толкающего типа, в которых имеет-

Таблица 20. Технические данные сварочных полуавтоматов

Сварочный полуавтомат	Номинальный сварочный ток при ПВ = 60%, А	Способ защиты дуги	Диаметр электродной проволоки, мм	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Длина шланга, м	Масса подающего устройства, кг
A-547У	315	Г	0,8—1,4	160—640	1,5; 2,5	6,25
A-765	500	О	2—3,5	72—720	3	20
A-825М	315	Г	0,8—1,4	140—650	1,5; 2,5	11
A-1230М	315	Г	0,8—1,4	145—680	1,5; 2,5	10
ПДГ-305	315	Г	0,8—1,4	120—1200	2,5	12,5
A-1197П	500	Г, П	1,6—3,2	92—920	3	23
ПДГ-601	630	Г, П	1,2—3,2	120—760	3	23
ПДА-300	315	А	1,6—2,0	120—420		10,4

Примечание. Г — сварка в газе, О — сварка без газовой защиты, П — сварка порошковой проволокой, А — сварка в аргоне.

ся толкающий механизм с двигателем, расположенный рядом с катушкой электродной проволоки, и тянущий механизм с двигателем, расположенный в горелке. Это значительно утяжеляет горелку, но устраняет неравномерность подачи проволоки в зону сварки.

Особенности в конструкциях полуавтоматов. Сварочные полуавтоматы могут быть использованы как для сварки, так и для наплавочных работ. Различают полуавтоматы универсальные и специализированные (табл. 20).

Полуавтомат А-547У (рис. 129) позволяет сваривать сталь толщиной 0,8 мм и выше, им выполняются угловые швы катетами 1—7 мм в различных положениях. Он состоит из легкого чемодана с подающим механизмом и катушкой для проволоки и пульта управления, смонтированного вместе с источником питания. Подача проволоки плавно регулируется изменением скорости электродвигателя постоянного тока и сменой подающих роликов. Особенностью полуавтомата является питание электродвигателя и дру-

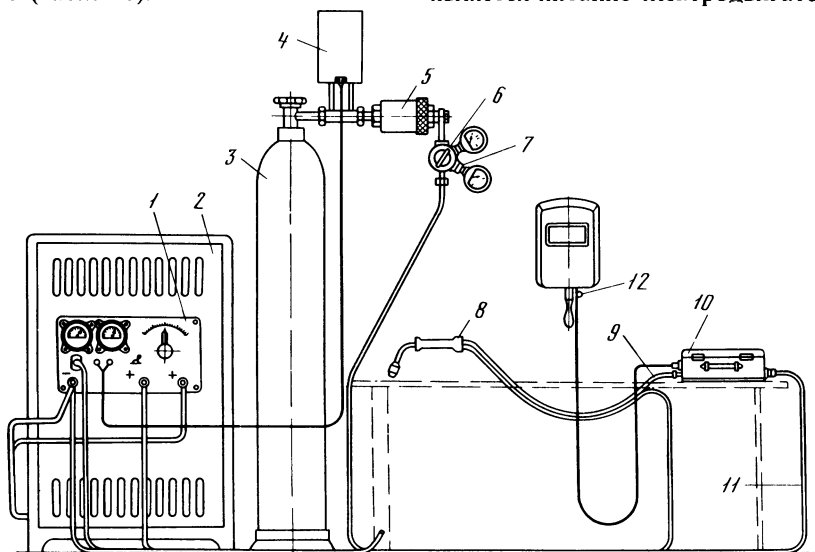


Рис. 129. Полуавтомат А-547У для сварки в газе:

1 — пульт управления, 2 — источник питания дуги и электродвигателя полуавтомата, 3 — баллон с газом, 4 — электроподогреватель газа, 5 — осушитель газа, 6 — редуктор, 7 — расходомер, 8 — горелка, 9 — шланг для подачи проволоки, 10 — чемодан с подающим механизмом и катушкой для проволоки, 11 — сварочный провод, 12 — кнопка «Пуск» для подачи напряжения от источника питания для дуги и двигателя полуавтомата, находящаяся на щитке сварщика

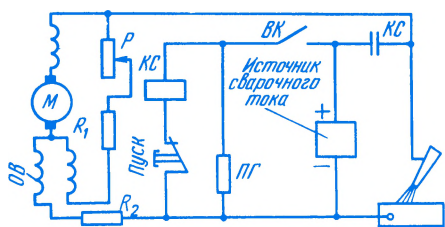


Рис. 130. Электрическая схема полуавтомата А-547У:

КС — контактор силовой, P — реостат для регулирования скорости подачи проволоки, R_1 , R_2 — постоянные сопротивления, ПГ — электроподогреватель газа, ВК — выключатель всей аппаратуры полуавтомата, «Пуск» — кнопка на щитке сварщика, ОВ — обмотка возбуждения электродвигателя

гих цепей управления (подогреватель газа, контактов) от источника сварочного тока (рис. 130). Перед началом сварки выключателем ВК производится подключение всей аппаратуры полуавтомата. После нажатия кнопки «Пуск», расположенной на щитке сварщика, замыкается цепь катушки силового контактора, срабатывает контактор и на горелку подается сварочное напряжение источника питания; одновременно включается двигатель механизма подачи проволоки, которая начинает подаваться в зону дуги. Процесс сварки продолжается, пока замкнута кнопка «Пуск». При отпускании кнопки процесс сварки прекращается.

Полуавтомат А-547У снабжается легкой горелкой (массой 120 г) для сварочной проволоки диаметром 0,8–1,0 мм (рис. 131), со шлангом длиной 1,2 м и тяжелой горелкой — для проволоки 1,2–1,4 мм. Газ подводится по отдельной трубке, присоединенной к штуцеру.

Вылет электродной проволоки (расстояние между точкой подвода сварочного тока к проволоке и изделием) обычно равняется:

Диаметр проволоки, мм	0,5	0,8	1,0
Вылет, мм	5–8	6–12	7–13

Продолжение

Диаметр проволоки, мм	1,2	1,6	2,0
Вылет, мм	8–15	13–20	15–25

Если вылет сварочной проволоки больше указанного, то увеличивается разбрызгивание электродного металла и нарушается процесс сварки; если вылет меньше, то подгорает наконечник.

Сварка в различных положениях шва производится на разных режимах. При переходе от нижних к вертикальным швам режим (напряжение и скорость подачи проволоки) следует уменьшать. Частное изменение режима сварки вручную отрывает сварщика и занимает много времени, поэтому некоторые полуавто-

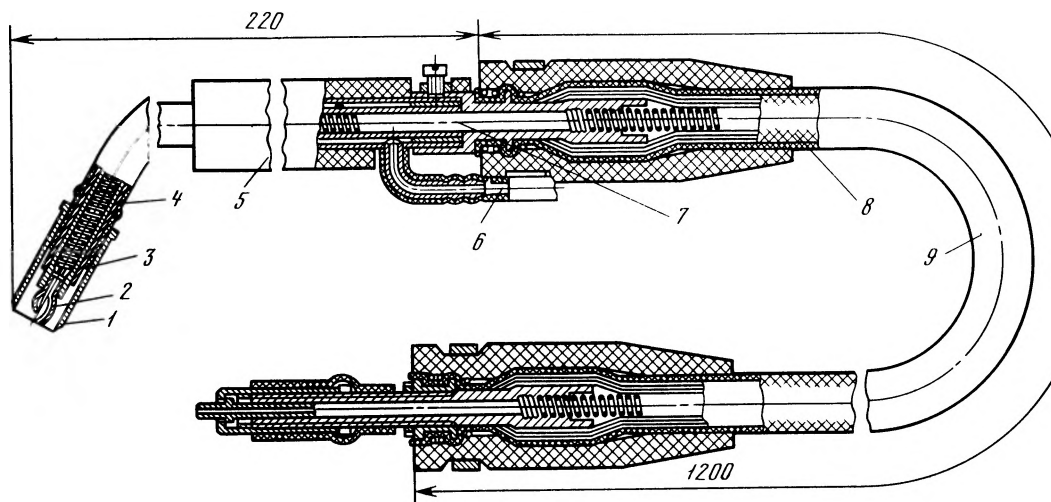


Рис. 131. Горелка легкого типа полуавтомата А-547У:

1 — сопло, 2 — токоподвод, 3 — отверстия выхода газа, 4 — спираль, 5 — ручка, 6 — подвод газа, 7 — зажим держателя, 8 — токоподводящая оплетка, 9 — шланг для подачи проволоки и сварочного тока

маты комплектуются устройствами для дистанционного управления режимом сварки.

К двухрежимным относится шланговый полуавтомат А-929С. В процессе работы переключение режимов производится нажатием кнопки, расположенной на горелке полуавтомата.

Для сварки порошковой проволокой применяются полуавтоматы А-765, ПДГ-601, А-1197П и др.

Кинематическая схема полуавтомата А-765 представлена на рис. 132.

Унифицированный полуавтомат А-1197П предназначен для сварки как порошковой проволокой, так и для сварки проволокой сплошного сечения диаметром 1,6–2 мм на токах до 500 А.

Кроме универсальных полуавтоматов выпускаются специализированные полуавтоматы, например полуавтомат А-1114, предназначенный для сварки в монтажных условиях. Полуавтомат А-1114 (рис. 133) построен по упрощенной схеме; он обладает легкостью и компактностью — механизм подачи и катушка с проволокой расположены в чемодане.

К специализированным полуавтоматам относится полуавтомат ранцевого типа ПДГ-304 (рис. 134), предназначенный для сварки в монтажных условиях. Он снабжен ранцевыми ремнями для переноски его на спине. Такая компоновка полуавтомата позволяет пользоваться коротким шлангом, что повышает равномерность подачи проволоки. Масса механизма подачи сварочной проволоки 7 кг.

Институт «Оргэнергострой» разработал полуавтомат типа ПМП для сварки порошковой проволокой в монтажных условиях. Масса полуавтомата 10 кг. Особенностью конструкции полуавтомата является отсутствие шкафа управления, что выгодно отличает его от других полуавтоматов, имеющих довольно громоздкие и тяжелые шкафы управления.

В институте электросварки им. Е. О. Патона создан полуавтомат тянущего типа А-1748 с пневмоприводом для сварки алюминиевых сплавов мягкими алюминиевыми проволоками диаметром от 1,0 до 2,0 мм.

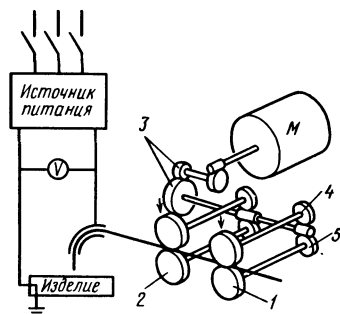


Рис. 132. Кинематическая схема шлангового полуавтомата А-765:

1 — ролик прижимный, 2 — ролик ведущий, 3 — сменные шестерни, 4, 5 — червячные колеса

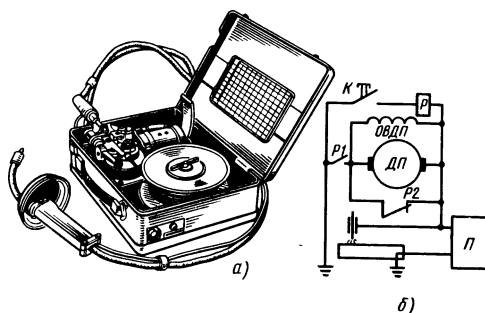


Рис. 133. Полуавтомат А-1114:

а — внешний вид, б — электрическая схема; ДП — двигатель подачи проволоки, ОВДП — обмотка возбуждения двигателя подачи, К — кнопка включения полуавтомата (на рукоятке горелки), Р — реле для включения нормально открытого контакта Р1 и для выключения нормально закрытого контакта Р2 в цепи двигателя, П — преобразователь сварочный

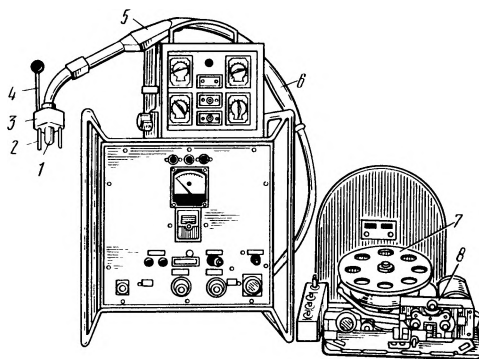


Рис. 134. Полуавтомат ПДГ-304 ранцевого типа:

1 — сопло, 2 — упор, 3 — приставка, 4 — рукоятка, 5 — горелка, 6 — шланг, 7 — катушка, 8 — механизм подачи

§ 98. Технология механизированной сварки в газе

Для защиты зоны сварки используют различные газы: 100%-ный углекислый технический газ CO_2 или смеси углекислого газа с аргоном, или углекислый газ с аргоном и кислородом (например, 70% углекислого газа, 25% аргона, 5% кислорода), предназначенных для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей (редко применяют указанные газы и их смеси для сварки высоколегированных сталей); 100%-ный технический аргон или аргон плюс гелий, или 100%-ный гелий технический, или смеси газов на основе прежде всего аргона, предназначенных для сварки легированных сталей, цветных металлов и их сплавов.

Впервые в мире в СССР разработана и широко применяется шланговая сварка в углекислом газе.

Углекислый газ. При нормальном атмосферном давлении углекислый газ тяжелее кислорода — удельная плотность углекислого газа составляет 0,00198 г/см³, а кислорода — 0,00133 г/см³. При температуре 31°С и давлении 7,53 МПа углекислый газ сжижается, при атмосферном давлении температура сжижения равна — 78,5°С. Хранят и транспортируют углекислый газ в стальных сосудах под давлением 6–7 МПа. В стандартный баллон емкостью 40 дм³ вмещается 25 кг жидкой углекислоты, которая при испарении дает 12 625 дм³ газа. Жидкая углекислота занимает 60–80% объема баллона, остальной объем заполнен испарившимся газом.

Жидкая углекислота способна растворять воду, поэтому выделяющийся в баллоне углекислый газ перед подачей в зону дуги должен осушаться; концентрация его должна быть не менее 99%. Если углекислый газ содержит влагу, то неизбежна пористость шва.

Для сварки используются специально выпускаемой сварочной углекислотой, можно пользоваться также пищевой углекислотой.

Пищевая углекислота содержит много влаги, поэтому перед сваркой газ следует подвергать сушке пропусканием через патрон, заполненный обезвоженным

медным купоросом или через силикагелевый осушитель.

Сварочный углекислый газ отвечает следующим техническим требованиям: для I сорта CO_2 — не менее 99,5%, II сорта — 99%; водяных паров для I сорта — не более 0,18%, для II сорта — 0,51%.

При количестве сварочных постов более 20 целесообразно иметь централизованное питание их углекислым газом, подаваемым по трубопроводу от рампы или от газификационной установки. Сварочные посты рекомендуется оборудовать электромагнитными клапанами, позволяющими автоматически перед зажиганием дуги включать подачу газа и после гашения дуги выключать газ. На каждом посту должен быть расходомер (ротаметр).

Подбор сварочной проволоки при сварке в углекислом газе. В зоне сварки протекает ряд химических реакций, в том числе реакция между нижним оксидом железа FeO и углеродом, находящимся в зоне сварки, по формуле $\text{Fe} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{FeO}$; $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{CO} + \text{Fe}$ и др.

Образование газа CO и потом CO_2 приводит к образованию пор. Кроме того, поры при сварке в углекислом газе могут быть следствием влаги (при высоких температурах H_2O распадается на $\text{H} + \text{H}$ и $\frac{1}{2}\text{O}_2$, ржавчины (формула может быть $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) и влияния азота воздуха.

Для подавления образования CO в состав сварочной проволоки вводят повышенное количество марганца и кремния (марки Св-08Г2С, Св-08ГС и др.). При сварке низкоуглеродистых сталей содержание в металле шва кремния больше 0,2% и марганца более 0,4% препятствует образованию пор. На степень окисления металла и образования пор влияют технологические условия сварки (длина дуги, род и полярность тока, диаметр проволоки и плотность тока на электроде). Сварка на постоянном токе обратной полярности дает меньшее окисление и более высокое качество шва, чем на прямой полярности. При сварке проволокой диаметром 0,3–1,2 мм, выполняемой с высокими скоростями подачи проволоки в дугу, происходит значительно меньшее окисление элементов, чем при сварке проволокой диаметром 1,6–2

Таблица 21. Ориентировочные режимы шланговой сварки стальных листов встык без разделки кромок в углекислом газе

Толщина металла, мм	Зазор, мм	Число слоев	Диаметр проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч	Расход газа, дм ³ /мин
0,6–1	0,5–0,8	1	0,5–0,8	50–60	18	20–25	6–7
1,2–2	0,8–1	1–2	0,8–1	70–100	18–20	18–24	10–12
3–5	1,6–2	1–2	1,6–2	180–200	26–28	20–22	14–16
6–8	1,6–2	2	2	280–300	28–30	24–30	16–18

Таблица 22. Ориентировочные режимы шланговой сварки стальных листов втавр без разделки кромок в углекислом газе

Толщина металла, мм	Диаметр проволоки, мм	Катег шва, мм	Число слоев	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Расход газа, дм ³ /мин
1	0,5	1,4	1	60	18	18–20	5–6
1,5–2	0,8	2,1–2,8	1	75	18–20	16–18	6–8
2–3	1,2	2,8–4,2	1	90–130	19–21	14–16	8–10
3–4	1,6	4,2–5,8	1	120–180	28–30	20–22	12–16
4 и более	2	7	2	230–260	28–30	25–30	16–18

мм с малыми скоростями подачи проволоки.

Плотность тока на электроде при сварке в углекислом газе должна быть не ниже 80 А/мм². При таком режиме потери на разбрызгивание электродного металла не превышают 10–15%.

Для сварки сталей в углекислом газе предложены проволоки марок Св-08Г2СНМТ, Св-08СЮ, Св-08Г2СЮ и Св-08ГЗСЮ с повышенным качеством сварных соединений. Применение проволоки с алюминием целесообразно при сварке изделий, для которых использование стандартных проволок Св-08Г2С и Св-08ГС не обеспечивает требуемого качества швов по стойкости против пор.

Технология сварки в CO₂ и газовых смесях. При сварке в углекислом газе основные типы сварных соединений и их конструктивные элементы выбираются по ГОСТ 14771–76.

Режимы сварки сталей в углекислом газе приведены в табл. 21 и 22.

Источником питания дуги служит сварочный выпрямитель или преобразова-

тель с жесткой внешней характеристикой. Сварка выполняется на обратной полярности. Расстояние между мундштуком и изделием (вылет проволоки) при токе 60–150 А и напряжении на дуге 22 В обычно берется 7–14 мм; при токе 200–500 А и напряжении 30–32 В – 15–25 мм.

Металл толщиной 1,5–3 мм сваривают встык электродом на весу. Более тонкий металл (0,8–12 мм) сваривают на медной или остающейся стальной подкладке.

При сварке в смеси газов (например, 70%CO₂ + 30%O₂) улучшается формирование шва, брызги расплавленного электродного металла легче удаляются с поверхности свариваемого изделия. Однако сварка в такой газовой смеси вызывает более интенсивное, чем в 100%-ном углекислом газе, выгорание легирующих элементов из металла шва и образование на поверхности шва шлаковой корки. Лучшими считают смеси на основе аргона (аргон + углекислый газ + кислород; их процентный состав будет зависеть от

химсостава свариваемой стали и других условий сварки).

Особенности сварки различных сталей.

Заключаются прежде всего в подборе марки сварочной проволоки в зависимости от химсостава свариваемой стали. Низкоуглеродистые и низколегированные стали обычно сваривают стандартной кремнемарганцевой проволокой марок Св-08Г2С, Св-08ГС, Св-12ГС. Низколегированные стали, содержащие хром и никель, для повышения коррозионной стойкости сваривают проволокой Св-18ХГСА и Св-ХГ2С. Низколегированные стали типа хромансиль (15ХГСА, 20ХГСА и др.) толщиной до 4 мм сваривают проволокой Св-18ХСА, Св-18ХМА, Св-10ГСМТ и др. Низколегированные теплоустойчивые молибденовые и хромо-молибденовые стали 12ХМ, 15ХМА, 20ХМ и 20ХМА сваривают проволокой Св-08ХГ2СМА. Высоколегированные аустенитные хромоникелевые нержавеющие стали типа 06Х18Н9 сваривают в углекислом газе проволокой Св-06Х19Н9Т и Св-07Х18Н9ТЮ.

§ 99. Технология механизированной сварки порошковой и самозащитной проволокой

Порошковая проволока. Представляет собой стальную круглую оболочку, наполненную запрессованным в ней порошком. Она применяется как для сварки, так и для наплавки.

В настоящее время изготавливается порошковая проволока в основном пяти типов (рис. 135). Оболочки порошковой проволоки типов 1 и 2 представляют собой свернутые стальные оболочки в разъемные трубки с одной продольной щелью (тип 1) или с двумя продольными щелями (тип 2); типы 3 и 4 представляют разъемные трубки с продольной щелью, у которых один или два края стальной ленты заформованы порошковой шихтой; тип 5 выполнен в виде трубки без продольной щели.

Порошковая проволока изготавливается диаметром от 1,2 до 3,6 мм. Для нее используется лента из низкоуглеродистой стали марки 08кп холодного проката в состоянии «мягкая» или «особо мягкая».

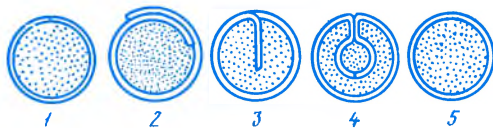


Рис. 135. Конструкции стальных оболочек порошковых проволок:

1, 2 — простого сечения, 3, 4 — сложного сечения, 5 — трубчатого сечения без продольной щели

Процесс изготовления порошковой проволоки типов 1, 2, 3 и 4 начинается с удаления смазки с ленты в очистительном приспособлении. Затем лента пропускается через профилирующие устройства и заполняется шихтой. При протягивании через фильтр лента сворачивается в трубку и обжимает находящуюся в ней шихту. Проволока проходит последовательно через несколько фильтров, постепенно уменьшаясь в диаметре до необходимого размера, а заполняющий ее порошок уплотняется.

Важным показателем качества порошковой проволоки является коэффициент заполнения K_3 , который определяется следующим выражением: $K_3 = M_{ш}/(M_{об} + M_{ш})$, где $M_{ш}$ — масса шихты; $M_{об}$ — масса оболочки порошковой проволоки.

Коэффициент заполнения порошковых проволок обычно составляет 0,15—0,40.

В настоящее время отечественной промышленностью выпускается порошковая проволока с пятью видами шихты: рутило-целлюлозная, карбонатно-флюоритная, флюоритная, рутиловая и рутило-флюоритная. Последние два типа порошковой проволоки используют для сварки с дополнительной защитой углекислым газом.

