

БИБЛИОТЕЧКА • ШЛИФОВЩИКА

Д. Б. В А К С Е Р

**ВНУТРЕННЕЕ
ШЛИФОВАНИЕ**



МАШИНОСТРОЕНИЕ

БИБЛИОТЕЧКА ШЛИФОВЩИКА

ВЫПУСК 3

Д. Б. ВАКСЕР



ВНУТРЕННЕЕ ШЛИФОВАНИЕ

Издание 2-е, дополненное и переработанное
Под редакцией канд. техн. наук Г. Ф. КУДАСОВА



ИЗДАТЕЛЬСТВО „МАШИНОСТРОЕНИЕ“
ЛЕНИНГРАД 1967 г.

Данный выпуск библиотечки содержит основные сведения по процессу внутреннего шлифования применительно к условиям серийного и отчасти крупносерийного производства. В нем рассмотрено применяемое оборудование, наиболее распространенное на машиностроительных заводах; освещены вопросы модернизации устаревшего оборудования, технологии шлифования наиболее характерных деталей машиностроения, выбора режимов резания, характеристик шлифовальных кругов и способов их правки, механизации и автоматизации процесса; приведены основные сведения по применяемым смазывающе-охлаждающим жидкостям и способам их фильтрации.

Брошюра рассчитана на рабочих-шлифовщиков и мастеров. Она также будет полезна технологам-машиностроителям и инструментальщикам.

Рецензент канд. техн наук *М. С. Миркин*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Высокие темпы развития машиностроительной промышленности определяются объективной необходимостью постоянно обновлять и расширять материально-техническую базу народного хозяйства и обеспечивать непрерывный технический прогресс во всех его отраслях.

Решение этой задачи требует качественного изменения и усовершенствования процессов и методов обработки деталей различных приборов и машин, которые по своим технико-экономическим показателям не должны уступать лучшим мировым образцам.

Одним из наиболее распространенных процессов окончательной обработки деталей является внутреннее шлифование, которое обеспечивает высокое качество поверхности при высокой производительности и небольшой себестоимости. Так, операция внутреннего шлифования является обязательной на заводах шарикоподшипниковой промышленности, занимая значительный удельный вес в общем объеме механической обработки, в механических цехах, занятых производством гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания, в инструментальной промышленности и других отраслях.

Процесс внутреннего шлифования, по сравнению с другими процессами, является сложным и требует высокой квалификации рабочего. Сложность данного процесса заключается в установлении оптимальных режимов работы на станке для получения высокой точности размеров шлифуемого отверстия и его геометрии при низкой шероховатости поверхности, в выборе наиболее соответствующей требованиям операции характеристики

круга и способе его правки, в применении рациональных средств крепления обрабатываемой детали, методов контроля и т. д. Все это вызвало необходимость систематизировать и изложить в доступной форме практический материал по многим вопросам внутреннего шлифования, применяемого в серийном и, лишь отчасти, в крупносерийном производстве.

Замечания и предложения по данной брошюре автор примет с благодарностью и просит их направлять в адрес Ленинградского отделения издательства «Машиностроение».

Глава I

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ВНУТРЕННЕГО ШЛИФОВАНИЯ

Под внутренним шлифованием понимают процесс абразивной обработки внутренних цилиндрических поверхностей преимущественно в телах вращения. Шлифование отверстий в деталях машин и приборов обеспечивает высокую точность размеров и формы, а также необходимый класс шероховатости поверхности. Этот процесс иногда предшествует отделочным операциям: хонингованию, доводке и т. д. Ему же обычно предшествуют такие операции, как растачивание, развертывание и сверление, а также термическая обработка. При внутреннем шлифовании снимается припуск в несколько десятых долей миллиметра.

1. ШЛИФОВАНИЕ ОТВЕРСТИЙ АБРАЗИВНЫМИ КРУГАМИ

Внутреннее шлифование применяют при обработке точных отверстий в режущих, мерительных и вспомогательных инструментах, втулках, кольцах шарико- и роликоподшипников, гильзах цилиндров двигателей внутреннего сгорания, деталях гидроаппаратуры, шпинделях металлорежущих станков и других деталях машин и приборов. Область применения внутреннего шлифования охватывает все виды производства: от индивидуального (например, в инструментальных и ремонтных цехах) до поточно-массового, а также применяется на автоматических поточных линиях, например, в автоматическом цехе подшипников Первого государственного подшипникового завода (1-го ГПЗ), где шлифование отверстий является одной из ответственных и распространенных операций.