В табл. 23 приведены технические характеристики некоторых марок порошковой проволоки и сравнение прочности металла шва, выполненного порошковой проволокой и покрытыми электродами.

Способ изготовления порошковой проволоки (посредством сворачивания низкоуглеродистой стальной ленты с дальнейшей протяжкой до диаметра не менее 2 мм) приводит к наличию в ней продольной щели, что не исключает возможного высыпания порошковой шихты, а также разгерметизации проволоки. Такая проволока употребляется только для сварки низкоуглеродистых и некоторых низколегированных сталей.

Таблица 23. Характеристика порошковой проволоки

Марка проволоки	Диаметр, мм	Конструкция	Основные компоненты порошка	Положение сварки	Прочность металла шва по сравнению с выполненным покрытыми электродами	Характер свариваемых изделий
ПП-АН1	2,8	Простая трубчатая с продольной щелью	Рутил + целлюлоза	Н	Э50	Неответственные
ПП-АН3	3,0	То же	Мрамор + + плавиковый шпат + + рутил	Н	Э50А	Ответственные
ПП-АН7	2,3	»	То же	Н, В ₁ , Г	Э50А	»
ПП-АН11	2,0–2,4	»	»	Н ₁ , В ₂	Э50А	»
ЭПС-15/2	2,5	Сложная трубчатая с продольной щелью	»	Г, П	Э50А	»
ПП-2ДСК	2,3	То же	Плавиковый шпат	Н	Э50А	»
ПП-ЛПИЗ	1,6	Трубчатая без щели	—	—	—	—

Примечание. Н – нижнее, В₁ – вертикальное «снизу вверх», В₂ – вертикальное «сверху вниз», Г – горизонтальное, П – потолочное.

Повышенное качество порошковой проволоки получается, если ее изготовлять без продольной щели. Это возможно, если изготовлять порошковую проволоку из трубки относительно большого диаметра, заполненной порошковой шихтой, с дальнейшим волочением этой заготовки на проволоку требуемого диаметра. Порошковая проволока без продольной щели применяется для сварки среднелегированных сталей.

Высокое качество металла шва при сварке низкоуглеродистых и некоторых низколегированных сталей получается, если пользоваться порошковой проволокой с продольной щелью и сварку производить в СО₂. Обычно сварка в СО₂ ведется порошковой проволокой марок ПП-АН4, ПП-АН8, ПП-АН9, ПП-АН10 и др.

Техника сварки. Процессы нагрева, образования капель и их переноса в сварочную ванну покрытым электродом и порошковой проволокой являются родственными, но различными в количественном отношении. Это объясняется различным расположением по сечению электродов слоев электродного металла, покрытия и порошка. В результате этого

формирование капель, их частота и форма становятся различными.

При сварке электродом переносятся капли, покрытые шлаком. При сварке порошковой проволокой, особенно простого сечения, шлак часто находится внутри и снаружи капель.

Практика сварки порошковой проволокой простого сечения (диаметр проволоки 3,2 мм, ток 300 А, скорость сварки 80 см/мин) показывает, что конец порошковой проволоки оплавляется неравномерно. Форма оплавленного торца близка к форме эллипса, причем длинная ось эллипса расположена вдоль шва.

При равных диаметрах покрытого электрода и порошковой проволоки простого сечения глубина проплавления отличается в два раза и более (при сварке на одном токе); при сварке порошковой проволокой металл проплавляется относительно глубже. Чем ниже скорость сварки, тем больше разница в глубине проплавления.

При сварке порошковой проволокой простого сечения перенос электродного металла происходит в основном в направлении оси электрода, но наблюдается заметное блуждание дуги. Эта особен-

ность сварки порошковой проволокой простого сечения приводит к подрезам на вертикальном элементе таврового сечения.

При сварке втавр с равными толщинами деталей для исключения или уменьшения подреза на вертикальном элементе порошковую проволоку простого сечения следует установить под углом 55–60° к горизонтالي (при сварке покрытыми электродами обычно 45°).

Техника сварки порошковой проволокой сложного сечения приближается к технике сварки покрытыми электродами.

Наряду с достоинствами сварка открытой дугой порошковой проволокой с продольной щелью имеет тот недостаток, что плотный беспористый наплавленный металл удается получить в сравнительно ограниченном диапазоне режимов сварки.

Основной причиной пористости при сварке сталей порошковой проволокой с продольной щелью является повышенное содержание в наплавленном металле азота и водорода воздуха, влаги.

Для уменьшения содержания водорода и азота в металле шва порошковую проволоку простого изготовления необходимо прокалывать при соответствующей температуре и с определенной выдержкой времени. Например, проволоку с сердечником рутило-карбонатного типа рекомендуется прокалывать при температуре 250°C в течение 1,0–1,5 ч.

Изменяя вылет порошковой проволоки простого изготовления, можно в определенных пределах регулировать содержание азота, водорода и различных оксидов в металле шва.

Режимы сварки низкоуглеродистой стали порошковой проволокой с одним загибом оболочки, например марки ПП-2ДСК, диаметром 2,1 мм следующие:

Толщина листа, мм	4	10	50
Число проходов	1	2–3	10
Сварочный ток, А	180–200	450–500	600
Скорость подачи проволоки, м/ч	140	475	500

В настоящее время находят практическое применение самозащитная проволока марок Св-20ГСТЮА с церием и Св-15ГСТЮЦА с цирконием (ГОСТ 2246–70).

Для питания дуги при шланговой сварке порошковой и самозащитной проволоками пользуются сварочными выпрямителями и сварочными преобразователями, имеющими жесткую внешнюю характеристику.

§ 100. Основные требования безопасности труда при механизированной сварке

1. Руководствоваться правилами безопасности труда, описанными в § 24.

2. Перед пуском сварочного полуавтомата необходимо проверить исправность пускового устройства – рубильника, кнопочного выключателя.

3. Корпуса источника питания дуги и аппаратного ящика должны быть заземлены.

4. При включении полуавтомата первоначально следует включить рубильник (магнитный пускатель), а затем – аппаратный ящик. При выключении – наоборот.

5. Шланги для защитного газа и водяного охлаждения у полуавтомата в местах соединения со штуцерами не должны пропускать газ и воду.

6. Опирайтесь или садитесь на источник питания дуги и аппаратный ящик не рекомендуется.

7. При работе открытой дугой на расстоянии менее 10 м необходимо ограждать места сварки или пользования защитными очками.

8. Намотку сварочной проволоки с бухты на кассету нужно производить только после специального инструктажа.

9. По окончании работы выключить ток, газ и воду.

10. О замеченных неисправностях в работе оборудования необходимо доложить мастеру цеха и без его указания к работе не приступать.

11. Устранять неисправности полуавтомата самому сварщику запрещается.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные части шлангового полуавтомата.

2. Что такое двухрежимный шланговый полуавтомат?

3. Какие защитные газы применяют при шланговой сварке?

4. Какие бывают типы порошковой проволоки?

ГЛАВА XX. ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ РУЧНОЙ СВАРКИ ВОЛЬФРАМОВЫМ ЭЛЕКТРОДОМ В ИНЕРТНОМ ГАЗЕ

§ 101. Сущность сварки в инертном газе

В инертных газах — аргоне, гелии и их смесях — сваривают нержавеющие стали, алюминий, медь, титан, никель и их сплавы. Для сварки меди используют также азот, являющийся по отношению к ней инертным газом.

Сварка в инертном газе выполняется как неплавящимся, так и плавящимся электродом.

Инертные газы не растворяются в металле сварочной ванны и не вступают в химическое взаимодействие с расплавленным металлом и его оксидами, они лишь обеспечивают защиту дуги и расплавленного металла от газов окружающего воздуха.

Сварка в инертном газе применяется в тех случаях, когда другие сварочные работы не могут дать достаточно высокое качество сварных соединений.

§ 102. Применяемые газы и электроды

Защитные газы. Аргон поставляется по ГОСТ 10157—79 (сорта — высший, 1-й) следующего состава (%):

Сорт аргона	высший	1-й
Аргон, не менее	99,99	99,98
Кислород, не более	0,0007	0,002
Азот, не более	0,006	0,01
Влага при нормальном давлении, г/м ³ , не более	0,007	0,01

Гелий выпускается по ГОСТ 20461—75 (марки I и II) состава (%):

Марка	I	II
Гелий	98,6—99,7	98,5—99,5
Азот	0,3—0,4	0,5—1,5

Аргон и гелий поставляются в баллонах под давлением 15 МПа. Баллон для аргона окрашен в серый цвет и имеет в верхней части черную надпись «Аргон чистый». Баллон для гелия окрашен в коричневый цвет: баллон с гелием марки

I надписи не имеет, с гелием марки II имеет белую надпись «Гелий».

Расход аргона при сварке зависит от диаметра электрода и обычно составляет от 120 до 600 дм³/ч. Расход гелия на 30—40% больше, чем аргона.

Поставка инертного газа может производиться в смеси с кислородом, азотом, водородом и другими газами.

Электроды. В качестве неплавящихся электродов применяют вольфрамовые, реже угольные или графитизированные. Вольфрамовые прутки для электродов марки ЭВ выпускаются диаметром от 0,5 до 10 мм. Более стойки прутки из вольфрама с добавкой оксида тория (марки ЭВТ-15 по ГОСТ 23949—80), оксида лантана (марки ЭВЛ) или оксида иттрия. Цифры в обозначении марки вольфрамового электрода указывают на количество основной присадки в десятых долях процента. Лантанированные электроды допускают несколько пониженные режимы сварки и менее токсичны, чем торированные.

Расход вольфрамовых электродов при сварочном токе 300 А и работе на прямой полярности составляет примерно 0,5 г/м шва.

§ 103. Аппаратура для ручной сварки неплавящимся электродом

Схемы сварки на постоянном и переменном токе в инертном газе показаны на рис. 136.

В СССР выпускается большое количество универсальных и специализированных установок для сварки неплавящимся электродом.

Установки постоянного тока (УДГ-101, УПСР-300 и др.) предназначены для сварки изделий из нержавеющей стали, цветных металлов, кроме алюминия и его сплавов, и других металлов.

Установки переменного тока (УДАР, УДГ-301 и УДГ-501) предназначены для сварки алюминия и его сплавов.

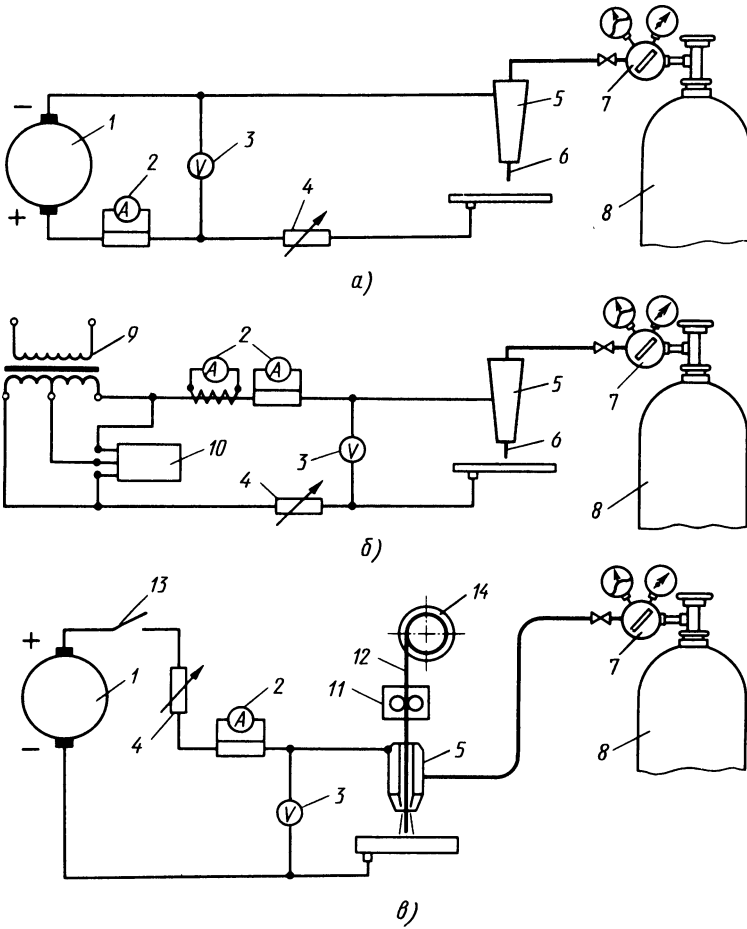


Рис. 136. Схемы сварки в инертном газе:

a — неплавящимся электродом на постоянном токе прямой полярности, *б* — то же, на переменном токе, *в* — плавящимся электродом на постоянном токе обратной полярности; 1 — сварочный преобразователь или сварочный выпрямитель, 2 — амперметр, 3 — вольтметр, 4 — балластный реостат, 5 — наконечник горелки, 6 — вольфрамовый электрод, 7 — редуктор-расходомер газа, 8 — баллон с аргоном (гелием), 9 — сварочный трансформатор, 10 — осциллятор, 11 — механизм подачи проволоки, 12 — плавящаяся сварочная проволока, 13 — контактор, 14 — катушка с проволокой

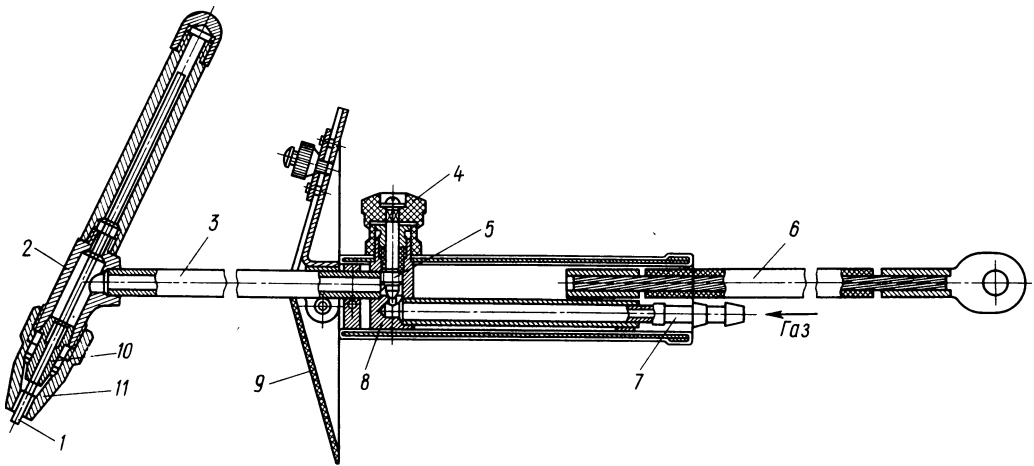


Рис. 137. Горелка для ручной аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом: 1 — вольфрамовый электрод, 2 — горелка, 3 — трубка, 4 — маховичок для регулирования расхода аргона, 5 — вентиль, 6 — гибкий кабель, 7 — ниппель, 8 — корпус, 9 — щиток, 10 — цапга, 11 — сопло

На установке УДГ-101 свариваются изделия малых толщин — от 0,2 до 2,5 мм при номинальном токе 50 А и напряжении холостого хода 65 В. Установка состоит из шкафа и пульта управления; горелка для ручной сварки предназначена для вольфрамовых электродов диаметром от 0,4 до 2 мм.

Установка УПСР-300 предназначена для ручной плазменной сварки. Номинальный сварочный ток 300 А, напря-

Толщина листов, мм	1	2	3
Диаметр вольфрамового электрода, мм	2	2	4
Диаметр присадочной проволоки, мм	1,6	1,6	2
Сварочный ток, А	40—70	80—130	120—160
Напряжение дуги, В	11—15	11—15	11—15
Расход аргона, дм ³ /мин	3,5—4,0	5,0—6,0	6,0—7,0

жение холостого хода 85 В. Установка состоит из сварочного выпрямителя ВД-303, пульта управления и сварочной водоохлаждаемой плазменной горелки.

Для сварки на переменном токе имеются установки УДАР-300, УДАР-300-1, УДАР-300-2 на номинальный ток 300 А и установки УДАР-500 и УДАР-500-1 на номинальный ток 500 А.

Установка серии УДАР состоит из сварочного трансформатора, дросселя насыщения, шкафа управления и сварочной горелки.

Горелка для ручной аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом показана на рис. 137.

§ 104. Технология сварки вольфрамовым электродом

Сварка тонколистовой нержавеющей и жаропрочной аустенитной стали. Конструктивные элементы швов предусматриваются ГОСТ 14771—76. Перед сваркой поверхность свариваемых кромок зачищают до блеска стальной щеткой, а затем промывают растворителем (дихлорэтаном, ацетоном, авиабензином) для удаления жира (следы жира вызывают поры в шве и снижают устойчивость горения дуги). Перед сваркой детали скрепляют прихватками через 50—75 мм.

Техника сварки тонких листов нержавеющей стали неплавящимся или плавящимся электродом аналогична технике

сварки тонких листов из низкоуглеродистых сталей. Сварку ведут справа налево. Поперечные движения прутком и электродом не допускаются во избежание окисления металла шва.

Сталь толщиной до 3 мм рекомендуется сваривать на прямой полярности, свыше 3 мм — на обратной полярности плавящимся электродом. Режимы сварки нержавеющей стали в аргоне вольфрамовым электродом следующие:

Обратную сторону шва защищают от воздуха поддувом аргона.

Сварка алюминия и его сплавов. Подготовка кромок деталей под сварку аналогична подготовке листов из нержавеющей сталей. Кромки деталей из алюминиевых сплавов можно очищать травлением в растворе хромовой кислоты. Перед травлением кромки обезжиривают растворителем или теплым раствором каустика. Затем промывают горячей водой и тщательно протирают. Сварка должна производиться не позже чем через 2—3 ч после травления, иначе вновь образуется пленка оксидов.

При ручной сварке деталей толщиной до 5 мм скос кромок не делается.

Алюминий поглощает водород, поэтому содержание влаги в аргоне не должно быть больше допустимого.

Присадочным материалом служит, как правило, проволока того же состава, что и основной металл. Для формирования валика с обратной стороны шва в подкладке из нержавеющей стали делается канавка. Сварка производится без поперечных колебательных движений электродом и прутком. Чтобы избежать перегрева металла кромок алюминия, сварку выполняют на больших скоростях за один проход дуги.

Обычно ручную дуговую сварку неплавящимся электродом в газе алюминия и его сплавов применяют до толщины 10 мм. Для защиты дуги служит аргон или гелий с аргоном. Расход аргона 8—12 дм³/мин. В случае применения ге-

лия его расход составляет 20–25 дм³/мин. Сварочный ток выбирают в зависимости от состава и диаметра неплавящегося электрода.

Для неплавящихся электродов марок ВЧ (вольфрам чистый), ВЛ (вольфрам + 2% оксида лантана) и ВИ (вольфрам + 3% оксида иттрия) сварочный переменный ток берется соответственно для электродов диаметром 4 мм 190, 220 и 350 А; для диаметра 6 мм – 260, 340 и 480 А и для диаметра 8 мм – 390, 500 и 590 А.

При сварке алюминия и его сплавов толщиной от 1 до 5 мм диаметр электрода выбирают равным толщине свариваемого металла. С увеличением толщины металла диаметр электрода увеличивается незначительно и не превышает 6 мм. Диаметр присадочной проволоки принимается равным толщине свариваемого металла, но не превышает 6 мм. Обычно сварка выполняется способом слева направо. Если толщина свариваемого металла больше 10 мм, то необходим листам предварительный подогрев до температуры 150–300 °С. Горелки подогрева необходимо вести на 70–100 мм по обе стороны стыка.

Сварка титана и его сплавов. Ручная аргонодуговая гелиеводуговая сварка вольфрамовым электродом применяется для металла толщиной от 0,5 до 10 мм. Металл толщиной до 3 мм сваривается встык без присадочного материала. В § 84 говорилось о свойствах титана, о его высокой активности соединяться с кислородом воздуха. Поэтому при сварке титана и его сплавов нужна защита нейтральным газом со всех сторон сварного соединения, нагретые более чем на 400 °С. Наиболее надежная защита сварного соединения достигается при сварке деталей в герметичных камерах, заполненных аргоном.

При аргонодуговой сварке вольфрамовым электродом титан и его сплавы обладают малой склонностью к образованию горячих трещин. В некоторых случаях наблюдаются холодные трещины в сварных соединениях; они возникают спустя некоторое время после сварки – от нескольких часов до нескольких месяцев.

Для сварки титановых сплавов малой толщины (до 2,5 мм) в качестве присадочного материала применяют технический титан марки ВТ1. При больших толщинах и при сварке сплавов, имеющих временное сопротивление разрыву более 900 МПа, применяют присадочный материал, по составу приближающийся к основному металлу.

Признаком удовлетворительного качества защиты и сварки можно считать отсутствие цветов побежалости на поверхности шва. Темные цвета побежалости вплоть до синего свидетельствуют о недостаточной защите металла при сварке.

Сварные соединения, выполненные ручной сваркой, необходимо подвергать термической обработке (отжигу) для предотвращения трещин, которые могут появиться с течением времени.

Режимы ручной аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом титана и его сплавов приближаются к режимам по сварке алюминиевых сплавов.

Сварка меди и ее сплавов. Медь сваривать вольфрамовым электродом лучше постоянным током прямой полярности, а бронзы можно и переменным током. Наибольшую глубину проплавления обеспечивает в качестве защитной среды азот, затем гелий и аргон. Однако качество швов получается при сварке в гелии, затем в аргоне и азоте.

Ориентировочные режимы ручной аргонодуговой сварки бронзы постоянным током прямой полярности вольфрамовым электродом диаметром 3,5 мм встык на подкладке без зазора даны в табл. 24.

Таблица 24. Ориентировочные режимы ручной аргонодуговой сварки бронзы

Толщина, мм	Сварочный ток, А	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч	Расход аргона, дм ³ /мин
1,4	120–130	20–22	28–30	6–8
1,8	150–160	18–20	24–26	8–10
2,5	180–200	16–18	20–22	10–12

§ 105. Основные требования безопасности труда при сварке вольфрамовым электродом в инертном газе

1. Необходимо знать и выполнять основные требования, изложенные в § 24, 86, 101.

2. При сварке цветных металлов и сплавов, содержащих цинк, медь, свинец, сварщик должен пользоваться респиратором с химическим фильтром.

3. Горелка для сварки в газе не должна иметь открытых токоведущих ча-

стей, а рукоятка ее должна быть покрыта диэлектрическим и теплоизолирующим материалом, снабжена щитком для защиты рук от ожогов.

Контрольные вопросы

1. Какие защитные газы применяют при дуговой сварке неплавящимся электродом?

2. Что вы знаете о технологии алюминиевых сплавов неплавящимся электродом?

3. В чем заключаются преимущества сварки вольфрамовым электродом в инертном газе перед газовой сваркой?

ГЛАВА XXI. ОСОБЕННОСТИ РУЧНОЙ И МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ НЕКОТОРЫХ ТИПОВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗДЕЛИЙ

§ 106. Сварка решетчатых конструкций

Ручную и полуавтоматическую дуговую сварку целесообразно применять как в серийном, так и в единичном производстве изделий с короткими, криволинейными и труднодоступными швами.

Такие швы свойственны прежде всего решетчатым конструкциям (фермы, рис. 138), сопряжениям балок между собой, балок со стойками, конструкциям баз под колонны, арматурным сеткам, конструкциям сварных рам, корпусов редукторов, плиг, узлов гидротурбин, сварных шестерен, шкивов и др.

Эти узлы и изделия изготавливаются в основном из фасонного проката — уголка, швеллера, двутавра, а также штампованных элементов, сопряжения которых выполняются короткими швами. Это относится особенно к пространственным конструкциям (рамы, мачты, стрелы экскаваторов, радиобашни, опоры линий электропередачи и др.).

Фермы и другие решетчатые конструкции изготавливают из металла толщиной до 10 мм; суммарная толщина редко превышает 40—60 мм. Длина швов обычно сравнительно мала, не более 200—400 мм. Швы различным образом ориентированы в пространстве. Поэтому сварка таких конструкций выполняется обыч-

но шланговым полуавтоматом в газе, порошковой или самозащитной проволокой или вручную покрытыми электродами.

Стержни решетки, например, из уголков собирают с другими элементами обваркой по контуру, иногда фланговыми (продольными) или лобовыми (поперечными) швами. Концы продольных швов выводят на торцы привариваемого элемента на длину 20 мм (рис. 139), что гарантирует прочность сварных соединений. В первую очередь следует выполнять стыковые швы, а затем уже угловые. Так как усадка металла максимальна в стыковых соединениях и минимальна в угловых, то при указанном порядке наложения швов в сварном узле будет менее напряженный металл.

Близко расположенные друг к другу швы не следует выполнять сразу; надо охладить тот участок основного металла, на котором будет выполняться второй, близко расположенный шов. Это необходимо предусматривать для того, чтобы уменьшить перегрев металла и величину зоны пластических деформаций от сварки, в результате этого работоспособность сварного узла возрастет.

Собирают и сваривают формы по разметке, по копиру и в кондукторах, на стендах и стеллажах, обеспечивающих точность геометрических размеров

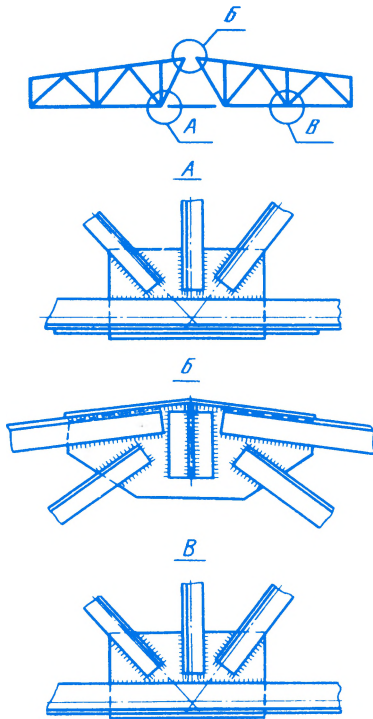


Рис. 138. Узлы стропильной формы

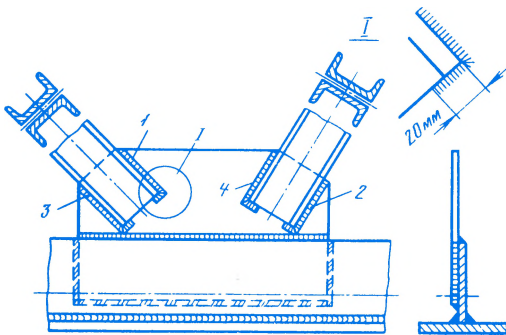


Рис. 139. Порядок выполнения продольного (флангового) шва:

1—4 — последовательность сварки

и пересечения осей соединяемых элементов в одной точке — центре тяжести сечения данного узла (см. рис. 138).

Узлы фермы сваривают последовательно от середины фермы к опорам, находящимся в более податливом состоянии, чем середина фермы. В этом случае напряжения металла в узлах фермы будут минимальными. При наличии швов различного сечения вначале накладывают швы с большим сечением, а затем — с меньшим.

В решетчатых конструкциях каждый элемент (деталь) при сборке прихватывается неполноценным швом длиной 30—40 мм в местах расположения сварных швов. Сборочные прихватки выполняются сварочными материалами тех же марок, какие используются при сварке конструкций.

§ 107. Сварка балочных конструкций

Балки широко применяют в конструкциях гражданских и промышленных зданий, в мостах, эстакадах, гидротехнических и других сооружениях.

Балки со сплошными стенками изготавливают на сварке из листового металла. Применяют в основном балки двутаврового сечения, реже коробчатого. Сварные двутавровые балки со сплошной стенкой изготавливаются высотой более 1 м; балки высотой до 1 м поставляются прокатными.

В условиях единичного производства балки собирают по разметке и сваривают вручную покрытыми электродами или полуавтоматами. При массовом и серийном производстве сборку производят в кондукторах, а сварку ведут автоматами под флюсом или для швов категорией 3—6 мм — в защитном газе.

Ручную или полуавтоматическую дуговую сварку применяют в балках также и при установке ребер жесткости. Неудобства при выполнении этой операции не позволяют применить автоматическую сварку.

Удлинение балок соединением встык коротких секций производится ручной дуговой сваркой покрытыми электродами. В массовом производстве на этой операции применяют автоматическую дуговую сварку.

При монтаже балок в первую очередь следовало бы выполнять стыковые, а затем угловые швы. Порядок сварки монтажных стыков прокатных балок показан на рис. 140, а. Сначала стыковые швы выполняют на толстом металле, а затем на тонком. Обычно полки двутавровых балок толще стенки. Поэтому для обеспечения минимальных напряжений в металле стыка следует сначала накладывать стыковые швы в полках и в последнюю очередь стыковой шов в стенке.

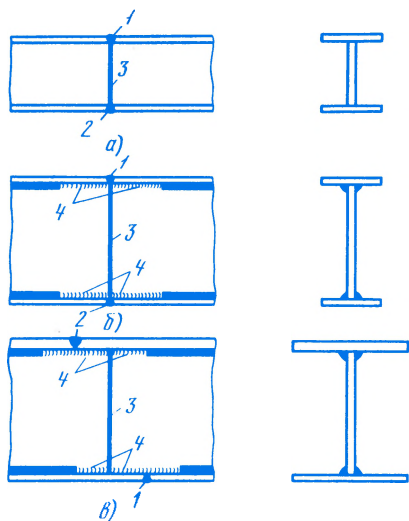


Рис. 140. Порядок сварки монтажных стыков балок:

а — прокатных, б, в — сварных; 1—4 — последовательность выполнения сварки

Сварные балки на монтаже соединяют совмещенным (рис. 140, б) или смещенным (рис. 140, в) стыком.

Последовательность сварки в этих случаях аналогична последовательности сварки встык прокатных балок: в первую очередь выполняют стыковой шов полки с увеличенной толщиной (если двутавр с различными толщинами полок), затем накладывается второй стыковой шов второй полки, третьим швом будет стык стенки (самый тонкий в двутавре) и четвертым — угловые поясные швы. Продольные швы обычно не доводят до концов балки на величину, равную одной ширине полки (из низкоуглеродистой стали) или двум (из легированной стали). В этих случаях деформации и напряжения в стыковых соединениях балки будут минимальными. Угловые швы в монтажном стыке выполняются в последнюю очередь. При этом желательно, чтобы угловые швы накладывались одновременно двумя сварщиками — от концов к середине монтажного стыка.

Ребра жесткости можно приваривать как к стенке, так и к полке балки в любой последовательности после предварительной их прихватки. Прихватки размещаются в местах расположения сварных швов. Высота прихваток должна быть не более $\frac{2}{3}$ высоты шва, чтобы при последующей сварке они были перекрыты

швом. Длина каждой прихватки должна быть равна 4—5 толщинам прихватываемых элементов, но не менее 30 мм и не более 100 мм, а расстояние между прихватками — в 30—40 раз больше толщины свариваемого металла.

§ 108. Сварка трубных конструкций

Трубы изготовляют сварными и цельнотянутыми. Сварные трубы изготовляют различных диаметров и толщины стенки с помощью контактной, индукционно-прессовой и дуговой сварки как на переменном, так и на постоянном токе.

Трубопроводы, свариваемые встык из труб, используют для подачи жидкостей и газа. Они работают при различных давлениях и температурах нагрева. Если рабочее давление в трубопроводах менее 0,07 МПа, то на них не распространяются правила Госгортехнадзора. Стыки трубопроводов на давление свыше 0,07 МПа выполняются только аттестованными для этой работы сварщиками.

Основные типы и конструктивные элементы швов сварных соединений установлены ГОСТ 16037—80 для стальных трубопроводов и ГОСТ 16038—80 для медных и медно-никелевых трубопроводов.

Допускаемое смещение кромок концов стальных труб при сборке встык под сварку составляет:

Толщина стенки, мм	3—4	5—6	7—8	9—14	15 и более
Смещение, мм, не более	1	1,5	2	2,5	3

Для сварки стальных труб применяют следующую подготовку кромок: 1) без скоса для ручной дуговой сварки толщиной стенки 2—4 мм; 2) без скоса для газовой сварки толщиной стенки 1—3 мм; 3) с односторонним скосом под углом $(30 \pm 3)^\circ$ для ручной дуговой сварки толщиной стенки 3—20 мм; 4) односторонним скосом под углом $(30 \pm 3)^\circ$ для газовой сварки толщиной стенки 4—7 мм.

Зазор между кромками труб выбирается:

Толщина стенки, мм	1—2	2—3	3—8	8—20
Зазор для ручной дуговой сварки	—	0,5	1	2
Зазор для газовой сварки	0,5	1	—	—

Электроды для сварки труб должны обеспечивать наплавленный металл с временным сопротивлением разрыву и пределом текучести не менее нижнего нормативного предела у основного металла, а показатели пластичности металла шва для трубопроводов горячей воды и пара по правилам Госгортехнадзора должны отвечать следующим минимальным нормам:

	Угол загиба, град
Углеродистая сталь	120
Молибденовая	60—80
Хромомолибденовая и хромована- диевомолибденовая	40—50
Аустенитная	100
	Ударная вязкость, Дж/м ²
Для всех сталей, кроме аустенит- ного класса	5·10 ⁵
Аустенитная сталь	7·10 ⁵

Сварные стыки труб подвергаются различным видам контроля качества и обязательно выборочному просвечиванию в количестве 5—10% (первая проверка) и 10—25% (вторая проверка) от числа стыков, сваренных каждым сварщиком.

Обязательному металлографическому контролю подлежат стыки трубопроводов I и II категорий для перегретого пара и горячей воды. К I категории относятся трубопроводы перегретого пара с давлением выше 4 МПа и температурой выше 350 °С и горячей воды с температурой выше 184 °С; ко II категории — трубопроводы перегретого пара с давлением до 3,9 МПа и температурой до 350 °С и горячей воды с температурой от 80 до 184 °С. Для труб из углеродистых и низколегированных сталей для металлографического исследования вырезают по одному шлифу, для труб из аустенитной стали — по четыре шлифа.

Трубопроводы газовых сетей для жилых, общественных и производственных зданий, работающие под давлением до 1,2 МПа, изготавливают в соответствии с требованиями, которые содержат Строительные нормы и правила.

Согласно этим нормам сборка трубопроводов производится на сварочных прихватках длиной 30—40 мм и высотой, равной половине толщины стенки. Техника сварки стыков трубопроводов принимается в зависимости от диаметра

трубы, толщины ее стенки и химического состава металла. Различными технологическими приемами свариваются поворотные и неповоротные стыки трубопроводов.

Ручная сварка стыков труб покрытыми электродами используется при наложении корневого шва без подкладных колец, а также при изготовлении и монтаже трубопроводов в неудобных для механизированной дуговой сварки условиях: стыки коленообразного гнутого трубопровода, стыки трубопровода, проходящего через естественные преграды (водные, горные и др.), соединение секций в длинные плети, приварка фланцев, заглушек и т. д.

Корневой шов выполняется электродами диаметром 1,6—3 мм в зависимости от толщины стенки трубы, а остальные швы могут выполняться более производительными видами сварки.

При ручной сварке всего стыка целесообразно выполнять его в несколько слоев: при толщине стенки 4—5 мм — в два слоя (не считая корневого), при толщине 10—12 мм — в четыре слоя электродами диаметром 3—4 мм. Ручная газовая сварка выполняется только в один слой.

Ручную дуговую сварку стыков трубопроводов выполняют двумя способами: сверху вниз и снизу вверх.

Сварка сверху вниз происходит на большой скорости и с меньшим сечением валика (с меньшим количеством шлака). Это приводит к лучшей структуре и большей вязкости металла шва, что особенно важно при работе на морозе. Другие преимущества способа сварки сверху вниз заключаются в меньшем усилении шва, снижении времени на зачистку от шлака и заварки кратера. Сварка сверху вниз выполняется электродами марок ОЗС-9, ВСЦ-1, ВСЦ-2, ВСФС-50 и др. Этими же электродами можно выполнять сварку и снизу вверх.

Для повышения производительности и качества сварки сантехнических труб рекомендуется полуавтоматическая дуговая сварка в углекислом газе, пользуясь стальной проволокой с алюминием марок Св-08ГСЮ и др.

Соединение сантехнических труб выполняется встык и втавр. Удовлетворительные результаты при сварке труб диа-

метрами от $1\frac{1}{2}$ до 2 дюймов получают при использовании проволоки диаметром 0,6–1 мм. Зазоры между кромками при сборке под сварку могут колебаться в пределах от 0 до 3 мм.

Перевод на дуговую сварку внутренних сантехнических систем снизил стоимость сварочных работ в два раза по сравнению с газовой сваркой. Для работ ремонтного характера в помещениях применяют полуавтомат «Луч» (Институт электросварки им. Е. О. Патона) с питанием от осветительной сети со сварочной проволокой марки Св-15ГСТЮЦА, которая не требует газовой защиты. Масса полуавтомата со сварочным проводом и заряженной кассетой 2 кг.

Порядок ручной дуговой сварки покрытыми электродами поворотных стыков труб диаметром более 200 мм показан на рис. 141. Стык труб соединяется тремя симметрично расположенными прихватками. Окружность стыка размечается для сварки на четыре участка. Кружками отмечены точки начала и окончания шва, а стрелками – направление сварки. Первый слой сваривают электродом диаметром 4 мм при токе 120–150 А узким валиком в направлении снизу вверх (рис. 141, б), затем, повернув трубу на 90°, заваривают последние противоположные участки первого слоя (рис. 141, в). После этого электродом диаметром 5 мм при токе 200–250 А накладывают в одном направлении второй (рис. 141, г) и в противоположном второму слою третий (рис. 141, д).

Порядок ручной дуговой сварки неповоротных труб диаметром 250–500 мм показан на рис. 142. Первый слой накладывают тремя участками. Второй и третий слои – двумя участками, смещая их между собой на 50–100 мм. В указанном порядке можно производить сварку стыка сверху вниз, применяя электроды с целлюлозным покрытием ОЗС-9 и ВСЦ-1, дающие мало шлака.

Применяют сварку комбинированными способами в зависимости от наличия электродов: первый слой выполняют сверху вниз электродами ВСЦ-1 или ОЗС-9, второй – электродами УОНИИ-13/45 и третий – электродами УОНИИ-13/55, АНО-9.

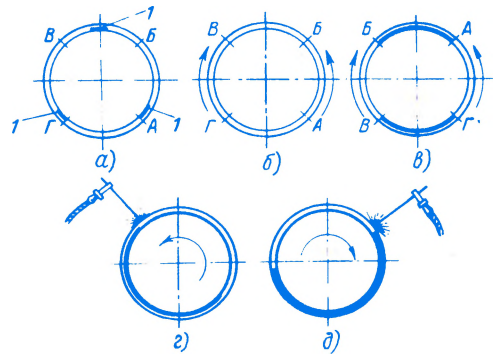


Рис. 141. Порядок сварки стыков труб с поворотом:

а – места размещения прихваток (1) и участков шва (А, Б, В, Г), б – выполнение первого слоя на участках А–Б и Г–В, в – поворот стыка и выполнение первого слоя на участках Г–А и В–Б, г – выполнение второго слоя шва напроход, д – выполнение третьего слоя шва напроход в обратном направлении

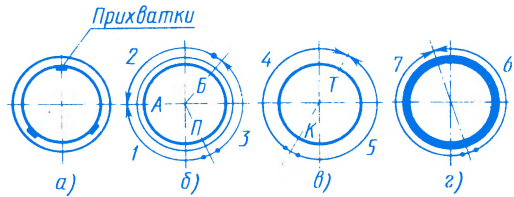


Рис. 142. Порядок сварки стыков неповоротных труб:

а – сборка труб на прихватках, б, в, г – выполнение первого, второго и третьего слоев; А, Б, П – границы участков первого слоя шва, Т, К – то же, для второго слоя шва, 1–7 – последовательность выполнения слоев шва на участках

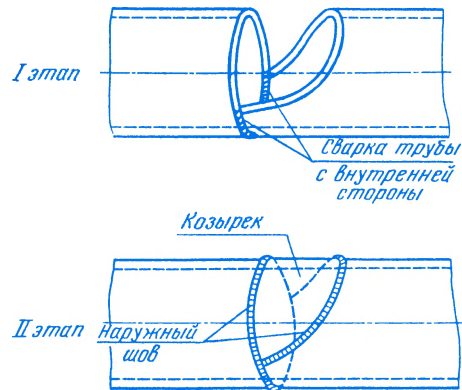


Рис. 143. Порядок сварки стыков труб с козырьком

Стыки труб диаметром более 500 мм делая по окружности на 6–8 участков, и технологию сварки строят так, чтобы по возможности обеспечить равномерное охлаждение металла стыка, в результате чего получается менее напряженный металл стыкового соединения.

Когда нельзя выполнять стык ни с поворотом, ни в потолочном положении, тогда применяют сварку с козырьком (рис. 143). Сначала выполняется нижняя часть стыкового шва только с внутренней

стороны, а затем верхняя часть стыкового шва и козырька только с наружной стороны.

Контрольные вопросы

1. В какой последовательности нужно выполнять швы при изготовлении ферм и соединении встык балок между собой?
2. Расскажите о технологии сварки поворотных стыков труб.
3. В каких случаях и как выполняется сварка стыка труб с козырьком?

ГЛАВА XXII. ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ИХ ИСПРАВЛЕНИЕ

§ 109. Основные виды дефектов и причина их возникновения

В соединениях, выполненных сваркой плавлением, согласно ГОСТ 23055–78, различают следующие виды внутренних дефектов: трещины, не выходящие на поверхность сварного соединения; внутренние поры, непровары и несплавления, шлаковые и оксидные включения в металле шва.

Трещины (горячие и холодные; продольные, поперечные и разветвленные; микротрещины и макротрещины) возникают при нарушении разработанной технологии на изготовление сварного изделия. Как правило, любые трещины в сварных изделиях недопустимы.

Усадочная раковина сварного шва (или утяжина) наблюдается редко; лишь при дуговой сварке толстых листов и большой массе металла в сварочной ванне. В случае засорения сварочной ванны относительно большого объема легкоплавкими веществами на основе серы, фосфора и других при затвердевании ванны образуется усадочная раковина (углубление). Оставлять усадочную раковину в шве нельзя.

Вогнутость корня шва может образоваться в случаях выполнения сварных соединений с поддувом газа или на флюсовой подушке с увеличенным зазором между сварными кромками деталей. Вогнутость корня шва недопустима в изделиях, подвергающихся динамиче-

ской нагрузке или эксплуатирующихся при низких температурах.

Свищ сварного шва – конусообразная крупная пора, выходящая на поверхность шва. Подобно усадочной раковине или утяжине недопустим в сварном соединении. Образуется в результате обильного местного выделения из металла сварочной ванны газов в момент его затвердевания. Это наблюдается чаще всего в случаях, когда сварные кромки в отдельных местах были покрыты ржавчиной и маслом.

Поверхностные поры сварного шва наблюдаются при сварке увлажненными (непросушенными) покрытыми электродами или электродами, срок годности которых истек. Иногда в сварных изделиях допускают наличие до трех пор диаметром менее 2 мм на длине 100 мм шва. Нужно знать нормы допустимых дефектов, которые установлены нормативно-технической документацией на изготовление сварных конструкций.

Брызги электродного металла неизбежны при дуговой сварке открытой дугой. Они разбрасываются по поверхности сварочного соединения, но не примыкают к изделию, покрытому специальной краской. Брызги на поверхности металла являются недопустимым дефектом. Эффективным средством от налипания брызг на поверхность металла во время сварки являются покрытия, наносимые на поверхность металла, например аэрозольное средство «Дуга-2».

Поверхностное окисление имеет значение для легко окисляемых металлов (титан, магний и их сплавы). Окисление поверхностного металла происходит в результате нагрева металла при сварке, если поверхности деталей около шва и сам шов не защищены от воздуха.

Превышение усиления сварного шва приводит к ухудшению работы сварного изделия на динамическую нагрузку, а поэтому оно является недопустимым дефектом для таких изделий. Причиной дефекта является при ручной сварке низкая квалификация сварщика. Обычные нормы на стрелку выпуклости или вогнутости шва не более 3 мм, если толщина свариваемой детали более 10 мм.

Подрезы зоны сплавления при сварке покрытыми электродами и полуавтоматической сварке образуются от неправильных поперечных движений концом электрода (низкая квалификация сварщика); подрез усиливается с увеличением тока. Он является опасным потому, что создает концентрацию напряжений, которые приводят при работе изделия на динамические нагрузки к разрушению металла. Недопустимы подрезы в металле глубиной до 1 мм, длиной более 15 мм и подрезы глубиной более 1 мм любой длины.

Неплавное сопряжение сварного шва, превышение усиления, наплывы образуются чаще всего при неправильном выборе режима сварки или при наличии на свариваемых кромках толстого слоя окалины.

Непровар наблюдается между проходами и слоями шва, если последующие валики или слои выполняются по слою предыдущего металла с неудаленным сварочным шлаком.

Шлаковые или неметаллические включения сварного шва — это оксидные, сульфидные, фосфорсодержащие и нитридные включения. Зависят от металлургии сварки, не успевших к моменту затвердевания металла шва подняться в сварочный шлак. Обычно это наблюдается при повышенных скоростях сварки.

Внутренняя пора сварного шва возникает вследствие большого количе-

ства выделяющихся при сварке газов, не успевающих выделиться наружу к моменту затвердевания металла шва. Особенно это наблюдается при выполнении глубоких швов.

Металлическое включение сварного шва — это чаще всего частицы вольфрама, попадающие в шов при сварке вольфрамовым электродом на обратной полярности и на больших токах.