Внутреннее шлифование применяют не только как операцию окончательной обработки, но в ряде случаев и как промежуточную операцию (для повышения точности размера и геометрии и для подготовки обрабатываемой поверхности под отделочные операции).

На внутришлифовальных станках можно обрабатывать детали как со сквозными, так и с глухими цилиндрическими и коническими отверстиями, а также со сферической поверхностью. На рис. 1 приведены некоторые типичные детали, окончательная обработка отверстий которых производится шлифованием.

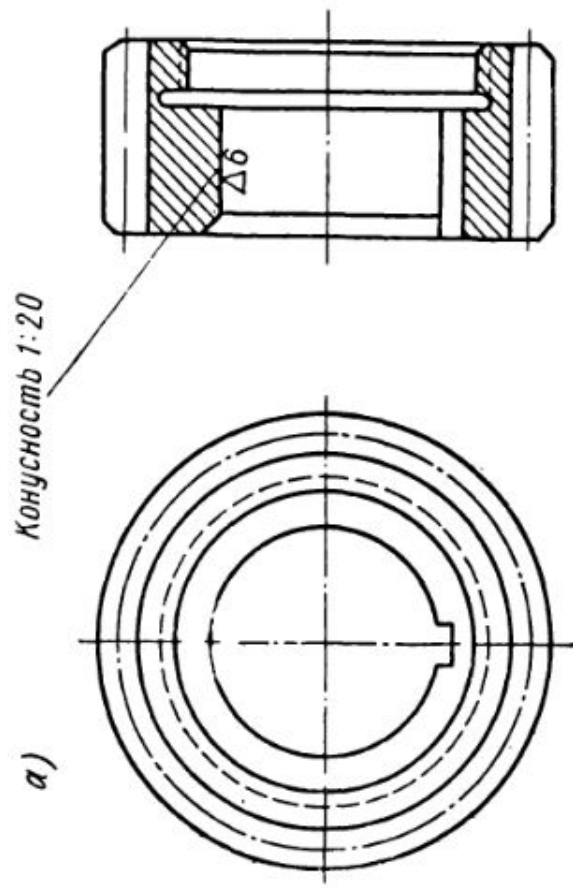
Шлифованию подвергаются отверстия в деталях из различных металлов: стали с различными физико-механическими свойствами, чугуна, твердых и цветных сплавов, а также из неметаллических материалов.

Внутреннее шлифование чаще всего применяется при обработке точных отверстий в закаленных деталях или в деталях из высокотвердых и труднообрабатываемых металлов; точных отверстий с пересеченной поверхностью, например с выточкой (рис. 1, *д*), со шпоночными и шлицевыми пазами; глухих отверстий (рис. 1, *е*); отверстий в деталях с неодинаковой толщиной стенок или неоднородной твердостью металлов; отверстий 2-го класса точности и выше, а также точных отверстий больших диаметров (свыше 100 мм), когда развертывание не может обеспечить требуемую точность.