Смещение сварных кромок вызвано неправильной сборкой сварных деталей.

§ 110. Влияние дефектов на снижение прочности сварного соединения

Влияние дефекта на работоспособность сварного соединения следует рассматривать с точки зрения формы, длины и расположения его по отношению направления действующей силы. Более опасными являются дефекты вытянутой формы (трещины, непровары), менее опасными — дефекты округлой формы (одиночные газовые поры, шлаковые включения). Дефекты, направленные параллельно силовому потоку, менее опасны для конструкций, работающих на статическую нагрузку. Непровар величиной в 25% от толщины металла при понижении температуры до -45°C вызывает уменьшение временного сопротивления разрыву сварного соединения в 2 раза; пластичности более чем в 2—4 раза. Непровар стыкового шва из низкоуглеродистой стали допускается только до 5% от толщины металла, а при сварке легированных сталей — еще меньше. Одиночные поры в количестве не более 5—6 на 1 см^2 сечения шва допустимы в сварных соединениях из низкоуглеродистой стали.

§ 111. Способы исправления дефектов сварных соединений

Подрезы, поверхностные поры малой глубины, вогнутость шва и занижение размеров сечения сварного шва исправляют подваркой.

Трещины, усадочная раковина, утяжина, свищ, шлаковое включение, непровар в корне шва, внутренний непровар и внутренние поры исправляются предварительным механическим или термиче-

ским местным вскрытием дефекта и последующей заваркой дефекта.

Смещение сваренных кромок, наплыв, превышение усиления сварного шва и неплавное сопряжение сварного шва исправляются механической обработкой дефекта по всей длине.

Для определения длины трещины металл с поверхности зачищают, шлифуют и травят 20%-ным раствором азотной кислоты. Трещину по границам засверливают, выплавляют или вырубают металл вдоль и по глубине с последующей заваркой этого места. Затем проводят повторный контроль шва.

Микротрещины обнаруживают с помощью лупы (увеличение до 50 раз). Трещины могут появиться и спустя несколько дней и недель после сварки. Обычно это относится к закаливающимся при сварке сталям.

Подрезы исправляют наплавкой неточного шва по всей длине дефекта.

Поверхностные поры диаметром более 2 мм выплавляют или вырубают и заваривают. Обычно на 1 м длины шва допускается не более четырех пор при

расстоянии между ними не менее 10 мм, если диаметр поры не превышает 1 мм (и не менее 25 мм при диаметре пор 2 мм).

Кратеры швов завариваются, при сварке незакаливающихся сталей можно выводить их в сторону от оси шва на расстояние 20 мм.

Прожоги в швах наблюдаются редко, их надо зачищать и заваривать.

Брызги металла удаляют механическим способом.

Наплыв трудно определяется поверхностным осмотром, он выявляется металлографическим исследованием.

Свищ расчищается, и место дефекта заваривается.

Исправление деформированных сварных узлов изделий лучше всего выполнять механической правкой.

Контрольные вопросы

1. Какие виды дефектов относятся к внутренним?
2. Назовите причины возникновения дефектов сварки.
3. Расскажите о влиянии дефектов на снижение прочности металла.
4. Как можно исправить сварное соединение с дефектом?

ГЛАВА XXIII. ОХРАНА ТРУДА И ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ НА ПРЕДПРИЯТИИ

§ 112. Основные положения законодательства об охране труда рабочих-сварщиков

1. Закон запрещает использовать профессиональный труд детей и подростков, не достигших шестнадцатилетнего возраста.

2. К сварочным работам допускаются лица обоего пола не моложе 18 лет, прошедшие специальное обучение, имеющие удостоверение на право производства работ и получившие II квалификационную группу по технике безопасности при эксплуатации электроустановок.

3. Женщинам запрещается выполнять сварочные работы в закрытых емкостях (цистернах, котлах и т. п.), на высотных сооружениях связи (башнях, мачтах) свыше 10 мм.

4. При выполнении сварочных работ в условиях повышенной опасности поражения электрическим током (сварка в емкостях и отсеках) сварщики кроме спецодежды должны обеспечиваться диэлектрическими перчатками, галошами и ковриками (ГОСТ 12.3.003 – 75).

5. При поступлении на работу сварщики должны пройти предварительный медицинский осмотр, а затем в процессе работы в установленном порядке проходить периодические медицинские осмотры (ГОСТ 12.3.003 – 75).

§ 113. Соблюдение требований охраны труда на предприятии

На каждом предприятии имеется отдел (служба) охраны труда, работники которого повседневно проводят, под ру-

ководством директора организации, работу по осуществлению необходимых мероприятий по безопасности труда и производственной санитарии.

На предприятиях проводятся также периодические медицинские осмотры работающих с целью наблюдения за состоянием здоровья и своевременного выявления лиц с признаками профессиональных заболеваний.

Мероприятиями, обеспечивающими укрепление здоровья работающих, являются стационарное, амбулаторное и санаторно-курортное лечение, организация специального и диетического питания, выдача спецжиров, организация благоприятного режима труда и др.

§ 114. Безопасность труда на территории предприятия и цеха

На каждом предприятии действуют специальные правила техники безопасности, утвержденные ЦК профсоюза рабочих соответствующей промышленности.

Движение любого вида транспорта и людей регулируется дорожными знаками и сигнальными устройствами, устанавливаемыми в соответствии с действующими правилами.

В местах пересечения рельсовых путей дорогами и тротуарами следует пользоваться специальными переездами и переходами, оборудованными звуковой и световой сигнализацией.

Запрещается подлезать под стоящий железнодорожный состав, переходить пути при закрытом шлагбауме, находиться на площадках, где производятся погрузочно-разгрузочные работы, стоять или проходить под поднятым грузом.

Трогуары для пешеходов и проезды для транспорта необходимо в зимнее время очищать от льда и снега и посыпать песком, в летнее — поливать водой.

Цеха (участки) с вредным производством должны изолироваться от других. Цеха, в которых производство сопровождается значительными тепло- и газовыделениями (например, сварочные, кузнечные), следует размещать в одноэтажных зданиях. Цеха, связанные с возникновением особо резкого шума (с уровнем более 90 дБ, например при плазменно-дуговой резке), должны размещаться в изолированных зданиях.

§ 115. Электробезопасность

Электротравмы возникают при прохождении электрического тока через тело человека.

Тяжесть поражения электрическим током зависит от величины тока и напряжения, а также от пути прохождения тока в организме человека, длительности действия тока, частоты (с повышением частоты переменного тока степень поражения снижается, переменный ток опаснее постоянного).

Опасным напряжением может оказаться шаговое напряжение, возникающее при растекании электрического тока в землю. Растекание тока возможно в случаях касания оборванного электрического провода воздушной сети с землей или при срабатывании защитного заземления. Если человек окажется в зоне растекания тока, то между ногой, находящейся ближе к заземлителю, и ногой, отстоящей от заземлителя на расстоянии шага (0,8 м), возникает разность потенциалов (шаговое напряжение) и от ноги к ноге замкнется цепь тока. Для защиты от шагового напряжения пользуются резиновой обувью.

Помещения по степени опасности поражения людей электрическим током подразделяются на три категории: особо опасные (высокая влажность и температура воздуха, химически активная среда, приводящая к разрушению изоляции токоведущих частей), с повышенной опасностью (токопроводящие полы, возможности прикосновения человека к металлическим конструкциям и корпусам электрооборудования и др.) и без повышенной опасности (отсутствуют опасности поражения электротоком).

Электрические установки и устройства считаются опасными, если у них токоведущие части не ограждены и расположены на доступной для человека высоте (менее 2,5 м), отсутствует заземление, зануление и защитные отключения токоведущих конструкций (металлические корпуса магнитных пускателей, кнопок «Пуск», «Стоп» и др.).

Правилами технической эксплуатации электроустановок к работе на них допускаются лица пяти квалификационных групп. Квалификационная группа I при-

сваивается персоналу, не прошедшему проверку знаний по Правилам технической эксплуатации электроустановок. Квалификационная группа II присваивается лицам, имеющим элементарные технические знания с электроустановками (электромонтеры, электросварщики и др.). Повышенные квалификационные группы присваиваются лицам, имеющим повышенные знания по электротехнике и по электрооборудованию.

§ 116. Пожарная безопасность

Причинами, вызывающими пожары в цехах, являются наличие легковоспламеняющихся веществ и горючих жидкостей, сжиженных горючих газов, твердых сгораемых материалов, емкостей и аппаратов с пожароопасными продуктами под давлением, электроустановок, вызывающих в процессе их работы электрические искры и др.

Принято по признаку пожарной опасности подразделять производства на категории: А — взрывопожароопасные, Б — взрывоопасные, В — пожароопасные, Г и Д — непожароопасные, Е — взрывонеопасные (имеются только газы).

Сварочные работы могут выполняться в помещениях каждой категории производства в соответствии с требованиями ГОСТ 12.3.002—75 и 12.3.003—75.

Сварочные работы в замкнутых емкостях должны выполняться по специальному разрешению администрации предприятия.

Порядок организации и проведения сварочных работ на шахтах и в рудниках определяется инструкциями, утвержденными Госгортехнадзором СССР.

В целях предотвращения пожаров запрещается пользоваться сварщиком одеждой и рукавицами со следами масел, жиров, бензина, керосина и других горючих жидкостей; выполнять термическую резку и сварку свежеекрасшенных конструкций до полного высыхания краски; выполнять сварку аппаратов, находящихся под электрическим напряжением, и со-

судов, находящихся под давлением; производить без специальной подготовки резку и сварку емкостей из-под жидкого топлива и др.

Средствами пожаротушения являются вода, пены, газы, пар, порошковые составы и др.

При тушении пожаров водой используют установки водяного пожаротушения, пожарные машины и водяные стволы (ручные и лафетные). Для подачи воды в эти установки используют специальные водопроводы. Для тушения пожара водой в большинстве производственных и общественных зданий на внутренней водопроводной сети установлены пожарные краны.

Пена представляет собой концентрированную эмульсию двуоксида углерода в водном растворе минеральных солей, содержащем пенообразующее вещество. Для получения воздушно-механической пены применяют воздушно-пенные стволы, генераторы пены и пенные оросители. Генераторами пены и пенными оросителями оборудуют стационарные установки водопенного тушения пожаров.

При тушении пожаров газами и паром используют двуоксид углерода, азот, дымовые газы и др.

Каждый сварочный пост должен иметь огнетушитель, бачок или ведро с водой, а также ящик с песком и лопатой. После окончания сварочных работ необходимо проверять рабочее помещение и зону, где выполнялись сварочные работы. В цехах имеются специальные противопожарные подразделения, из числа работающих в цехе создаются добровольные пожарные дружины.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные положения законодательства об охране труда рабочих-сварщиков.
2. Какие требования безопасности труда необходимо соблюдать на территории предприятия и цеха?
3. Перечислите требования пожарной безопасности при выполнении сварочных работ.

ГЛАВА XXIV. НЕРАЗРУШАЮЩИЕ ВИДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ИЗДЕЛИЙ

§ 117. Общие сведения об ультразвуковой дефектоскопии

Происхождение, преимущества и недостатки ультразвукового контроля сварных швов. Впервые в мире использование ультразвуковых колебаний для дефектоскопии предложено в 1928 г. советским ученым С. Я. Соколовым. Первоначально контроль проводили с помощью непрерывного излучения ультразвуковых волн. Однако практика контроля показала, что при непрерывном излучении невозможно выявлять небольшие по размерам внутренние дефекты в сварных швах. Понадобилась новая аппаратура, аппаратура с импульсным излучением, которую применяют у нас в стране с 1957 г. Ультразвуковой контроль сварных соединений выполняют в соответствии с ГОСТ 14782—76.

Ультразвуковой контроль сварных швов имеет следующие преимущества: 1) высокую чувствительность ультразвуковых волн, позволяющую относительно быстро обнаруживать дефекты в металле; 2) большую проникающую способность волн в металл; 3) экономичность контроля ультразвуком.

Недостатками ультразвукового контроля являются: сложная расшифровка дефектов, ограниченное применение для изделий из аустенитной стали, чугуна и металлов с крупным зерном и невозможность контроля металла малой толщины (для стали менее 4 мм).

Определение и свойства колебаний, их излучение и регистрация. Ультра от латинского слова «ultra» по-русски означает «сверх», «за пределами»; ультразвуковые колебания есть сверхзвуковые колебания. Их частота (число колебаний в 1 с) превышает 20 000 Гц. Они не слышны человеческим ухом, распространяются в однородных материалах по относительно прямым линиям, а на границах раздела двух разнородных материалов происходит их отражение.

Излучение и регистрация ультразвуковых колебаний производятся электро-

акустическими преобразователями. Основной преобразователем обычно является определенный керамический материал, обладающий пьезоэлектрическим эффектом. «Пьезо» по-русски означает «сжимаю» и происходит от греческого слова «píoeso». Пьезоэлектрический эффект проявляется в том, что пьезоэлектрическая пластина (из титаната бария, цирконат-титанат свинца и др.) под действием подведенного к ней переменного электрического потенциала начинает колебаться, механически вибрировать и направлять пучок колебаний перпендикулярно плоскости пластины, а под влиянием механических деформаций на противоположных поверхностях пьезоэлектрической пластины возникают электрические заряды — переменный электрический ток, который передается на соответствующие регистрационные приборы. Таким образом пьезоэлектрическая пластина преобразует электрическую энергию в механическую (ультразвуковые колебания) и обратно. Проникновение ультразвуковых колебаний в контролируемое изделие происходит тогда, когда удаляется воздух, находящийся между контактирующими поверхностями излучателя и изделия. С этой целью устанавливают акустический контакт между излучателем и изделием, который достигается нанесением на поверхность контролируемого изделия слоя минерального масла, солидола, технического глицерина, воды и др.

§ 118. Эхо-импульсный и теневой контроль

Для прозвучивания сварных изделий употребляют в основном эхо-импульсный контроль, реже теневой и др.

При эхо-импульсном контроле дефект в изделии определяется по отраженному от дефекта лучу, зафиксированному на экране дефектоскопа. При теневом контроле признаком дефекта является уменьшение амплитуды сигнала ультразвукового колебания.

Эхо-импульсный метод заключается в озвучивании изделия короткими им-

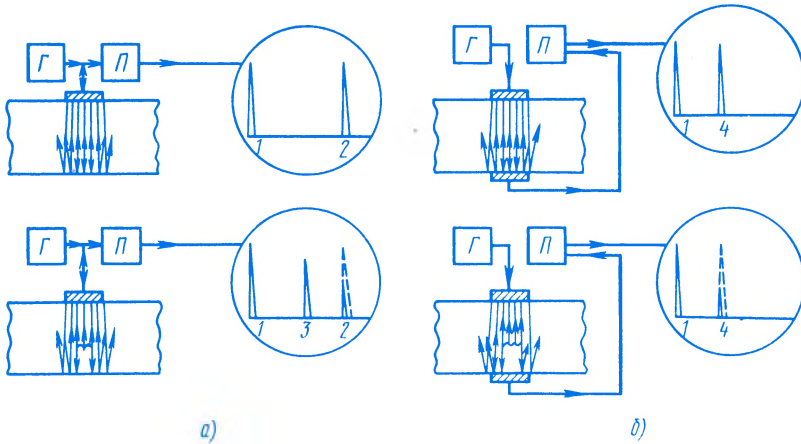


Рис. 144. Схемы импульсного (а) и теневого (б) контроля

пульсами 1 ультразвука и регистрации эхо-сигналов 2, отраженных от дефекта к приемнику П. Признаком дефекта является появление импульса 3 на экране (рис. 144, а).

При теновом методе (рис. 144, б) признаком дефекта является уменьшение амплитуды сигнала 4, прошедшего от излучателя к приемнику. Теневой метод позволяет использовать не импульсное, а непрерывное излучение.

Схемы импульсов на электронно-лучевой трубке приведены на рис. 145. На экране электронно-лучевой трубки слева виден зондирующий сигнал (импульс на выходе излучателя), а справа в конце развертки — донный импульс, т. е. сигнал, отраженный от противоположной стенки изделия (рис. 145, а).

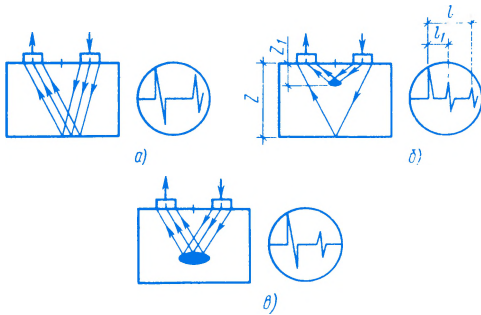


Рис. 145. Схемы импульсов на электронно-лучевой трубке:

а — зондирующий и донный, б — зондирующий, отраженный от дефекта и донный, в — зондирующий и отраженный от дефекта

При наличии в изделии дефекта отраженный от него эхо-сигнал оказывается в интервале между зондирующим и донным сигналами; при этом положение эхо-сигнала на экране соответствует глубине залегания дефекта в изделии по соотношению $l_1/l = z_1/z$ (рис. 145, б).

С увеличением размера дефекта эхо-сигнал от него растет, а амплитуда донного сигнала уменьшается и может совсем исчезнуть, если дефект будет обладать большой отражательной площадью (рис. 145, в).

Наряду с электронно-лучевой трубкой в лучших современных дефектоскопах вмонтированы устройства с автоматической сигнализацией дефекта (АСД), дефектоскопы со звуковым либо со световым индикаторами; появились дефектоскопы с цифropечатающим устройством.

Эхо-импульсный контроль сварных изделий употребляется чаще теневого потому, что он осуществляется с одной стороны контролируемого изделия.

Классификация ультразвукового эхо-импульсного контроля. Ультразвуковой контроль эхо-сигналом подразделяется по схеме излучения и приема лучей:

по совмещенной схеме (рис. 146, а), раздельной (рис. 146, б) и раздельно-совмещенной схеме (рис. 146, в);

по схеме прозвучивания: прямым лучом (рис. 147, а), прямым и однократно отраженным лучом (рис. 147, б), много-

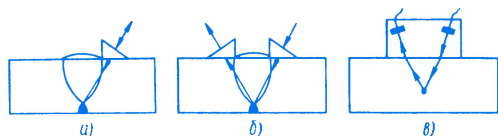


Рис. 146. Схемы излучения и приема лучей эхо-импульсного контроля

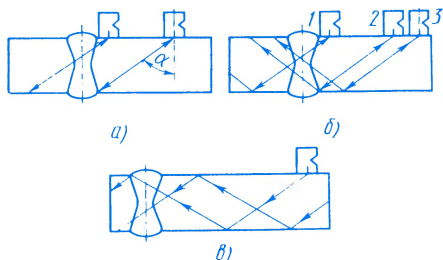


Рис. 147. Схемы прозвучивания

кратно отраженным лучом (рис. 147, в) и др.

Прозвучивание прямым лучом является основным видом выявления дефектов. Искатель при прозвучивании прямым лучом перемещается в зоне термического влияния между швом и точкой, расположенной от оси шва на расстоянии X_2 (рис. 147, а).

Способ является наиболее помехоустойчивым (минимум ложных эхо-сигналов) со стороны усиления шва и других неровностей. Недостатком его является наличие мертвой зоны — не просматривается верхняя часть сечения шва.

Верхнюю часть шва целесообразно прозвучивать искателями с углом $\beta = 53 \div 55^\circ$ или подповерхностными волнами.

Контроль прямым и однократно отраженным лучом осуществляется при перемещении искателя между точками 1—3 (рис. 147, б). Прозвучивание ведется с одной стороны сварного соединения; мертвая зона при прозвучивании отсутствует. Недостатком этого контроля является сложность расшифровки дефектов, выявляемых отраженным лучом, особенно при плохой подготовке рабочей поверхности у сварного соединения.

Контроль многократно отраженным лучом приводит к большому числу ложных сигналов, поэтому он является наименее помехоустойчивым. Им пользуются редко и лишь тогда, когда не

имеется доступа непосредственно к шву (например, в случае контроля нахлесточного соединения).

Контроль по слоям означает, что эхо-сигналы фиксируют только для определенного места (точки) прозвучивания. Он наиболее устойчив к помехам, применяется для листов толщиной более 50 мм.

Эхо-зеркальный («тандем») вид контроля заключается в одновременном прозвучивании шва двумя искателями, расположенными с одной стороны шва и синхронно перемещающимися в разные стороны относительно оси симметрии. Для этого вида контроля удобно пользоваться спаренными искателями, закрепленными в приспособлении.

Эхо-зеркальный и теневой виды контроля применяются больше всего для выявления грубых дефектов.

Техника эхо-контроля сварных соединений совмещенным наклонным искателем. При расположении искателя на поверхности сварного изделия и в непосредственной близости от сварного шва излучение пройдет через нижнюю часть сварного шва (рис. 147, а). Если излучающую головку расположить на поверхности сварного шва, то ультразвуковой луч отразится от нижней поверхности изделия на относительно большом расстоянии от сварного шва, но луч пройдет через верхнюю часть металла шва. Отсюда понятно, что наилучшие результаты по выявлению дефектов в металле шва можно получить, перемещая искатель туда и обратно перпендикулярно осевой линии сварного шва. При этом ультразвуковой луч будет перемещаться по высоте сварного шва. Перемещение искателя по поверхности контролируемого изделия принято называть сканированием (рис. 148).

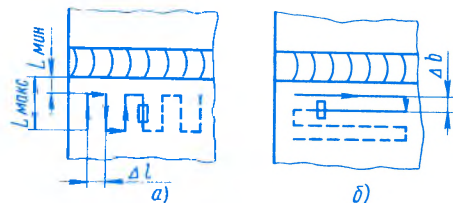


Рис. 148. Схемы поперечно-продольного (а) и продольно-поперечного сканирования (б): Δl — шаг по длине, Δb — шаг по ширине

§ 119. Аппаратура для ультразвукового контроля сварных швов

При ультразвуковом контроле используются ультразвуковой импульсный дефектоскоп, стандартные (эталонные) образцы и вспомогательные устройства.

Ультразвуковой дефектоскоп укомплектован набором наклонных искателей, в которых пьезоэлектрическая пластина наклонена по отношению к плоскости контролируемого изделия (рис. 149). Кроме наклонных искателей существуют прямые и раздельно-совмещенные. Прямые и наклонные искатели работают в основном по совмещенной схеме. В раздельно-совмещенных искателях одна пьезопластина присоединена к генератору электрических колебаний, а другая — к приемнику.

Искатель любой конструкции перемещают по поверхности изделия по слою контактной жидкости. Слой контактной жидкости может быть различный: контактный, толщиной меньше длины волны; щелевой, толщиной 1–3 мм; иммерсионный, у которого контактный слой по толщине больше (контроль в воде).

Выбор слоя контактной жидкости зависит от шероховатости поверхности контролируемого изделия и пластических свойств материала протектора (защитное донышко у пьезопластины).

Существуют различные марки искателей: ИЦ-1, ИЦ-15, ИБ-56 и др. (искатели ЦНИИТМаша), искатель Р-С МВТУ (раздельно-совмещенный искатель МВТУ им. Н. Э. Баумана).

В наклонном искателе указаны значение частоты ультразвуковых колебаний, угол наклона оптической оси, угол призмы и другие параметры искателя.

Для измерения и проверки аппаратуры при эхо-импульсном контроле по

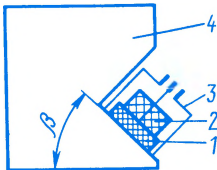


Рис. 149. Наклонный искатель: 1 — пьезоэлектрический преобразователь, 2 — демпфер, 3 — корпус, 4 — преобразователь

совмещенной схеме применяются стандартные искатели по ГОСТ 14782–76.

Результаты ультразвуковой дефектоскопии зависят от настройки дефектоскопа на чувствительность контроля, мертвой зоны, разрешающей способности и др.

Чувствительность дефектоскопа определяется размером выявляемого дефекта: чем меньше размеры выявленного дефекта, тем выше чувствительность дефектоскопа и наоборот. В дефектоскопии различают несколько видов чувствительности (реальная, абсолютная, предельная, браковочная, поисковая и условная). В записи результатов контроля по ГОСТ 14782–76 следует указывать условную чувствительность при работе дефектоскопа.

Мертвая зона определяет толщину поверхностного слоя изделия, в котором дефект не выявляется. Мертвую зону имеет только контроль эхо-импульсом. Это является его основным недостатком.

Разрешающую способность характеризует минимальное расстояние между двумя рядом расположенными дефектами, при котором они фиксируются раздельно. Эхо-контролем можно измерять расстояние до дефекта и его высоту. Теневым контролем этого достичь нельзя. Раздельная фиксация двух частично перекрывающихся друг друга дефектов является преимуществом эхо-контроля перед теневым.

Конструкции ультразвуковых дефектоскопов. Наибольшее применение получили дефектоскопы ДУК-66ПМ (дефектоскоп ультразвуковыми колебаниями, модель 66, модернизированный), УД-10УА, УД-10П, ЛУЧ, УД-52ЭМ и др.; к промышленному выпуску предназначен дефектоскоп «Радиус-1». Этот дефектоскоп имеет сравнительно малую массу (без источника питания около 3,5 кг) и небольшие габаритные размеры (310 × 240 × 150 мм); диапазон контролируемых толщин листов из стали, алюминия, титана от 6 до 50 мм. Дефектоскоп имеет световую сигнализацию. При работе с дефектоскопом «Радиус-1» человек-оператор выполняет одну ручную операцию — перемещение искателя по поверхности сварного соединения.

Конструкция и правила обращения с дефектоскопом описаны в заводской инструкции на данный тип дефектоскопа.

§ 120. Определение глубины залегания, размеров и характера дефекта эхо-импульсным контролем

Определение координат дефекта. Положение дефекта в сварном соединении определяется тремя координатами: H — глубиной залегания дефекта, X — расстоянием от центра излучения искателя до дефекта вдоль поверхности изделия, L — расстоянием вдоль оси шва от дефекта до какой-либо точки отсчета (рис. 150).

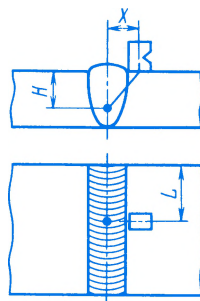


Рис. 150. Координаты дефекта

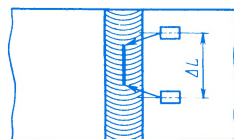


Рис. 151. Измерение условной длины дефекта

Координаты дефекта H и X в плоских сварных соединениях определяют по глубиномеру в современных дефектоскопах.

Координаты дефекта H и X в изделиях с криволинейной поверхностью определяют глубиномером плюс поправка, найденная по специальной номограмме или на основании математических вычислений.

Определение по условным размерам длины и высоты дефекта. Кроме амплитудного способа определения величины дефекта применяют способ оценки величины дефекта измерением условных размеров его на поверхности прозвучиваемого изделия (рис. 151).

Как видно из рисунка, условный размер по длине дефекта превышает действительный размер дефекта, так как ультразвуковой пучок расширяется с увеличением расстояния.

То же относится и к определению условной высоты дефекта.

Поэтому для определения действительных размеров длины и высоты дефекта на основе коэффициентов выявляемости нужно вносить соответствующие поправки. Коэффициент выявляемости дефектов необходимо определять экспериментально.

Способы оценки характера дефектов. Для распознавания характера (формы) дефекта применяют ряд методик по определению коэффициента формы дефектов K_f (отношением эквивалентных площадей, изменением частоты ультразвуковых колебаний и др.).

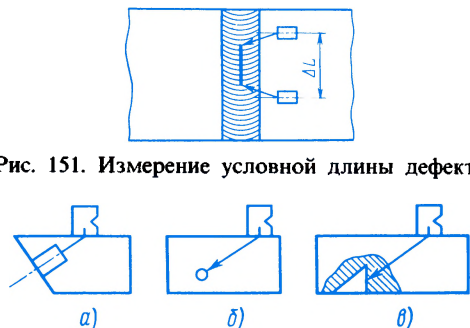


Рис. 152. Искусственные отражатели:

a — плоскдонное отверстие, b — боковое отверстие, c — угловой отражатель (зарубка)

Определение действительной площади или диаметра дефекта по амплитуде эхо-сигнала. Амплитуда эхо-сигнала от дефекта в контролируемом изделии на экране изменяется в зависимости от физических свойств пьезоэлемента, условий согласованности пьезоэлемента с усилителем дефектоскопа и др. Поэтому размер амплитуды эхо-сигнала от дефекта в изделии носит не абсолютный, а лишь относительный характер. При расчете амплитуды эхо-сигнала реальные дефекты заменяются искусственными (отражателями правильной геометрической формы, рис. 152).

Действительный размер дефекта в изделии определяют как произведение эквивалентного размера на коэффициент выявляемости дефекта. Эквивалентным размером (площадь, диаметр) называют площадь, диаметр плоскдонного отверстия в специальном образце, амплитуда эхо-сигнала от которого равна амплитуде эхо-сигнала от дефекта в контролируемом изделии.

Коэффициентом выявляемости дефекта называют частное от деления эквива-

лентной площади к площади действительного (истинного) дефекта, найденного после разрушения сварного соединения.

Кроме экспериментального способа существует способ определения эквивалентной площади по специальной номограмме АРД. Обычно эквивалентная площадь плоскостных дефектов (трещины, непровары) меньше площади действительного дефекта. Коэффициент выявляемости для объемных дефектов (поры, шлаки) находится в диапазоне 0,5–1,2.

Видно, что точно определить площадь действительного дефекта импульсным контролем не представляется возможным. Разброс в расшифровке дефекта по площади составляет 50–150 %.

Пример. Определить истинную площадь (сечение) объемного дефекта в контролируемом изделии, если эхо-импульсным контролем установлено, что дефект находится в изделии на глубине 20 мм, а амплитуда эхо-сигнала от дефекта составляет 25 мм. Глубину залегания дефекта в изделии определяют по методике, указанной на рис. 145, б. Для ответа на вопрос нужно подобрать из серии образцов с циклическими отверстиями разных диаметров и с различной глубиной такой, чтобы плоскодонное отверстие находилось на глубине 20 мм, а амплитуда эхо-сигнала от него равнялась бы 25 мм. Такое место в образце нашли: диаметр плоского дна у отверстия равен 2 мм и тогда эквивалентное сечение искусственного дефекта становится равным 3,14 мм ($\pi d^2/4$). Коэффициент выявляемости на основе опытно-статистических данных принимаем равным 0,5. Истинное сечение дефекта в изделии будет равно произведению величины эквивалентного сечения на коэффициент выявляемости дефекта, т. е. $3,14 \times 0,5 = 1,57$ мм².

§ 121. Основы технологии эхо-импульсного контроля

Подготовка к контролю. Сварные соединения подготавливают к ультразвуковому контролю, если в шве отсутствуют наружные дефекты. Форма и размеры околошовной зоны должны позволять перемещать искатель в пределах, обеспечивающих прозвучивание сечения шва.

Поверхность соединения, по которой перемещают искатель, не должна иметь вмятин и неровностей, с поверхности должны быть удалены брызги металла и загрязнения.

Сварное соединение маркируется так, чтобы можно было отмечать месторасположение дефекта по длине шва.

Трубы и резервуары перед контролем освобождают от жидкости (допускается жидкость, если имеется специальная методика, оговариваемая в нормативно-технической документации на контроль).

Угол ввода луча и пределы перемещения искателя выбирают такими, чтобы можно было обеспечить прозвучивание сечения шва прямым и однократно отраженным лучами или только прямым (по специальной методике допускается применять и многократно отраженные лучи).

При отсутствии приспособлений для ограничения пределов перемещения искателя на поверхность околошовной зоны сварного соединения наносят ограничивающие линии.

Длительность развертки у дефектоскопа устанавливают так, чтобы наибольшая часть развертки соответствовала пути ультразвукового импульса в металле шва.

Перед прозвучиванием по стандартным образцам проверяют основные параметры контроля: частоту ультразвуковых колебаний, условную и предельную чувствительность, угол ввода ультразвукового луча в металл, погрешность глубиномера, мертвую зону, разрешающую способность в направлении прозвучивания, стрелу искателя, минимальный условный размер дефекта, выявляемого при заданной скорости контроля и длительность зондирующего импульса.

Проведение контроля. Швы стыковых соединений прозвучивают прямым лучом, прямым и однократно отраженным лучом, многократно отраженным лучом (см. рис. 147), эхо-зеркальным видом – «тандем»; швы тавровых соединений – по схеме, приведенной на рис. 153, а; швы нахлесточных соединений – по схеме, показанной на рис. 153, б; допускаются и другие схемы прозвучивания. Акустический контакт искателя с поверхностью контролируемого изделия создается кон-

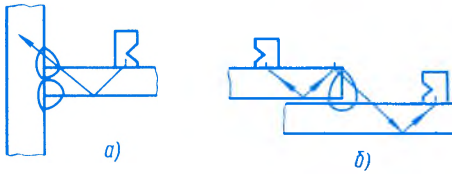


Рис. 153. Схемы прозвучивания тавровых (а) и нахлесточных соединений (б)

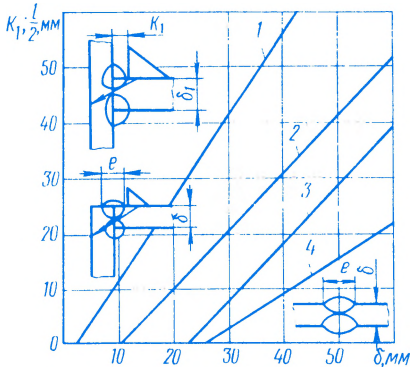


Рис. 154. Номограмма для выбора параметров наклонного искателя в зависимости от конструкции и типоразмера соединения:

1 - $\beta = 53^\circ$, $f = 5$ МГц, $n = 5$ мм; 2 - $\beta = 50^\circ$, $f = 2,5$ МГц, $n = 10$ мм; 3 - $\beta = 50^\circ$, $f = 2,5$ МГц, $n = 23$ мм; 4 - $\beta = 40^\circ$, $f = 2,5$ МГц, $n = 14$ мм

тактным или иммерсионным способами ввода ультразвуковых колебаний.

Параметры наклонных искателей (угол наклона, частота колебаний, стрела искателя) для контроля заданной толщины шва могут быть определены по рис. 154.

Швы малых толщин (до 15 мм) эффективно контролировать искателями с большими углами в призме ($\beta = 55 \div 56^\circ$, частота $f = 5$ МГц). В МВТУ имени Н. Э. Баумана разработан для этого наклонный РС-искатель типа РСМП.

Схема прозвучивания одним искателем — самая простая и наименее надежная. Для выявления дефектов при большой толщине изделия (200 мм и более) и в угловых швах рекомендуется применять сдвоенные искатели (например, конструкции НИИМостов), раздельно-совмещенные искатели и другие с более сложными схемами прозвучивания.

Обработка результатов контроля. Оценку качества швов сварных соединений проводят в соответствии с требова-

ниями, приведенными в технических условиях на сварное изделие.

Основными измеряемыми характеристиками выявленных дефектов являются: а) эквивалентная площадь дефекта или амплитуда U_d эхо-сигнала от дефекта с учетом измеренного расстояния до него; б) условные размеры дефекта; в) условное расстояние между дефектами; г) координаты дефекта в сечении шва с учетом типа и размеров соединения; д) число дефектов на определенной длине шва.

Результаты контроля записывают в журнале (заключении) или на схеме шва сварного соединения.

Пример записи результатов контроля ультразвуком следующий.

В шве сварного соединения типа С25, обозначенном индексом КУ-2-12 и длиной 1000 мм, обнаружены:

а) два дефекта, амплитуды эхо-сигналов соотносятся как $U_1 < U_2$. В соответствии с измерениями дефекты расположены на глубине 15 мм, а условная ширина каждого из них $\Delta X \approx 8$ мм;

б) один дефект имеет условную протяженность, равную 50 мм. Эквивалентная площадь дефекта не измерялась. Дефект расположен на глубине 16–24 мм, а его условная высота $\Delta H \approx 6$ мм;

в) один дефект имеет условную протяженность 35 мм, глубину залегания 12–14 мм.

Контроль проводил дефектоскопист (указать фамилию и дату) на дефектоскопе (указать тип дефектоскопа и его параметры при контроле).

§ 122. Радиационные виды контроля

К радиационным видам контроля относятся просвечивания сварных соединений рентгеновским излучением и гамма-излучением.

Выявление внутренних дефектов в сварных соединениях основано на свойстве рентгеновского и гамма-излучений проникать через различные твердые материалы, в том числе и металлы. При прохождении через материал любое излучение понижает свою интенсивность.

В зависимости от химического состава контролируемого материала, толщины

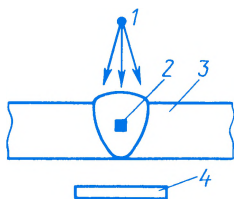


Рис. 155. Схема просвечивания сварного соединения:

1 – источник, 2 – дефект, 3 – контролируемое изделие, 4 – детектор

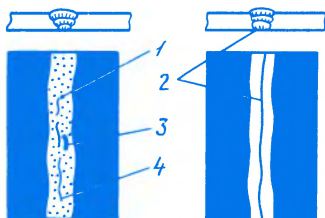


Рис. 156. Расшифровка рентгенограмм:

1 – газовые включения, 2 – непровары, 3 – шлаки, 4 – трещины

и энергии излучения оно ослабляется по определенному закону. Неодинаковая интенсивность излучений, прошедших через просвечиваемый объект, фиксируется с противоположной стороны исследуемого участка детектором 4 – радиографической пленкой, электронно-оптической системой – телевизором, счетчиком электронов (рис. 155).

Излучение при прохождении через сварное соединение с дефектами (газовая пора, шлаковое включение, трещины и др.) ослабляется меньше, чем в сплошном металле. При регистрации дефекта радиографической пленкой излучение оказывает на вещество пленки химическое воздействие, которое выражается в почернении пленки в местах дефектов. Эти места имеют наибольшую интенсивность излучения. Дефекты выявляются в виде черных пятен и линий на светлом фоне хорошего шва (рис. 156).

Аппаратура и материалы. Рентгеновские аппараты выпускают в виде моноблока (рентгеновская трубка и высоковольтный трансформатор смонтированы в единый блок), кабельного аппарата (рентгеновская трубка отделена от электрического источника питания трубки) и импульсного аппарата (рентгеновская трубка отделена от импульсного электрического источника).

Промышленность выпускает рентгеновские аппараты-моноблоки передвижного (РУП-120-5 и др.) и стационарного типа (РУП-400-5 и др.). «РУП-120-5» означает: «рентгеновская установка просвечиванием с напряжением на рентгеновской трубке 120 кВ и максимальным анодным током 5 А».

Аппараты кабельного типа выпускают в основном передвижными и используют для работы в цеховых и лабораторных условиях (например, РУП-150-10 и др.).

Импульсные рентгеновские аппараты типа ИРА-3 и другие используют в монтажных условиях.

Гамма-аппараты представляют собой радиационную головку с радиоактивным изотопом, имеют также привод источника, ампулопровод и пульт управления. Основными источниками гамма-излучения в аппаратах являются цезий-137, кобальт-60, иридий-192, тулий-170.

Промышленность выпускает универсальные шланговые дефектоскопы (рис. 157), имеющие шланг, подобно шлангу при дуговой полуавтоматической сварке, и затворные дефектоскопы специального назначения.

Широко применяют аппараты типа Гаммарид-25 и др. Все они являются переносными или передвижными. Излучатель подают в зону контроля по ампулопроводу на расстояние 5–12 м. Их удобно применять для контроля швов в труднодоступных местах, на строительных площадках, при контроле сосудов и др.

Затворными гамма-аппаратами (РИД-44 и др.) удобно пользоваться для контроля однотипных изделий, например магистральных газонефтепроводов, резервуаров и др. Они с выносным излучателем, но только не имеют ампулопровода.



Рис. 157. Схема шлангового дефектоскопа типа Гаммарид-11:

1 – привод управления, 2 – подающий трос, 3 – соединительный шланг, 4 – держатель источника излучения, 5 – радиационная головка, 6 – ампулопровод, 7 – коллиматор

Масса затворного аппарата больше шлангового и поэтому чаще прибегают к шланговым аппаратам. Наименьшую массу (10,5 кг) имеет шланговый аппарат типа Гаммарид-11.

Для просвечивания стали толщиной более 70 мм рентгеновское излучение получают в линейных ускорителях, микротронах и бетатронах. Конструкции этих источников излучения довольно сложные по сравнению с рентгеновскими аппаратами. При одинаково затраченной мощности они выделяют более интенсивные излучения, обладают большей чувствительностью контроля (0,8–1,0%), время контроля меньше.

Радиографические пленки используют без люминесцентных экранов или с усиливающими экранами. Каждый тип (марка) пленки предназначен для определенной цели (см. паспорт пленки), например пленка РТ-5 — для обнаружения дефектов минимального размера. Основными характеристиками пленки являются чувствительность к излучению, коэффициент контрастности и разрешающая способность (обнаруживание близко расположенных дефектов).

Металлические и люминесцентные экраны применяют для сокращения времени просвечивания, они усиливают излучение от рентгеновского аппарата вторичным излучением.

Металлические экраны изготавливают из тонкого свинца, меди, титана и других металлов толщиной от 0,05 до 0,5 мм, уложенных на гибкую пластмассовую подложку; медные и титановые экраны создают лучшую контрастность снимков.

Люминесцентные экраны изготовлены из пластмассовых или картонных подложек (листов), на которые нанесен слой люминофора. При облучении люминофора рентгеновским или гамма-излучением на пленку дополнительно воздействует свечение люминофора. Люминофором служит сернистый цинк, сернистый кадмий и др. Эти экраны применяют в том случае, когда необходимо снизить время экспозиции в 2–5 раз. Недостатком применения люминесцентных экранов является ухудшение разрешающей способности пленки (снимки получаются размытыми) из-за крупности зерен люминофора.

При использовании металлических экранов снимки на пленке получаются более контрастными, четкими, хотя время экспозиции при работе на них меньше, чем на люминесцентных.

Можно пользоваться флюорометаллическими экранами (например, свинцовая подложка с нанесенным на нее слоем люминофора), обеспечивающими лучшую относительную чувствительность контроля, чем люминесцентные экраны.

Относительная чувствительность контроля оценивается проволочным или канавочным эталонами четырех типов каждый.

Проволочный эталон чувствительности представляет собой чехол из пластмассы, в котором размещены проволоки из материала контролируемого изделия. Диаметры проволок различны.

В канавочном эталоне имеются канавки разной глубины и ширины.

В практике радиационной дефектоскопии применяют кассеты, держатели и маркировочные знаки. Кассета — двойной конверт из черной светонепроницаемой бумаги, дерматина или алюминия. По ГОСТ 15843–79 изготавливаются 15 типов размеров кассет. Кассеты крепятся к поверхности просвечиваемого сварного шва магнитным держателем (МД-1), резиновыми нитями и др. Маркировочные свинцовые знаки размещаются на изделии или кассете для отпечатывания на снимке.

§ 123. Технология радиационного контроля

Источник излучения выбирают в зависимости от толщины контролируемого тела, ответственности изделия, наличия количества типов источников излучения и др. Например, при контроле изделий, в которых возможны дефекты больших размеров, наиболее правильное применять изотопы. Для изотопов относительная чувствительность бывает равной 4%. Это значит, что можно выявлять высоту дефекта, равную 4 мм, в листе толщиной 100 мм. Разные типы изотопов обладают различной относительной чувствительностью. Рентгеновское излучение или изотопы с малой энергией излучения позволяют обнаружить более мелкие дефекты.

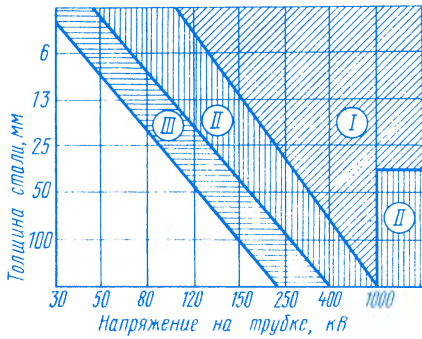


Рис. 158. Номограмма областей применения рентгеновских пленок для просвечивания стали: I – пленки типа РТ-5, РТ-4, II – пленки типа РТ-1, РТ-3, III – пленки типа РТ-2

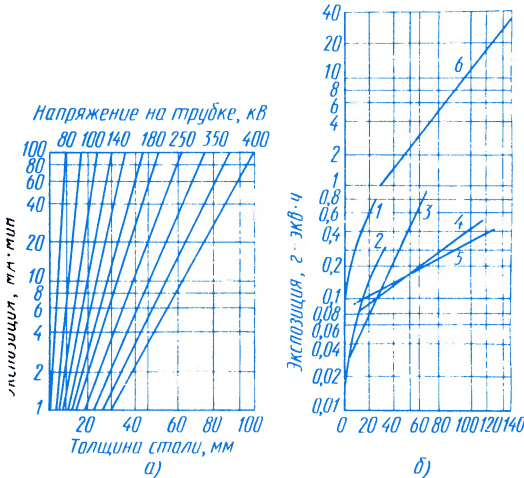


Рис. 159. Номограмма для определения экспозиции просвечивания стали:

а – рентгеновским излучением при $F = 750$ мм и пленке РТ-1, б – гамма-излучением при $F = 500$ мм и пленке РТ-1; 1 – тулий-170, 2 – стронций-75, 3 – иридий-192, 4 – цезий-137, 5 – европий-152, 6 – кобальт-60

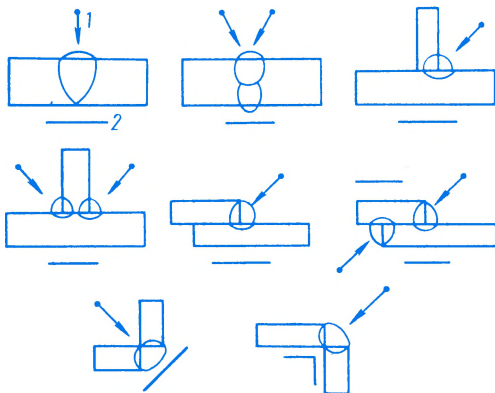


Рис. 160. Схема контроля сварных соединений: 1 – направление источника излучения, 2 – рентгенопленка

Подготовка к просвечиванию. Рентгеновскую пленку выбирают по таблицам или по номограммам (рис. 158). Пленку заряжают в кассету, ее укрепляют на изделии, а со стороны источника излучения устанавливают эталон чувствительности. Разрешается располагать эталон со стороны детектора.