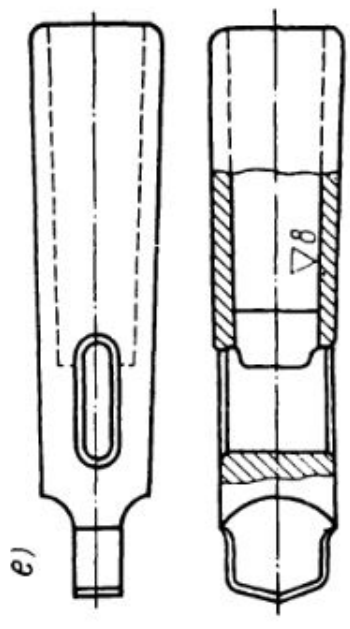
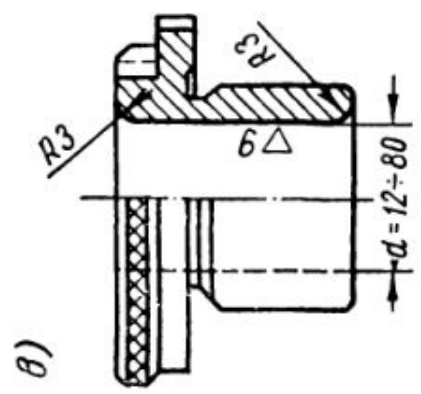
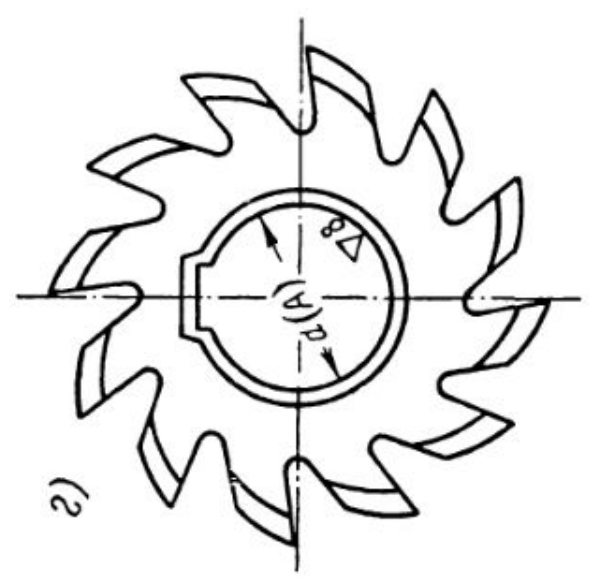
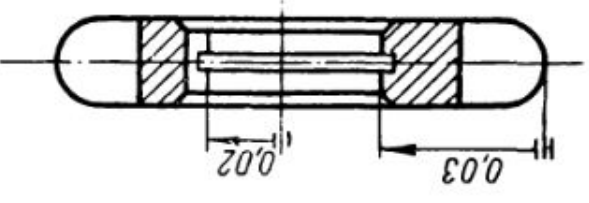
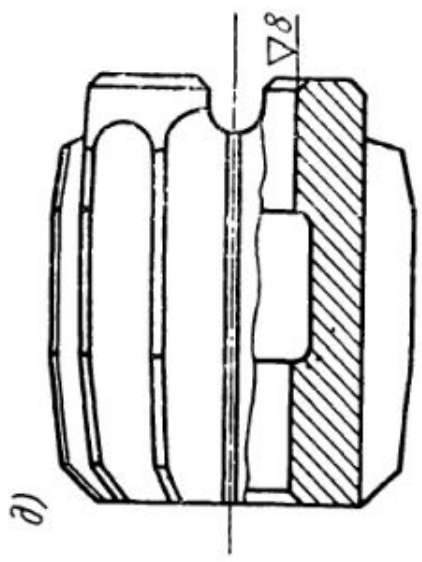
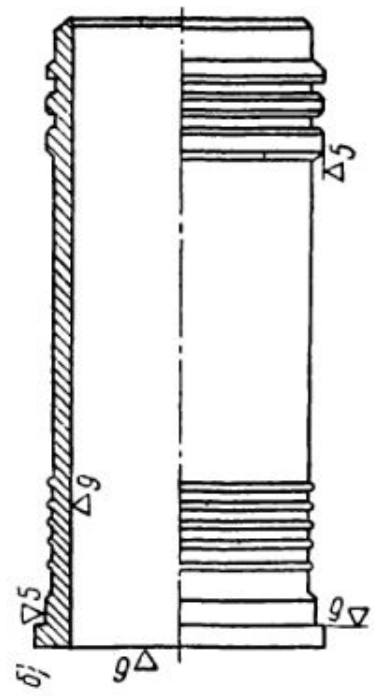
При шлифовании отверстий, кроме точности размера и требуемой шероховатости поверхности, необходимо обеспечить также точность формы, т. е. цилиндричность, прямолинейность, перпендикулярность оси отверстия к торцам, а также концентричность по отношению к наружным поверхностям. Точность формы отверстий в чертежах обычно не оговаривается, но при этом подразумевается, что отклонения не выходят за пределы поля допуска. Измерения отклонений от геометрической формы отверстия затрудняются отсутствием отдельных видов контрольных приборов.

Возможны два вида шлифования. При шлифовании первого вида шлифовальный круг вращается вокруг своей оси, а обрабатываемая деталь — вокруг оси отверстия, будучи закрепленной в патроне или в другом приспособлении, связанном с вращающимся шпинделем бабки изделия. При шлифовании второго вида шлифовальный круг вращается вокруг своей оси и одновременно вокруг оси обрабатываемого отверстия, а деталь остается неподвижной. Такой вид шлифования называется планетарным и используется преимущественно при обработке отверстий в тяжелых и крупных деталях.

Рис. 1. Типичные детали, обрабатываемые на внутренних шлифовальных станках: а — зубчатое колесо; б — гильза цилиндра; в — втулка кондукторная быстросменная; г — фреза полукруглая выпуклая; д — развертка машинная насадная; е — втулка переходная с конусом Морзе



Конусность 1:20



Особенностью внутреннего шлифования и его незамечным достоинством является возможность исправления «увода» оси отверстия, образовавшегося при предшествующих шлифованию операциях.

На современных внутришлифовальных станках возможна одновременная обработка отверстия и торца детали. Такое сочетание обеспечивает повышение точности и производительности, а также высокую степень перпендикулярности торцевой поверхности к оси отверстия обрабатываемой детали.

Однако процесс внутреннего шлифования имеет ряд ограничений.

1. В отличие от наружного и плоского шлифования, при котором диаметр шлифовального круга в известной мере не зависит от диаметра обрабатываемой поверхности детали, при внутреннем шлифовании диаметр круга ограничен размером обрабатываемого отверстия. Следовательно, скорость круга нельзя повышать за счет увеличения его диаметра и единственным средством повышения скорости резания является увеличение числа оборотов шпинделя круга. В то же время с изменением диаметра шлифовального круга изменяется длина поверхности контакта шлифовального круга с обрабатываемым отверстием. При постоянном соотношении между диаметрами отверстия и шлифовального круга величина поверхности контакта будет также пропорциональна этому соотношению. С уменьшением поверхности контакта повышается давление, а следовательно, и съём металла, но при этом увеличивается шероховатость обрабатываемой поверхности. Повышение давления при малой величине поверхности контакта требует применения кругов повышенной твердости.

По нормам техники безопасности работы на шлифовальных станках окружная скорость круга v_k не должна превышать 35 м/сек. Существующие конструкции станков с ременным приводом при обработке отверстий диаметром от 40 до 100 мм позволяют приблизиться к $v_k = 35$ м/сек. Шлифование отверстий диаметром менее 40 мм приходится производить с пониженной скоростью ($v_k = 15 \div 25$ м/сек и ниже), так как трудно получить высокое число оборотов шпинделя. При весьма малых диаметрах отверстий (5 мм и ниже) окружная скорость круга при существующих числах оборотов шпинделя составляет лишь 3—5 м/сек.

Так, например, при диаметре шлифуемого отверстия 5 мм и $v_k = 35$ м/сек понадобилось бы иметь число оборотов круга $n_k = 134\ 000$ в минуту, что неосуществимо при ременном приводе. Вместе с тем с возрастанием скорости увеличиваются сопротивления передачи и снижается к. п. д. станка.

2. Шпиндель круга по своим размерам и форме не всегда может представлять собой достаточно жесткую конструкцию, что ограничивает применение производительных режимов шлифования и в то же время влияет на точность обработки.

Существующие внутришлифовальные станки позволяют обрабатывать отверстия диаметром от 5 мм и лишь в некоторых специальных случаях от 1 мм. При внутреннем шлифовании различают следующие виды движения:

1) вращение круга, окружная скорость которого представляет собой скорость резания v_k и задается в м/сек;

2) вращение детали (изделия), окружная скорость которой является круговой подачей v_u и задается в м/мин;

3) продольное и поперечное перемещения шлифовальной бабки, являющееся продольной s_{np} и поперечной s_{nop} подачей.

Скорость резания v_k определяется по следующей формуле:

$$v_k = \frac{\pi d_k n_k}{60 \cdot 1000} \text{ м/сек,} \quad (1)$$

где d_k — диаметр круга в мм;

n_k — число оборотов круга в минуту.

Круговая подача v_u определяется по формуле

$$v_u = \frac{\pi d_u n_u}{1000} \text{ м/мин,} \quad (2)$$

где d_u — диаметр отверстия обрабатываемой детали в мм;

n_u — число оборотов детали (изделия) в минуту.