Режим просвечивания. Экспозицию (время просвечивания) определяют по номограммам (рис. 159). Расстояние от источника излучения до пленки, тип пленки и энергию излучения назначают по ГОСТ 7512–82. Направления просвечивания сварных соединений указаны на рис. 160.

Фотообработка снимков. Обработку пленки выполняют в такой последовательности: проявление, промежуточная промывка, фиксирование изображения, промывка в непроточной воде, окончательная промывка в проточной воде и сушка пленки. Расшифровка снимков показана на рис. 156.

Оформление результатов контроля. Размеры дефекта измеряют линейкой по изображению на снимке в миллиметрах. Глубина дефекта определяется неточно, если пользоваться просвечиванием с одной позиции. Глубина дефекта может быть определена также математическим вычислением при просвечивании с двух позиций.

§ 124. Перспективные виды радиационной дефектоскопии

Перспективными видами радиационной дефектоскопии являются ксерорадиография и радиационная интроскопия.

Ксерорадиография заключается в том, что для обнаружения дефекта пользуются пластинкой из стальной (алюминиевой) фольги, на поверхность которой нанесен фотопроводниковый слой (обычно селеновый). Пластинку предварительно заряжают. Под действием рентгеновского или гамма-излучения ксеропластина теряет электрические заряды. Остаточный заряд будет тем меньше, чем больше интенсивность излучения. Интенсивность излучения в местах дефектов бывает выше и поэтому остаточный заряд в этих местах будет меньше. Все это образует в ксеропластине скрытое электростатическое изображение,

которое преобразуется в видимое изображение путем его проявления. Оно заключается в том, что пластина со скрытым электростатическим изображением опыляется предварительно электризуемым порошком (мел, тальк и др.). На это затрачивается 10–40 с.

Электризация ксерорадиографической пластины и проявляющего порошка выполняется коронным разрядом при напряжении 7–12 кВ. Длительность заряда составляет 10–120 с. Заряд в пластине сохраняется не более 30 мин. Срок службы пластины около 700 зарядов.

Размножение снимка с ксеропластины проводится контактированием простой бумагой, на которой фиксируется полученное изображение контролируемого изделия.

Относительная чувствительность ксероконтроля близка к радиографической. Преимущества ксерорадиографии перед радиографией – высокая производительность получения снимка и сухое проявление. В промышленности применяют ксероустановки типов ПКР-2, Эрга-С и другие для контроля сварных соединений толщиной до 20 мм.

Радиационная интроскопия – изображение просвечиваемых тел с дефектами на экране телевизора.

Обычно источниками излучения служат рентгеновские аппараты, а преобразователями излучений, прошедших контролируемое изделие, являются флуороскопические или электронно-люминесцентные экраны, электронно-оптические преобразователи и т. д.

Промышленность выпускает рентгеновские интроскопы типа РИ-60 ТЭ (толщина просвечивания до 70 мм, относительная чувствительность контроля 3–4%, скорость просвечивания 1,5 м/мин) и др.

Наряду с рентгеновскими интроскопами телевизионной системы в технике просвечивания стали применяться рентген-видиконы. Телевизионная система (рис. 161) с рентген-видиконом преобразует рентгеновское изображение непосредственно в видеосигнал, который передается через телевизионный блок связи на приемную трубку и электронное изображение преобразуется в светотеневое.

Промышленные телевизионные

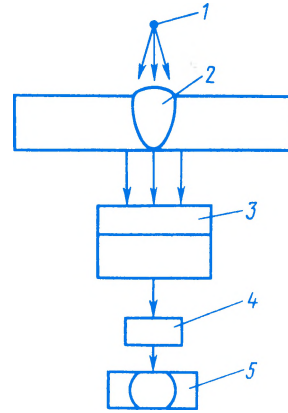


Рис. 161. Схема установки с рентген-видиконом:

1 – источник излучения, 2 – металл шва, 3 – рентген-видикон, 4 – блок связи, 5 – телевизионная система

устройства типа ПТУ-39 создают увеличенную чувствительность просвечивания на экранах рентгеновских интроскопов. С помощью их можно просвечивать сварное соединение толщиной до 15 мм.

Рентгеновское просвечивание сварных изделий на экран с помощью телевизионной системы более толстых металлов возможно на основе развивающегося нового метода – вычислительной томографии.

§ 125. Магнитные виды контроля

Магнитный вид контроля металла основан на том, что при прохождении магнитных силовых линий по испытуемому материалу в местах дефектов возникают поля рассеяния (рис. 162). Если на поверхность металла нанести ферромагнитный порошок, то над местом расположения дефекта создадутся скопления порошка в виде правильно ориентированного магнитного спектра.

Намагничивание осуществляется пропуском тока по детали, созданием магнитного поля вокруг детали действием природного магнита или электромагнита. Неравномерность поля определяется искателем, в частности магнитным порошком, который и указывает местоположение и протяженность дефекта в детали.

Удобным способом создания магнитного потока является пропускание тока плотностью 15–20 А/мм по виткам сва-

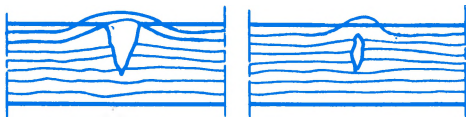


Рис. 162. Прохождение магнитного потока по детали при наличии дефекта в металле

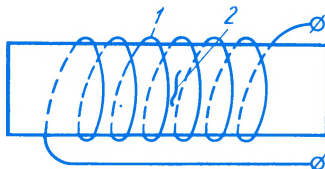


Рис. 163. Намагничивание изделия пропускаем ток:

1 – витки провода, 2 – трещина

рочного провода, наматываемого тремя – шестью витками на изделие (рис. 163). Для намагничивания лучше применять постоянный ток.

С помощью магнитного порошка можно выявлять любые внутренние дефекты. Этот вид контроля применяют для выявления поверхностных трещин, не видимых невооруженным глазом, трещин, находящихся внутри металла и расслоения металла. Можно также обнаружить крупные поры и шлаковые включения, расположенные на глубине не более 3–5 мм.

Существует два способа контроля с помощью магнитного порошка: сухой и мокрый. В первом случае магнитный порошок (охра, сурик, железные опилки, окалина и др.) находится в сухом виде; во втором случае магнитный порошок находится во взвешенном состоянии в жидкости (керосине, мыльном растворе, воде). Сухим способом можно обнаружить как поверхностные, так и внутренние дефекты. Мокрым способом лучше обнаруживаются поверхностные дефекты.

Иногда для контроля качества швов находят применение магнитографический способ контроля с помощью магнитной ленты. Он основан на записи полей рассеяния, возникающих над дефектами, на ферромагнитную ленту и последующем воспроизведении их магнитографическим магнитоскопом. В результате сравнения контролируемого стыка с эталоном контролер делает вывод о характере дефек-

тов и пригодности стыка. Согласно методике ВНИИСТ магнитографическому контролю можно подвергать стыки трубопроводов и стыковые швы листовых металлоконструкций с толщинами стенок от 2 до 16 мм.

Надежность магнитографического контроля возрастает с уменьшением отношения усиления шва к толщине стенки трубы. Иногда пользуются магнитографическим методом перед рентгеновским просвечиванием. Применяется ряд конструкций магнитоскопов (МДУ, ВУМД-7 и др.).

§ 126. Контроль непроницаемости швов

Контроль, основанный на проницаемости газов (воздуха, смеси воздуха с аммиаком и другими индикаторами) и жидкостей (воды, керосина), широко используется для проверки герметичности сосудов и трубопроводов.

Гидравлическому испытанию подвергаются различные сосуды, котлы и трубопроводы, работающие под давлением. Гидравлическим испытанием контролируется не только плотность сварных соединений, но также относительная прочность всей сварной конструкции. При гидравлическом испытании сосуд наполняется водой; для выхода воздуха в верхней части одно отверстие оставляют открытым. Это отверстие закрывается лишь после наполнения водой всего сосуда. Затем в сосуде гидравлическим прессом создается давление, равное рабочему давлению. Если дефектов не обнаруживается, давление увеличивается до $P_{исп} = 1,25 P_{раб}$ для сосудов с $P_{исп} = 1,5 P_{раб}$ для трубопроводов. Под этим давлением сосуд или трубопровод выдерживают 5 мин, затем давление снижают до $P_{раб}$ и обстукивают соединения молотком со сферической головкой на расстоянии 15–20 мм от кромки шва. После этого швы осматривают. При испытании на морозе вместо воды применяют антифриз.

Пневматическое испытание проводят с целью контроля плотности сварных соединений. Для этого в замкнутый сосуд нагнетают воздух до рабочего давления. Снаружи все швы смачи-

ваются мыльным раствором. Сжатый воздух в местах неплотностей образует мыльные пузыри. В зависимости от количества и интенсивности выделения мыльных пузырей можно судить о характере и величине дефекта. Пневматический контроль сварных соединений получил широкое применение при испытании сосудов малой емкости как наиболее удобный и доступный в заводских условиях с массовым производством. В этом случае испытываемый сосуд погружается в ванну с водой и неплотности определяются выделением пузырьков воздуха. Для сосудов большого объема применять испытание сжатым воздухом следует очень осторожно, так как при наличии дефектов в швах может произойти разрыв всего сосуда.

Испытание аммиаком сварных соединений, предложенное С. Т. Назаровым, применимо для испытания на плотность замкнутых сварных сосудов. В испытываемый сосуд подается под давлением до 0,2 МПа смесь воздуха с аммиаком (1%). С внешней стороны сосуда на сварные соединения плотно укладывается (приклеивается) бумага (или марлевый бинт), пропитанный 5%-ным водным раствором азотнокислой ртути. Если в сварном соединении имеются неплотности, то аммиак, обладая высокой проницаемостью, пройдет через них и в этих местах бумага потемнеет. В зависимости от скорости появления на бумаге пятен, их формы и размеров можно судить о характере и размерах дефекта. Обычно время проникания аммиака через неплотности сварного соединения составляет от 10 до 30 мин. Этот вид испытания сварных соединений получил на производстве сравнительно малое применение.

При испытании на плотность сварных изделий углекислым газом на наружную поверхность шва наносят индикаторную массу (дистиллят-40, агар-1, фенолфталеин-0,15, безводная сода — 0,01 частей). Места течи определяются пятнами на индикаторной массе.

Наиболее простым видом испытания на герметичность является манометрический контроль. В случае негерметичности давление наполненного газа (воздуха) в сосуде снижается и фиксируется манометром.

Указанные виды контроля на герметичность воздушно-аммиачной смесью углекислым газом и манометрически выявляют относительно крупные дефекты в сварных изделиях.

В практике контроля герметичности изделий необходимо обнаруживать и малые течи. Для этого применяют метод галоидного и гелиевого течеискания. При галоидном контроле используют газ фреон-12 (газ на основе галоидного элемента фтора), который при выходе из сосуда в месте течи регистрируется стрелочным прибором (переносный галоидный течеискатель типа ГТИ-6 и др.).

При гелиевом течеискании ничтожное количество атомов гелия проходит через мельчайшие неплотности контролируемого объекта и фиксируются в приборе, имеющем миллиамперметр и звуковой индикатор — сирену (передвижные течеискатели типа ПТИ-10 и др., с автоматическим управлением типа СГИ-1).

Начинают применять контроль течеисканием в замкнутых сосудах с вакуумированием (контроль гелиевой камерой и вакуумной присоской).

При испытании керосином используют способность керосина проникать через малые неплотности: трещины, поры и сквозные непровары металла. Для контроля швы со стороны раскрытия окрашивают мелом, разведенным на воде с добавлением клея, а со стороны корня шва смачивают керосином. Керосин, проходя через неплотности, образует на высушенной меловой краске темные пятна, по которым можно судить о характере неплотности и месте ее расположения. Если в течение 30—60 мин такие пятна не появятся, то швы считаются удовлетворительными. Скорость прохождения керосина через металл будет определяться толщиной сварного соединения и характером расположения дефектов в металле. Для ответственных изделий время выдержки под керосином устанавливают до 12 ч при температуре окружающего воздуха выше 0 °С и до 24 ч при температуре ниже 0 °С.

Керосиновая проба эквивалентна 0,3—0,4 МПа гидравлического давления, применяемого для сварных сосудов закрытого типа.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность ультразвукового контроля сварных швов?
2. В чем заключаются преимущества рентгеновского просвечивания перед ультразвуковым контролем?
3. Что такое радиационная интроскопия?
4. Расскажите о сущности магнитного контроля.
5. Какие вы знаете виды контроля непроницаемости швов?

ГЛАВА XXV. ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРОЧНЫХ РАБОТ

§ 127. Значение контроля качества, система управления качеством продукции на предприятиях

Любая продукция характеризуется показателями качества, которые оцениваются расчетно-аналитическим методом (цифровыми коэффициентами) и др.

Качество изделия закладывается с процесса его разработки (проектирования), оно предусматривается в процессе изготовления, а также в процессе эксплуатации изделия.

Определенное или повышенное качество сварных изделий обеспечивается стройной, иногда относительно сложной системой управления качеством продукции (СУКП) на предприятиях.

Назначением СУКП на предприятиях в соответствии с ГОСТ 15467—79 является установление и поддержание необходимого уровня качества продукции в процессе ее проектирования, производства и эксплуатации, осуществляемое путем систематического контроля качества.

Под уровнем качества продукции понимается относительная характеристика качества продукции, основанная на сравнении показателей выпускаемого качества с показателями базового качества. Показателями базового качества могут быть: показатели качества выпущенной аналогичной продукции, которая отвечает самым высоким требованиям; Государственные стандарты или технические условия на продукцию, содержащие высокие требования качеству; показатели качества продукции, указанные в руководящих материалах.

С целью выпуска добротной продукции и поощрения трудовых коллективов в борьбе за высокое качество проводятся

внутризаводская аттестация, отраслевая и государственная аттестация выпускаемой продукции. Продукции высшего качества присваивается государственный Знак качества.

§ 128. Организация заводской системы управления качеством сварных изделий

Для управления качеством изделий обычно приказом директора на заводе создается группа (комиссия) управления качеством продукции. Эту группу возглавляет главный инженер завода, а его заместителем является главный технолог. В состав группы входят начальники основных цехов и отделов: например, отдел технического контроля (ОТК), отдел главного конструктора (ОГК), планово-экономический отдел (ПЭО), отдел организации труда и зарплаты (ООТ и З), начальники технического бюро отдела главного технолога (ОГТ). На некоторых заводах в группу управления могут входить и другие подразделения завода.

Группа определяет задачи по организации системы управления качеством продукции на заводе и составляет план мероприятий по выпуску высококачественной продукции.

В плане предусматриваются организационные, технические, экономические и социальные мероприятия, направленные на поддержание на заводе необходимого уровня качества продукции и получение при этом максимальной прибыли.

К организационно-технологическим мероприятиям можно отнести внедрение прогрессивной технологии, механизацию и автоматизацию термической резки, сборки, сварки и контроля

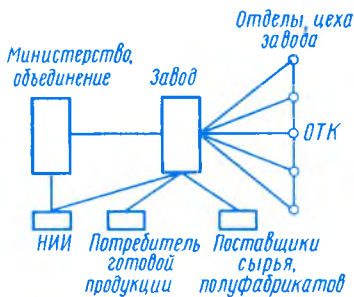


Рис. 164. Схема системы управления качеством сварных изделий

сварочных работ, нового оборудования, проведение научно-исследовательских работ и др.

К социально-экономическим мероприятиям относятся организация во всех подразделениях завода социалистического соревнования за выпуск продукции необходимого уровня качества, мероприятия по моральному и материальному стимулированию рабочих, ИТР и служащих.

На рис. 164 показана схема системы управления качеством сварных изделий, применяющаяся на заводе металлических конструкций. Системой управления качеством сварных изделий охвачены основные подразделения предприятия. Для каждого подразделения (отдела) предусмотрены определенные функции (задачи), направленные на выполнение заводского плана выпуска сварных изделий на определенном уровне качества.

Наибольшую ответственность за качество выпускаемых изделий несет ОТК.

Системой управления качеством продукции предусматривается, что контроль за соблюдением утвержденной технологии в цехах работники ОТК осуществляют совместно с главным сварщиком и технологами отдела главного технолога завода. Эта связь особенно необходима тогда, когда на заводе проводится внутривзаводская аттестация качества сварных изделий.

§ 129. Типовое положение об отделе технического контроля промышленного предприятия

1. Отдел (управление) технического контроля является, как правило, самостоятельным структурным подразделе-

нием промышленного предприятия (объединения). Все работники цехов и других подразделений предприятия, занятые только техническим контролем, входят в состав ОТК.

2. Главными задачами ОТК являются предотвращение выпуска (поставки) предприятием продукции, не соответствующей требованиям стандарта и технических условий, утвержденным образцам (эталонам), проектно-конструкторской и технологической документации, условиям поставки и договоров, или некомплектной продукции, а также укрепление производственной дисциплины и повышение ответственности всех звеньев производства за качество выпускаемой продукции.

3. Предприятие (объединение) может реализовать лишь продукцию, принятую ОТК или изготовленную лицами, работающими в условиях самоконтроля. На продукцию должны быть оформлены сертификат, паспорт, формуляр или другой документ, удостоверяющий соответствие этой продукции установленным требованиям.

4. Система технического контроля (объекты контроля, контрольные операции и их последовательность, техническое оснащение, режимы, методы, средства механизации и автоматизации контрольных операций) является неотъемлемой частью производственного процесса, разрабатывается (определяется) одновременно с разработкой технологии производства службой главного технолога (главного металлурга и т. д.) предприятия или соответствующими проектно-технологическими организациями при участии либо по согласованию с ОТК и в обязательном порядке фиксируется в утверждаемых технологических процессах.

5. Отдел технического контроля:

а) обеспечивает развитие и совершенствование системы технического контроля, ведет систематическую работу по анализу эффективности системы технического контроля, устранению причин выпуска продукции низкого качества, организует и осуществляет внедрение прогрессивных методов контроля и оценки качества продукции, в том числе неразрушающих видов контроля, и т. д.;

б) осуществляет входной контроль, операционный, приемочный контроль готовой продукции и другие контрольные операции, предусмотренные технологическим процессом;

в) назначает и проводит не предусмотренные утвержденным технологическим процессом выборочные проверки качества готовой продукции, качества выполнения отдельных технологических операций и переходов, качества и состояния технологического оборудования, инструмента и т. д.;

г) осуществляет выборочный контроль технологической дисциплины;

д) оформляет документы, удостоверяющие соответствие принятой готовой продукции установленным требованиям, и т. д.;

е) совместно с работниками других подразделений предприятия предъявляет готовую продукцию представителю заказчика в случаях, предусмотренных условиями ее поставки;

ж) участвует в испытаниях новых и модернизированных образцов продукции;

з) ведет учет претензий на несоответствие поставленной предприятием продукции установленным требованиям;

и) осуществляет периодический выборочный контроль качества продукции, выпускаемой цехами, участками, бригадами и отдельными работниками, переведенными на самоконтроль;

к) разрабатывает предложения о повышении требований к качеству изготавливаемой и потребляемой предприятием продукции и др.

6. ОТК промышленного предприятия возглавляет начальник отдела, который подчиняется непосредственно директору предприятия. Назначение на должность начальника ОТК предприятия и освобождение от этой должности производятся вышестоящим органом по представлению директора предприятия. В целях усиления контроля качества продукции Министерство (ведомство) может установить иной порядок подчиненности начальника ОТК.

7. Начальник ОТК:

а) организует деятельность ОТК, обеспечивает подбор и расстановку кадров и контролирует их работу, органи-

зует техническое обучение и повышение квалификации работников ОТК;

б) принимает окончательное решение о приемке готовой продукции или об отнесении ее к браку в случаях разногласий между работниками ОТК и производственных подразделений;

в) сообщает государственным органам по месту нахождения поставщика о фактах неоднократного получения продукции, не соответствующей стандартам, техническим условиям или образцам (эталонам);

г) участвует в решении вопросов о переводе отдельных работников, бригад, участков и цехов на самоконтроль, а также вносит в необходимых случаях представления о лишении права на самоконтроль работников и подразделений предприятия.

8. Начальник ОТК имеет право:

а) прекращать приемочный контроль продукции, имеющей повторяющиеся дефекты, до устранения причин, вызывающих эти дефекты;

б) запрещать с одновременным письменным уведомлением директора предприятия:

использование в производстве сырья, материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий и инструмента, не соответствующих установленным требованиям и не обеспечивающих выпуска высококачественной продукции, изготовление продукции на отдельных станках, агрегатах, участках и в цехах, не обеспечивающих соблюдение установленной технологии и изготовление продукции в соответствии с требованиями нормативно-технической документации;

изготовление новой продукции, если документация на эту продукцию не обеспечивает соблюдения требований стандартов и технических условий и т. д.

реализацию продукции, не принятой ОТК;

использование контрольно-измерительных средств, не прошедших в установленном порядке поверки или являющихся неисправными;

в) предъявлять обязательные для исполнения требования к соответствующим подразделениям и должностным лицам предприятий об устранении причин возникновения дефектов продукции и т. д.;

г) представлять руководству предприятия предложения о привлечении к ответственности должностных лиц и рабочих предприятия, виновных в изготовлении продукции, не соответствующей установленным требованиям, а также предложения о снижении размеров или лишения премий начальников цехов, участков, мастеров и бригадиров, не обеспечивающих изготовление продукции в соответствии с установленными требованиями, и т. д.

9. Разногласия между директором предприятия и начальником ОТК рассматривает вышестоящий по отношению к предприятию орган с привлечением главной инспекции по качеству продукции министерства.

10. Начальник ОТК наравне с директором и главным инженером предприятия несет ответственность за выпуск недоброкачественной, или не соответствующей стандартам и техническим условиям, или некомплектной продукции.

Начальник ОТК несет также ответственность за организацию, состояние и совершенствование системы технического контроля на предприятии; невыполнение возложенных на ОТК обязанностей и неправильное использование предоставленных ему прав; неправильное и несвоевременное оформление документов; использование на контрольных операциях неисправных, неверных и не прошедших в установленном порядке поверки контрольно-измерительных средств.

11. Работники ОТК несут ответственность за неправильную оценку соответствия контролируемой продукции установленным требованиям.

В случае изготовления недоброкачественной продукции ответственность за это несут руководители соответствующих структурных подразделений предприятия, мастера и другие работники (в том числе работники ОТК), виновные в изготовлении этой продукции.

§ 130. Функции, структура и штат отдела технического контроля

Функции ОТК. Отдел технического контроля проводит входной технологический контроль, контроль за соблюдением стандартов и технических условий при из-

готовлении изделий; совместно с другими подразделениями (предприятия, завода) участвует в прогнозировании, планировании и стимулировании уровня качества изделий, в оценке качества труда каждого исполнителя; подготавливает для руководства и технических служб (для главного технолога, главного сварщика) информационные материалы о качестве деталей и изделий.

Структура и штат ОТК. Отдел технического контроля завода подчиняется директору и главному инженеру завода. Отдел возглавляет начальник ОТК (инженер по образованию). Ему подчиняются контрольный мастер внешнего контроля, контрольный мастер в цехе (он же начальник бюро технического контроля цеха — БТК), руководитель контрольно-проверочной группы, руководитель группы оформления технической документации.

Мастер входного контроля (внешней приемки) проверяет наличие поступивших на завод металлопроката и различных материалов (сварочная проволока, покрытые электроды, порошковая проволока, газы и др.), их внешний вид, упаковку, маркировку, соответствие с сопроводительной документацией по качеству и комплектованию. После проверки металла и материалов подписывает приходные ордера и дает разрешение на запуск металла и материалов в производство.

При обнаружении каких-либо отклонений от нормативной или сопроводительной документации телеграммой вызывается представитель поставщика и составляется акт.

При поступлении материалов без документов, подтверждающих их качество, в присутствии контролера внешней приемки производится отбор проб, которые передаются в лабораторию завода на анализ; при удовлетворительном результате анализа, подтверждающем соответствие с заказанным, дается разрешение на запуск металла и материалов в производство.

На брак материалов, обнаруженный в процессе производства, работники БТК цеха составляют акт, который передается контролеру внешней приемки для предъявления претензии поставщику металла.

Контролер внешней приемки проверяет правильность хранения, транспортирования и выдачи в производство металла и материалов; в случае каких-либо нарушений требует от отделов снабжения и группы металла соблюдения правил хранения и устранения существующих недостатков.

Контрольный мастер в цехе руководит операционными контролерами (контролеры на определенных операциях в цехе), несет ответственность за состояние контроля в данном цехе, совместно с руководителем контрольно-проверочной группы и другими службами цеха и завода обеспечивает контроль за правильной работой аппаратуры для контроля и квалификацией контролеров; дефектоскописты (например, по ультразвуковому контролю качества сварных соединений) данного цеха подчиняются, как правило, начальнику цеха. Однако по требованию цехового контрольного мастера дефектоскописты обязаны провести дополнительный контроль сварного соединения. Кроме того, для обеспечения функционирования системы «бездефектного труда» цеховой контрольный мастер (совместно с контролерами) осуществляет контроль качества труда производственных рабочих и наладчиков с ежедневной информацией на пятиминутках у начальника цеха.

Руководитель контрольно-проверочной группы несет ответственность за состояние измерительного инструмента, оснастки, оборудования, приборов и аппаратуры, которыми пользуются в цехах; непосредственно под его руководством производится наладка всей аппаратуры для контроля, заботится о ее ремонте и замене новой; совместно с контролерами и дефектоскопистами цеха осваивает новую аппаратуру для контроля, проводит техническую учебу контролеров и дефектоскопистов цеха.

Руководитель группы оформления технической документации несет ответственность за оформление и размножение разного рода технической документации по контролю.

Расчет количества операционных контролеров. Количество контролеров рассчитывается согласно трудоемкости и сложности операционного контроля, ко-

личества смен в сутки и других заводских условий.

Численность контролеров ОТК определяют, например, по упрощенной формуле: $n = (H_p - H_c)/H_o$, где H_p — численность всех производственных рабочих в цехе; H_c — число производственных рабочих, осуществляющих самоконтроль; H_o — норма обслуживания одним контролером производственных рабочих (на заводе металлических конструкций $H_c = 21$). Эта норма может быть откорректирована на основе фотографии рабочего дня в цехе. Формула не учитывает сложности изготавливаемых изделий, класса точности и др.

Основными функциями контролеров сварочных работ являются: контроль качества исходного металла и материалов, подготовка деталей под сборку и сварку, контроль технологии сварки; клеймение принятой продукции; технический учет брака, участие в разработке более совершенных видов контроля и внедрение их в производство.

§ 131. Основные виды организационного контроля качества сварочных работ

По признаку этапа изготовления сварных изделий различают контроль: входной, технологический, сдаточный; по длительности: повседневный, периодический, летучий, пооперационный профилактический; по месту расположения: стационарный, на рабочих местах; по исполнителям: контролерами, рабочими с самоконтролем; по объему: сплошной, выборочный.

Сущность входного контроля дана в § 36. Он осуществляется подразделением входного контроля (бюро, лаборатория и др.).

Объем контроля (количество проверяемых параметров, процент контролируемой входной продукции) устанавливается нормативно-технической документацией на выпускаемую продукцию.

Технологический контроль — контроль в процессе изготовления сварных изделий.

Контроль качества продукции в производственных цехах завода осуществляет бюро технического контроля цехов

в соответствии с требованиями технической документации (чертежи, технические условия, технологические карты). Работники ОТК в цехах расставлены с учетом объема и сложности выпускаемых изделий. На изготавливаемые изделия разработаны операции технического контроля, разработаны контрольные карты, в которые заносятся данные контроля.

За строгое соблюдение технологических процессов в цехах отвечают руководитель технологической группы завода, начальник технологического бюро цеха, главный технолог завода.

Целью контроля за соблюдением утвержденного технологического процесса являются: проверка полноты выполнения указаний технологического процесса, выявление фактов нарушения технологической дисциплины и виновных в этих нарушениях; выявление причин, порождающих брак в производстве; разработка и осуществление мероприятий, направленных на повышение технологической дисциплины, улучшение качества технологического процесса.

Контроль за соблюдением технологической дисциплины в цехах работники ОТК осуществляют совместно с технологами отделов главного технолога и главного сварщика, технологов цехов. Проверка осуществляется в соответствии с графиком, утвержденным главным инженером. Результаты проверки могут оформляться в журналах или актами.

Контролю подлежат все виды технологических процессов (термическая резка, сборка, сварка, окраска и др.), оборудование, приспособления, измерительный инструмент и др.

Сдаточный контроль — контроль готового сварного изделия как до отправки изделия заказчику, так и в процессе сдачи изделия представителю заказчика на заводе.

Повседневный, или периодический, или летучий, контроль осуществляется по графику, разработанному главным технологом, согласованному с начальником ОТК и утвержденному главным инженером завода. График проверок соблюдения технологии составляется из расчета охвата проверками 100% действующих технологических процессов в течение года.

Обычно повседневная проверка в цехах осуществляется технологами цеха совместно с производственными мастерами и дефектоскопистами.

Периодическая проверка производится цеховой комиссией (заместитель начальника цеха, начальник бюро технического контроля) при изготовлении обычно новой партии деталей. Результаты проверок заносятся в журнал и докладываются начальнику цеха и начальнику ОТК.

Кроме того, возможна периодическая проверка технологии производства постоянно действующей комиссией предприятия.

Периодическую проверку постоянно действующей комиссией предприятия проводят для оценки уровня технологической дисциплины в цехах и уровня работы ОТК и всех комиссий в составе заместителя главного технолога, заместителя главного контролера и представителя конструкторского бюро. Комиссия проверяет наличие необходимых технических условий, действующих ГОСТов, соответствие технологических процессов конструкторской документации, состояние оснащенности контрольных операций (инструментом, приборами), соблюдение технологических процессов на рабочих местах, знание рабочими технологического процесса, санитарно-гигиенические условия работы и культуры производства.

Летучий контроль проводится работниками ОТК. В этом случае проверяется наличие на рабочих местах документации на выполняемый технологический процесс, выполнение технологии изготовления, качество хранения материалов, заготовок, инструмента, оснастки и готовой продукции.

Операционный профилактический контроль — контроль на отдельных операциях производства; он проводится контролером ОТК с оформлением предупреждения производственному мастерству или начальнику участка. Предупреждение выписывается на специальном бланке в двух экземплярах, подписывается контрольным мастером: один экземпляр остается в цеховом ОТК, а другой передается производственному мастеру или начальнику участка в цехе.

Стационарный контроль — контроль на одном месте, куда доставляются изделия (например, просвечивание сварных изделий рентгеновским интроскопом см. § 125).

Контроль рабочими с самоконтролем — контроль самим исполнителем технологической операции. Этот контроль представляет собой прогрессивное направление в технологии любого производства. Рабочий выполняет свой труд с высоким качеством без дефектов (бездефектный труд).

Сплошной контроль — контроль выполняется на всех этапах изготовления данного сварного изделия, во всех технологических процессах (резка, сборка, сварка), операциях и всех материалах; применяется редко — лишь при освоении нового изделия.

Выборочный контроль — контроль на отдельных процессах и операциях; применяется широко.

§ 132. Учет и анализ дефектов

Дефектным считается изделие, имеющее хотя бы один неисправимый дефект, приводящий к отказу — нарушению работы сварного изделия.

В ОТК ведется учет всех обнаруженных на заводе дефектов, поступающих претензий и рекламаций о качестве выпускаемых изделий.

ОТК и заводская комиссия проводят анализ причин появления дефектов, указывают мероприятия по их исправлению и дальнейшему улучшению качества. На основании этого ОТК составляет информационный материал о дефекте (дефектах) и направляет его руководителю соответствующего отдела, цеха для устранения дефекта. Выявление дефектов производится многими способами контроля.

Учет и анализ дефектов оформляется в специальном журнале. На предприятии должна быть инструкция по регистрации дефектов. Контроль за выполнением мероприятий по улучшению качества изделий осуществляет служба управления качеством продукции (СУКП).

§ 133. Техническая документация контроля

ОТК в своей работе использует следующую техническую документацию: технологическую карту на сборку, сварку и контроль качества на изделие, узел; паспорт технологический на изделие; ГОСТы и технические условия на изделие; документацию об аттестации сварщика; документацию по учету качества сварочных работ; документацию по учету и анализу брака; документацию по расследованию рекламаций заказчика; правила Госгортехнадзора, Газовой инспекции и других инспекций; разного рода документы (акт-сертификат на материалы, химический анализ металлов, результаты механических и иных испытаний и т. д.) на материалы, оборудование, приборы и т. д.

Технологическая карта на сборку, сварку и контроль качества на изделие. Карта содержит сведения о способах обработки деталей, изделий, в результате которых происходит качественное изменение обрабатываемого объекта. Оформление способов обработки выполняют в виде технологических карт (или ведомостей) и инструкций с графиками (рисунками). Различают технологические карты на сборку, сварку и контроль на изделие, карты операционные, маршрутные и др. В технологической карте на сборку, сварку и контроль узла, изделия указывают процессы, операции, переходы и движения, иллюстрируют рисунками, приводят режимы обработки, расходы материалов и электроэнергии; разряды рабочих по профессиям; нормы времени; применяемое оборудование и приборы; места контроля качества с указанием способов контроля, режимов и т. д.

Паспорт технологический на изделие. Согласно ГОСТ 3.1503—74, на каждое особо ответственное изделие оформляется паспорт технологический. В нем указываются операции, применяемые при изготовлении изделия, исполнители и контролирующие лица. Состав операций, подлежащих включению в паспорт, определяется службой главного технолога предприятия и согласовывается с ОТК.

Срок хранения технологического паспорта на заводе устанавливается в со-

ответствии с правилами, установленными на предприятии.

ГОСТы и технические условия на изделие. Стандартизация — установление единых норм и требований, предъявляемых к сырью, материалам и готовым изделиям. Нормы и требования оформляются в виде документов, называемых стандартами. В СССР действуют Государственные стандарты (ГОСТы), обязательные для всех предприятий и организаций. Продукция, на которую не установлены стандарты, выпускается по техническим условиям.

Назначением стандартов является обеспечение необходимого качества выпускаемой продукции с минимальными затратами материалов, энергии, труда. Партия и правительство придают огромное значение стандартизации как средству повышения качества продукции.

Ответственность за соблюдение стандартов и технических условий несут руководство предприятия и ОТК.

Правила аттестации сварщиков обязательны для всех министерств и ведомств, имеющих подконтрольные Госгортехнадзору СССР объекты котлонадзора, газового надзора и подъемные сооружения.

К аттестации допускаются сварщики, имеющие свидетельства об окончании училища или курсов и проработавшие по этой специальности не менее шести месяцев, а при работе на автоматах, полуавтоматах и контактных машинах — не менее трех месяцев.

Перед аттестацией сварщики проходят специальную теоретическую и практическую подготовку, учитывающую специфику выполнения работ, к которым сварщики готовятся. Программа подготовки сварщиков к аттестации утверждается министерством.

Аттестация сварщиков проводится перед комиссией предприятия. В состав комиссии входят: главный сварщик или руководитель сварочных работ предприятия — председатель комиссии; представитель ОТК; преподаватель по сварке, проводивший обучение; представитель отдела охраны труда предприятия.

Теоретические знания сварщика проверяются в соответствии с программой. Знания сварщика оцениваются по четы-

рехбалльной системе (отлично, хорошо, удовлетворительно, неудовлетворительно).

При проверке практических навыков сварщик должен сварить контрольные соединения по указанию и в присутствии представителя ОТК и специалиста по сварочному производству.

Сварка контрольных соединений должна выполняться в соответствии с техническими требованиями на предприятия в тех положениях, в каких сварщики будут выполнять швы при изготовлении изделий. Если типовыми контрольными соединениями будут угловые или тавровые, сварщик дополнительно выполняет стыковые соединения.

На выполненные контрольные соединения и на вырезанные из них образцы сварщик наносит клеймо (цифровое или буквенное), располагаемое вне рабочей части образца и сохраняемое на нем после испытания.

Сварщики допускаются к аттестации по одному или нескольким видам сварки при условии, что их стаж работы по каждому виду сварки будет не менее шести месяцев для сварщиков ручной и дуговой или газовой сварки и не менее трех месяцев для сварщиков, работающих на автоматах или полуавтоматах.

Сварщикам, успешно сдавшим теоретические экзамены и практическую работу, администрация предприятия выдает удостоверение на право выполнения данных сварочных работ.

Сварщики, не сдавшие экзамен, могут быть допущены к новой проверке после дополнительного обучения, но не ранее чем через месяц.

Повторная проверка знаний сварщиков должна проводиться периодически не реже одного раза в 12 мес. Сварщики, непрерывно работающие по своей специальности с высоким качеством сварочных работ, подтвержденным результатами контроля, по решению комиссии могут освобождаться от повторных испытаний сроком на один год, но не более трех раз подряд. К повторной проверке знаний допускаются сварщики, имевшие перерыв в работе по сварке свыше шести месяцев.

Оценка практической работы при повторной проверке сварщиков может про-

водиться по результатам испытаний сварных соединений, выполненных сварщиками при изготовлении производственных изделий.

Дополнительные проверки знаний сварщика проводятся при переходе на новые для него виды сварки или при сварке изделий из других металлов.

Результаты первичных, повторных и дополнительных проверок знаний записываются в удостоверение сварщика.

Выполненные контрольные сварные соединения подвергаются внешнему осмотру и измерениям, физическому методу контроля (просвечиванию проникающим излучением и др.), механическим испытаниям, металлографическому исследованию и другим дополнительным испытаниям в соответствии с правилами Госгортехнадзора.

Качество контрольных сварных соединений считается неудовлетворительным, если в них будут обнаружены недопустимые по правилам Госгортехнадзора дефекты.

§ 134. Ознакомление с некоторыми правилами Котлонадзора

Правила устройства и безопасной эксплуатации котлов, сосудов, работающих под давлением, и трубопроводов пара и горячей воды обязательны для всех министерств и ведомств. Эти правила принято называть правилами Котлонадзора, а объекты, на которые они распростра-

няются, — объектами Госгортехнадзора СССР.

Основные правила Котлонадзора по изготовлению сварных изделий следующие. К сварке элементов котлов, сосудов и трубопроводов допускаются только сварщики, прошедшие испытания в соответствии с правилами аттестации сварщиков, утвержденными Госгортехнадзором СССР и имеющие удостоверение сварщика установленного образца.

Браковочные показатели контрольных сварных соединений приведены в табл. 25.

Минимально допускаемая температура окружающего воздуха при проведении сварочных работ для углеродистой стали с содержанием углерода менее 0,24%, низколегированных марганцовистых и кремнемарганцовистых сталей — 20 °С (253 К).

Объем обязательного контроля сварных соединений элементов котлов (пароперегревателей, экономайзеров) ультразвуковой дефектоскопией или просвечиванием для стали перлитного или мартенситно-ферритного класса:

1. Все стыковые сварные соединения барабанов с толщиной стенки 30 мм и более подлежат рентгеновскому просвечиванию в местах пересечения продольных и поперечных сварных соединений, соединения камер и трубопроводов с толщиной стенки 15 мм и более — в местах пересечения швов. Металлы толщи-

Таблица 25. Браковочные показатели контрольных сварных соединений

Вид контроля	Браковочный показатель
1. Внутренние дефекты, выявляемые при любых видах контроля	Нормы, установленные техническими условиями (ТУ) на изготовление изделия
2. Механические испытания: временное сопротивление разрыву при испытании образцов на статическую нагрузку	Ниже нижнего предела временного сопротивления разрыву основного металла по ТУ и ГОСТу
угол статического изгиба для углеродистой стали толщиной до 20 мм	Не менее 120
низколегированной стали толщиной до 20 мм	» 80
низколегированной стали толщиной свыше 20 мм	» 60
Ударная вязкость, Дж/м ² , при комнатной температуре для сталей:	
аустенитных	7 · 10 ⁵
всех остальных	5 · 10 ⁵

ной менее 30 мм, камеры с толщиной стенки менее 15 мм и соединения трубопроводов с наружным диаметром 200 мм и более при толщине стенки менее 15 мм контролируются 100%-ным ультразвуком.

2. Для сосудов и трубопроводов пара и горячей воды, подконтрольных Котлонадзору, существуют свои нормы объема контроля ультразвуковой дефектоскопией или просвечиванием сварных соединений.

Смещение кромок стыкуемых листов в продольных и кольцевых сварных соединениях цилиндрических элементов и днищ котлов не должно быть более: а) для продольных швов — 10% толщины листа, но не более 3 мм; б) для кольцевых швов — 10% толщины листа плюс 1 мм, но не более.

В стыковых сварных соединениях труб максимально допустимое смещение кромок не должно превышать следующих значений:

Толщина стенки трубы S , мм	до 3	3—6	6—10	10—20	свыше 20
Максимально допустимое смещение кромок	0,2 S	0,1+0,3 мм	0,15	0,05+1 мм	0,1, но не более 3 мм

Контрольные вопросы

1. Расскажите о составе ОТК.
2. Что такое входной контроль?
3. Кто проводит учет и анализ дефектов на производстве?

4. Перечислите основную техническую документацию контроля качества сварочных работ.

ГЛАВА XXVI. НОРМИРОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ РАБОТ

§ 135. Определение норм времени на дуговую и газовую сварку, резку

Нормирование времени на сварку и резку дает возможность правильно организовать оплату труда рабочих и лучшим образом планировать производство.

Норма времени на сварку, резку T складывается из пяти элементов: подготовительного времени t_n , основного времени t_o , вспомогательного времени t_b , дополнительного времени t_d и заключительного времени t_z , т. е. $T = t_n + t_o + t_b + t_d + t_z$.

Подготовительное время выделяется на получение рабочим инструктивного задания по ознакомлению с условиями выполнения сварки или резки, на подготовку и наладку оборудования и приспособлений.

Основное (или машинное) время представляет собой время горения дуги или пламени при сварке, резке.

Вспомогательное время включает время на смену электродов, очистку кромок и швов, их осмотр, клеймение

швов, переходы на другое место сварки, резки.

Дополнительное время дается на обслуживание рабочего места (смена баллонов, охлаждение горелки и др.), на отдых (согласно законодательству) и естественные надобности.

Заключительное время расходуется на сдачу работы.

При укрупненном нормировании общее время T обычно определяют через основное время t_o и коэффициент $K_{уч}$ (коэффициент, учитывающий организацию труда) по формуле $T = t_o / K_{уч}$.

В свою очередь, основное время (время горения дуги) $t_o = 7,85FL / (\alpha_n I)$, где F — площадь сечения шва, см²; L — длина шва, см; 7,85 — удельная плотность наплавленного металла, г/см³; α_n — коэффициент наплавки, г/(А · ч); I — сварочный ток, А.

Площадь сечения шва подсчитывают по чертежу сварного соединения или по таблице.

Коэффициент $K_{уч}$ принимают при ручной сварке или резке 0,25—0,40; при ав-

томатической сварке 0,60–0,80 в зависимости от положения шва в пространстве и организации труда на потоке.

Пример. Определить общее время на дуговую сварку стали, если шов выполняется покрытыми электродами диаметром 4 мм марки АНО-5 при токе 180 А, коэффициент наплавки электродов $\alpha_n = 10 \text{ г}/(\text{А} \cdot \text{ч})$, поперечное сечение шва с наплавленным металлом $F = 0,55 \text{ см}$, длина шва $L = 100 \text{ см}$, удельная плотность стали $\gamma = 7,85 \text{ г}/\text{см}^3$, швы – горизонтальные ($K_{yc} = 0,25$), производство сварочных работ – мелкосерийное:

$$T = t_0/K_{yc} = \gamma FL/\alpha_n IK_{yc} = (7,85 \cdot 0,55 \times 100)/(10 \cdot 180 \cdot 0,25) = 0,96 \text{ ч.}$$

Нормирование времени при ацетилено-кислородной сварке. Расчетное полное время $T = t_0/K_{yc}$.

Основное время $t_0 = GL/\alpha$, где G – масса металла, наплавляемого на 1 погонный метр шва, г/м; L – протяженность швов данного размера, м; α – коэффициент наплавки, г/мин; при левой сварке низкоуглеродистой стали толщиной 1–6 мм коэффициент $\alpha = 6 \div 10 \text{ г}/\text{мин}$; с увеличением номера наконечника горелки и толщины металла числовое значение коэффициента повышается.

Коэффициент K_{yc} , учитывающий организацию труда и положение сварки, при передвижных постах в единичном и мелкосерийном производстве берется 0,25–0,40, при стационарных постах в крупносерийном и массовом производстве 0,60–0,80; дополнительного времени на первичный подогрев изделий перед сваркой не выделяется.

Пример. Определить общее время на ацетилено-кислородную сварку стальных листов встык, если масса наплавленного металла составляет 78 г/м, длина всех швов 12 м, толщина металла 6 мм, положение сварки нижнее, тип производства – мелкосерийное (K_{yc} принимаем равным 0,25); $T = GL/(\alpha K_{yc}) = 78 \cdot 12/(10 \times 0,25) = 374,4 \text{ мин} = 6,23 \text{ ч.}$

Нормирование времени при кислородной резке. Расчетное общее (полное) время на резку $T = t_0 L/K_{yc}$, где t_0 – чистое время резки, мин; оно зависит от многих условий (чистоты кислорода, рода горючего газа, контура реза, конструкции ре-

зака и машины, состава разрезаемого металла, толщины металла и др.). При кислородной вырезке полос из низкоуглеродистой стали чистое время t_0 можно принять равным 2,5 мин (погонный метр для стали толщиной 10 мм и 5 мин/пог. м для стали толщиной 60 мм; L – протяженность резки, м; коэффициент K_{yc} подбирается из тех же соображений, как и при сварке.

Пример. Определить общее время на вырезку полос длиной 12 м из листа толщиной 10 и 60 мм ручным ацетилено-кислородным резаком.

Общее время на вырезку полос толщиной 10 мм составит $T_1 = t_0 L/K_{yc} = 2,5 \cdot 12/0,25 = 120 \text{ мин} = 2 \text{ ч.}$

Общее время для вырезки полос толщиной 60 мм составит $T_2 = t_0 L/K_{yc} = 5 \cdot 12/0,25 = 240 \text{ мин} = 4 \text{ ч.}$

§ 136. Нормирование сварочных материалов

Расход покрытых электродов, необходимых для сварки, можно определять умножением наплавленного металла на коэффициент расхода электродов K_p , учитывающего массу покрытия и потери металла при сварке, т. е. $G_{пз} = G_n K_p$.

Коэффициент K_p равен у электродов марок АНО-5-1,6; АНО-6-1,7, УОНИИ-13/45-1,8 и др.

Расход покрытых электродов в штуках можно определять по среднему выходу наплавленного металла с одного электрода. Тогда количество покрытых электродов в штуках будет равно частному от деления массы наплавленного металла на коэффициент выхода наплавленного металла с одного электрода, т. е. $n_{шт} = G_n/K_b$.

Для различных марок покрытых электродов имеется соответствующий выход наплавленного металла K_b . Например, выход наплавленного металла при выполнении швов в нижнем положении на переменном токе при максимальном значении сварочного тока согласно паспорту электродов диаметрами 3, 4, 5, 6 мм соответственно составляет 30,9; 70,7; 111,1; 160 г для электродов марки ОЗС-3 и 15,4; 35,2; 55,3; 79,6 г для электродов марки АНО-6.

Коэффициент расхода сварочной проволоки для шланговой полуавтоматической сварки в углекислом газе составляет 1,08; для аргонодуговой сварки — 1,1; для ацетилено-кислородной сварки — 1,04–1,15.

Коэффициент расхода порошковой проволоки составляет 1,2–1,3 в зависимости от вида поперечного сечения стали, состава порошка и др.

Нормы расхода газа (дм³/с) при сварке и кислородной резке:

Углекислого газа при полуавтоматической сварке	0,2–0,4
Аргона при ручной сварке неплавящимся электродом	0,05–0,4
Ацетилена при газовой сварке	0,03–0,06
Кислорода при газовой сварке	0,04–0,06
Резущего кислорода при толщине 10–100 мм	0,1–1,0

Средний расход электроэнергии (кВт · ч) на 1 кг наплавленного металла при сварке покрытыми электродами:

На переменном токе	3,5–4,0
От выпрямителя	4,0–4,5
На постоянном токе	6,0–7,0

§ 137. Определение экономической эффективности в сварочном производстве

Экономичность техники и технологии сварки можно оценивать себестоимостью сварки. Себестоимость сварки плавлением можно определять из расчета на 1 кг наплавленного металла. Такую себестоимость называют удельной. Этот показатель был предложен в институте им. Е. О. Патона.

Удельная себестоимость (руб/кг) составляет из семи элементов:

$C_{уд} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7$, где C_1 — основная зарплата, C_2 — дополнительная зарплата, C_3 — отчисление на социальное страхование, C_4 — расходы на сварочные материалы, C_5 — стоимость электроэнергии, C_6 — амортизационные отчисления, C_7 — расходы на ремонт оборудования.

Основная зарплата C_1 подсчитывается как произведение часовой ставки согласно тарифной сетки данного разряда работы P на общее время работы сварщика T ; $C_1 = PT$.

Часовая ставка сварщика зависит от его разряда:

Разряды	1	2	3	4	5	6
Часовая ставка, коп.	43,8	49,3	55,5	62,5	70,2	79

Методика определения общего времени T приведена в § 135, при этом время горения дуги (ч) на 1 кг наплавленного металла определяется по формуле $t_0 = 1000/\alpha_n I$.

Дополнительная заработная плата C_2 равна 10% от основной зарплаты. Фонд дополнительной заработной платы составляется для оплаты отпусков, за выполнение государственных и общественных обязанностей в рабочее время и др.

Отчисление на социальное страхование (пенсионный фонд) C_3 составляет 6,1% от основной и дополнительной зарплаты: $C_3 = 0,061(C_1 + C_2)$.

Стоимость сварочных материалов, необходимых для наплавки 1 кг металла, равна: $C_4 = C_3 K_p$, где C_3 — стоимость 1 кг покрытых электродов, K_p — коэффициент расхода электродов, учитывающий потери электродного металла и массу покрытия.

Стоимость электроэнергии на сварку C_5 определяется по формуле $C_5 = C_{эл} A / K_{уч}$, где $C_{эл} = 0,02$ руб/(кВт · ч); A — расход электроэнергии при сварке, кВт · ч/кг наплавленного металла; $K_{уч}$ — коэффициент, учитывающий организацию труда и совершенство источника питания дуги током от потерь электроэнергии; его можно принимать равным от 0,5 при ручной сварке без выключения холостого хода источника питания дуги и до 1 при автоматической сварке.

Амортизационные отчисления C_6 составляют денежный фонд, часть средств которого расходуется на нужды капитального ремонта оборудования, а остальная часть — на финансирование капитальных вложений на оборудование. Нормы амортизационных отчислений от стоимости сварочного оборудования определяются ведомственными органами. Амортизационные отчисления обычно составляют 34,2% стоимости оборудования. Остается только эти амортиза-

ционные отчисления отнести на время наплавки 1 кг металла шва. Это определяется формулой $C_6 = 0,342 \cdot C_{06} T / (\Phi K_{06})$, где C_{06} – стоимость сварочного оборудования, руб.; $0,342 \cdot C_{06}$ – годовые амортизационные отчисления; Φ – годового плановый фонд времени оборудования при двухсменном режиме работы (равен 3976 ч); K_{06} – коэффициент использования планового фонда времени оборудования, учитывающий его простой по технологическим и организационным условиям (равен 0,75–0,9).

Расходы по текущему обслуживанию и ремонту оборудования C_7 равняются 20% его стоимости. Эти расходы нужно относить на время наплавки 1 кг металла шва по формуле $C_7 = 0,2 \cdot C_{06} T / (\Phi K_{06})$.

Технологическая себестоимость на сварку изделия $C_{св}$ равна произведению удельной себестоимости $C_{уд}$ на массу наплавленного металла G , кг, т. е. $C_{св} = C_{уд} G$.

Пример. Определить удельные себестоимости сварки покрытыми электродами и под флюсом, поперечное сечение шва 0,55 см², ток при ручной сварке 200 А, при автоматической 700 А; тип производства – мелкосерийное; разряды сварщиков – 4-й по ручной и 6-й по автоматической сварке.

Решение. $C_{1p} = PT$; $T = t_0 / K_{yч}$; $t_0 = 1000 / (\alpha_{II} I)$; $T = 1000 / (\alpha_{II} I K_{yч}) = 1000 / (10 \cdot 200 \cdot 0,25) = 2$ ч; $C_{1p} = 0,625 \cdot 2 = 1,25$ руб/кг.

$C_{1a} = PT$; $T = 1000 / (\alpha_{II} I K_{yч}) = 1000 / (15 \cdot 700 \cdot 0,6) = 0,16$ ч; $C_{1a} = 0,79 \times 0,16 = 0,125$ руб/кг.

$C_{2p} = 0,1 \cdot C_{1p} = 0,1 \cdot 1,25 = 0,125$ руб/кг.

$C_{2a} = 0,1 \cdot C_{1a} = 0,1 \cdot 0,125 = 0,0125$ руб/кг.

$C_{3p} = 0,061 (C_{1p} + C_{2p}) = 0,061 (1,25 + 0,125) = 0,084$ руб/кг.

$C_{3a} = 0,61 (C_{1a} + C_{2a}) = 0,61 (0,125 + 0,0125) = 0,0084$ руб/кг.

$C_{4p} = C_p K_p = 0,40 \cdot 1,6 = 0,64$ руб/кг.

$C_{4a} = C_{фл} + C_{пр} / K_p = (0,40 + 0,14) 1,05 = 0,56$ руб/кг.

Примечание. Стоимость флюса принимаем равной 0,40 руб/кг, а сварочной проволоки – 0,14 руб/кг; расход проволоки равен расходу флюса; коэффициент потерь проволоки $K_p = 1,05$.

$C_{5p} = C_{эл} A / K_{yч} = 0,02 \cdot 4 / 0,5 = 0,16$ руб/кг. Коэффициент $K_{yч}$, учитывающий организацию труда и потери электроэнергии при ручной сварке, принимаем равным 0,50; при автоматической сварке 0,80; сварка выполняется на переменном токе.

$C_{5a} = C_{эл} A / K_{yч} = 0,02 \cdot 4 / 0,8 = 0,10$ руб/кг.

$C_{6p} = 0,342 \cdot C_{06} T / (\Phi K_{06}) = 0,342 \cdot 200 \times 2 / (3976 \cdot 0,8) = 0,043$ руб/кг.

Примечание. Стоимость сварочного трансформатора для ручной сварки принимаем равной 200 руб.; стоимость для автоматической 400 руб.; стоимость сварочного трактора 1000 руб.; режим работы на производстве – две смены; коэффициент использования сварочного оборудования $K_{06} = 0,8$.

$C_{6a} = 0,342 \cdot C_{06} T / (\Phi K_{06}) = 0,342 \cdot 1400 \times 0,16 / (3976 \cdot 0,8) = 0,024$ руб/кг.

$C_{7p} = 0,20 \cdot 200 \cdot 2 / (3976 \cdot 0,8) = 0,024$ руб/кг.

$C_{7a} = 0,20 \cdot 1400 \cdot 0,16 / (3976 \cdot 0,8) = 0,014$ руб/кг.

Удельная себестоимость ручной сварки

$C_{уд} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7 = 1,25 + 0,125 + 0,084 + 0,64 + 0,16 + 0,043 + 0,024 = 2,32$ руб/кг.

Удельная себестоимость автоматической сварки

$C_{уд} = 0,125 + 0,0125 + 0,0084 + 0,56 + 0,10 + 0,024 + 0,14 = 0,84$ руб/кг.

Вывод: удельная себестоимость автоматической сварки в 3 раза ниже удельной себестоимости ручной сварки.

Контрольные вопросы

1. Объясните, из каких элементов складывается норма времени на сварку?

2. По какой формуле можно определять полное время при дуговой и газовой сварке, кислородной резке?

3. Как определить расход покрытых электродов при сварке?

4. Назовите средний расход электроэнергии на 1 кг наплавленного металла в зависимости от рода сварочного тока?

5. Из каких элементов складывается удельная себестоимость на сварку?

6. Как определить технологическую себестоимость на сварку изделия?

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.		Стр.
Введение	3	§ 24. Основные требования безопасности труда при ручной дуговой сварке	39
Глава I. Общие сведения о сварке, сварных соединениях и швах	4	Глава IV. Основы технологии газовой сварки	43
§ 1. Сущность и классификация процесса сварки	4	§ 25. Газы, присадочная проволока и флюсы для газовой сварки	43
§ 2. Основные условия сваривания разнородных металлов	6	§ 26. Ацетиленовые генераторы. Водяные затворы	45
§ 3. Краткая характеристика основных видов сварки	6	§ 27. Баллоны для сжатых газов	51
§ 4. Основные типы сварных соединений	12	§ 28. Редукторы для сжатых газов. Рукава	52
§ 5. Классификация сварных швов	13	§ 29. Сварочные горелки	55
§ 6. Условные обозначения швов сварных соединений	15	§ 30. Сварочное пламя	58
§ 7. Расчет сварных швов на прочность	16	§ 31. Основы технологии газовой сварки низкоуглеродистой стали	60
Глава II. Оборудование сварочного поста для ручной дуговой сварки и его обслуживание	18	§ 32. Основные требования безопасности труда при газовой сварке и кислородной резке	63
§ 8. Сварочный пост	18	Глава V. Деформации и напряжения при сварке	64
§ 9. Устройство сварочного трансформатора	19	§ 33. Силы, деформации, напряжения и связь между ними	64
§ 10. Устройство сварочного выпрямителя	19	§ 34. Возникновение напряжений и деформаций при сварке	65
§ 11. Устройство сварочного преобразователя	20	§ 35. Основные мероприятия по уменьшению деформаций и напряжений при сварке	69
§ 12. Обслуживание источников питания дуги	21	Глава VI. Контроль внешним осмотром и измерениями	73
§ 13. Принадлежности и инструмент сварщика	21	§ 36. Понятие о дефекте. Классификация дефектов и видов контроля качества продукции	73
Глава III. Технология ручной дуговой сварки низкоуглеродной стали	23	§ 37. Технология контроля внешним осмотром и измерениями	74
§ 14. Виды электродов	23	§ 38. Оформление контроля внешним осмотром и измерениями	76
§ 15. Проволока стальная сварочная	23	Глава VII. Аппаратура и технология кислородной резки металлов	77
§ 16. Покрытые электроды	25	§ 39. Сущность и классификация процесса термической резки	77
§ 17. Неплавящиеся электроды	27	§ 40. Основные условия резки металлов окислением. Разрезаемость сталей	77
§ 18. Подготовка металла под сварку	28		
§ 19. Техника выполнения швов	29		
§ 20. Выбор режима ручной дуговой сварки	32		
§ 21. Выполнение валиков и швов в нижнем положении	33		
§ 22. Выполнение вертикальных, горизонтальных и потолочных швов	36		
§ 23. Соединения сварные точечные, выполненные дуговой сваркой	38		

	Стр.		Стр.
§ 41. Резаки и машины для резки	79	Глава XIII. Ручная дуговая и газовая сварка углеродистых и легированных сталей	116
§ 42. Режимы резки	85	§ 67. Краткие сведения о сталях	116
§ 43. Техника резки	86	§ 68. Понятие о свариваемости сталей	117
§ 44. Деформация при кислородной резке	88	§ 69. Сварка углеродистых конструкционных сталей	119
§ 45. Качество кислородной резки	90	§ 70. Сварка низколегированных сталей	119
§ 46. Основные требования безопасности труда при кислородной резке	90	§ 71. Сварка среднелегированных сталей	121
Глава VIII. Аппаратура и технология кислородно-флюсовой резки	91	§ 72. Дуговая и газовая сварка легированных теплоустойчивых сталей	122
§ 47. Сущность процесса и аппаратура для резки	91	§ 73. Сварка термически упроченных сталей	123
§ 48. Основы технологии кислородно-флюсовой резки	93	§ 74. Сварка высоколегированных сталей и сплавов	124
§ 49. Основные требования безопасности труда при кислородно-флюсовой резке	93	§ 75. Основные требования безопасности труда при сварке углеродистых и легированных сталей	127
Глава IX. Плазменно-дуговая и другие виды термической резки	94	Глава XIV. Газовая и дуговая сварка чугунов	127
§ 50. Плазменно-дуговая резка	94	§ 76. Свойства чугунов	127
§ 51. Прочие виды термической резки	96	§ 77. Свариваемость чугунов	127
§ 52. Основные требования безопасности труда при плазменно-дуговой резке	97	§ 78. Классификация видов обработки чугунов	128
Глава X. Электрическая дуга и ее применение для сварки	98	§ 79. Сварка чугуна без дополнительного подогрева изделия	128
§ 53. Определение и строение дуги	98	§ 80. Сварка чугуна с дополнительным подогревом изделия	130
§ 54. Условия зажигания и горения дуги	100	§ 81. Основные требования безопасности труда при сварке чугунов	131
§ 55. Типы переноса электродного металла	101	Глава XV. Ручная дуговая и газовая сварка цветных металлов и их сплавов	132
§ 56. Нагревание изделия и эффективный кид дуги	103	§ 82. Сварка меди и ее сплавов	132
§ 57. Производительность расплавления и наплавки электродов	103	§ 83. Сварка алюминия и его сплавов	135
Глава XI. Основы металлургических процессов при дуговой сварке	104	§ 84. Сварка титановых сплавов	138
§ 58. Особенности металлургии, сварки	104	§ 85. Сварка магниевых сплавов	138
§ 59. Окисление и раскисление металла при сварке	104	§ 86. Основные требования безопасности труда при сварке цветных металлов и их сплавов	138
§ 60. Растворение газов и борьба с ними	105	Глава XVI. Наплавка на металлы	139
§ 61. Рафинирование металла шва	106	§ 87. Сущность процесса и классификация видов наплавки	139
§ 62. Кристаллизация металла шва и образование трещин	107	§ 88. Материалы для наплавки. Техника дуговой наплавки	139
§ 63. Строение сварного соединения	109	§ 89. Наплавка газокислородным пламенем	141
§ 64. Микроструктура металла в зоне термического влияния	110	Глава XVII. Особые виды высокопроизводительной ручной дуговой сварки	142
Глава XII. Определение механических свойств и структуры металла сварных соединений	111	§ 90. Организационные мероприятия по повышению производительности сварки	142
§ 65. Механические испытания сварных соединений	111	§ 91. Высокопроизводительные виды сварки	143
§ 66. Металлографические исследования металла различных участков сварного соединения	115		

	Стр.		Стр.
Глава XVIII. Источники питания сварочной дуги	145	§ 113. Соблюдение требований охраны труда на предприятии	176
92. Основные требования к источникам питания дуги	145	§ 114. Безопасность труда на территории предприятия и цеха	177
§ 93. Сварочные трансформаторы	148	§ 115. Электробезопасность	177
§ 94. Источники питания постоянного тока	150	§ 116. Пожарная безопасность	178
§ 95. Сварочные многопостовые системы	153	Глава XXIV. Неразрушающие виды контроля качества сварных соединений и изделий	179
§ 96. Специализированные источники питания	155	§ 117. Общие сведения об ультразвуковой дефектоскопии	179
Глава XIX. Оборудование и технология механизированной дуговой сварки плавящимся электродом	155	§ 118. Эхо-импульсный и теневой контроль	179
§ 97. Устройство полуавтомата	155	§ 119. Аппаратура для ультразвукового контроля сварных швов	182
§ 98. Технология механизированной сварки в газе	160	§ 120. Определение глубины залегания, размеров и характера дефекта эхо-импульсным контролем	183
§ 99. Технология механизированной сварки порошковой и самозащитной проволокой	162	§ 121. Основы технологии эхо-импульсного контроля	184
§ 100. Основные требования безопасности труда при механизированной сварке	164	§ 122. Радиационные виды контроля	185
Глава XX. Оборудование и технология ручной сварки вольфрамовым электродом в инертном газе	165	§ 123. Технология радиационного контроля	187
§ 101. Сущность сварки в инертном газе	165	§ 124. Перспективные виды радиационной дефектоскопии	188
§ 102. Применяемые газы и электроды	165	§ 125. Магнитные виды контроля	189
§ 103. Аппаратура для ручной сварки неплавящимся электродом	165	§ 126. Контроль непроницаемости швов	190
§ 104. Технология сварки вольфрамовым электродом	167	Глава XXV. Организация и техническая документация контроля качества сварочных работ	192
§ 105. Основные требования безопасности труда при сварке вольфрамовым электродом в инертном газе	169	§ 127. Значение контроля качества, система управления качеством продукции на предприятиях	192
Глава XXI. Особенности ручной и механизированной дуговой сварки некоторых типов конструкций изделий	169	§ 128. Организация заводской системы управления качеством сварных изделий	192
§ 106. Сварка решетчатых конструкций	169	§ 129. Типовое положение об отделе технического контроля промышленного предприятия	193
§ 107. Сварка балочных конструкций	170	§ 130. Функции, структура и штат отдела технического контроля	195
§ 108. Сварка трубных конструкций	171	§ 131. Основные виды организационного контроля качества сварочных работ	196
Глава XXII. Дефекты сварных соединений и их исправление	174	§ 132. Учет и анализ дефектов	198
§ 109. Основные виды дефектов и причины их возникновения	174	§ 133. Техническая документация контроля	198
§ 110. Влияние дефектов на снижение прочности сварного соединения	175	§ 134. Ознакомление с некоторыми правилами котлонадзора	200
§ 111. Способы исправления дефектов сварных соединений	175	Глава XXVI. Нормирование сварочных работ	201
Глава XXIII. Охрана труда и пожарная безопасность на предприятии	176	§ 135. Определение норм времени на дуговую и газовую сварку, резку	201
§ 112. Основные положения законодательства об охране труда рабочих-сварщиков	176	§ 136. Нормирование сварочных материалов	202
		§ 137. Определение экономической эффективности в сварочном производстве	203

Василий Михайлович Рыбаков

**ДУГОВАЯ
И ГАЗОВАЯ
СВАРКА**

Заведующий редакцией Г. П. Стадниченко. Редактор В. А. Козлов. Младшие редакторы: Н. В. Захарова, О. В. Каткова. Художник В. В. Корнев. Художественный редактор В. П. Спирина. Технический редактор З. А. Муслимова. Корректор Г. А. Четкина.

ИБ № 5306

Изд.: № М-240. Сдано в набор 17.05.85. Подп. к печати 05.10.85. Т-19922. Формат 70 × 100^{1/16}. Бум. кн.-журн. офсетная. Гарнитура таймс. Печать офсетная. Объем 16,9 усл.-печ. л. 34,12 усл.-кр.-отт. 20,06 уч.-изд. л. Тираж 130 000 экз. Заказ № 1939. Цена 50 коп

Издательство «Высшая школа», 101430, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14.

Ордена Октябрьской Революции, ордена Трудового Красного Знамени Ленинградское производственно-техническое объединение «Печатный Двор» имени А. М. Горького Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 197136, Ленинград, П-136, Чкаловский пр., 15.

50 коп.