В крупных тяжелых деталях шлифование отверстий осуществляется на координатных внутришлифовальных станках, работающих по методу планетарного движения, которое совершает шпиндель, несущий шлифовальный круг. Шпиндель со скоростью резания v_k вращается вокруг своей оси и одновременно со скоростью круговой

подачи v_u вокруг оси обрабатываемой детали, которая остается неподвижной во время обработки. При этом виде шлифования возникают центробежные силы, что предопределяет выбор числа оборотов планетарного движения. Неуравновешенность при постоянной массе, пропорциональная квадрату числа оборотов и эксцентриситету (т. е. смещению оси круга относительно оси изделия) с учетом точности работы станка и плавности движения, не должна превосходить определенной величины. По этим соображениям планетарное число оборотов следует принимать тем более низким, чем больше эксцентриситет (в зависимости от диаметра обрабатываемого отверстия).

Практикой установлены рекомендуемые скорости вращения изделий. Оптимальные их значения составляют 0,015—0,02 от скорости вращения шлифовального круга. При снижении скорости планетарного движения улучшается шероховатость поверхности, но несколько уменьшается съём металла (производительность). Поэтому при предварительном шлифовании целесообразно применять большую скорость вращения изделия, а при окончательном — меньшую.

При продольной подаче прежде всего устанавливают длину рабочего хода стола в зависимости от длины обрабатываемой детали, так как этим определяется число двойных ходов стола в 1 мин. Продольная подача обычно принимается в долях высоты (ширины) круга и не должна превышать $\frac{3}{4}$ его на один оборот детали. Таким образом, окружная скорость детали и число ее оборотов тесно связаны с продольным движением и в совокупности определяют траекторию пути шлифовального круга по поверхности обрабатываемой детали. При обработке сквозных отверстий по методу продольных подач, чтобы исключить непрямолинейность образующей обрабатываемой поверхности, необходимо предусмотреть перебеги шлифовального круга, равный половине его высоты. Таким образом, при длине рабочего хода, равной примерно длине детали с учетом перебега, устраняется образование конусности. При больших величинах перебега (более половины высоты круга) из-за упругих отжатий шпинделя шлифовального круга может получиться выпуклая образующая. По этим соображениям ограничивают величину перебега, принимая его равным от $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{2}$ высоты круга. Круг из обрабатываемого отверстия выводится

лишь по окончании шлифования или для целей измерения диаметра отверстия.

При обработке глухих отверстий необходимо предусмотреть технологическую выточку у дна отверстия для выхода круга. Минимальная величина выточки должна быть не менее 1,5 мм.

Бочкообразность и вогнутость вызываются преимущественно непрямолинейностью продольного перемещения стола, непараллельностью оси вращения детали направлению продольного движения стола в вертикальной плоскости. На неточность геометрической формы шлифуемого отверстия влияют также деформация упругой системы при низкой ее жесткости, или интенсивные режимы резания.

При предварительном шлифовании следует применять повышенную подачу, а при окончательном — снижать ее. Если предъявляются высокие требования к шероховатости поверхности, то следует применять пониженную скорость возвратно-поступательного движения. *Число двойных ходов стола и число оборотов детали не должны составлять передаточного отношения, равного целому числу.* При этом условии точка реверса будет все время перемещаться по окружности обрабатываемого отверстия.

П о п е р е ч н а я п о д а ч а (глубина резания) шлифовального круга или бабки изделия производится в конце каждого или двойного хода стола, величина ее составляет сотые доли миллиметра и меньше. Чаще всего шлифование производится по методу продольных подач при автоматическом возвратно-поступательном перемещении стола.

При **в р е з н о м ш л и ф о в а н и и** отверстий осуществляется лишь поперечное перемещение шлифовальной бабки или бабки изделия. Применяют врезное шлифование при обработке коротких и фасонных цилиндрических отверстий (см. рис. 25, поверхность 2) или отверстий с точными торцовыми поверхностями и уступами (например, при обработке колец подшипников). При врезном шлифовании форма круга, и главным образом его кромка, переносятся на обрабатываемую поверхность. По этим соображениям для врезного шлифования следует выбирать более твердые круги. Для равномерного износа круга, если конфигурация детали и конструкция станка

позволяют, следует предусмотреть осциллирующие (осевые) перемещения при амплитуде 1,0—1,5 мм.

При внутреннем шлифовании обязательно применение охлаждения для отвода тепла, образующегося при резании.

Отверстия малых диаметров (меньше 2 мм) шлифуют с помощью кругов, наклеенных на металлические стержни.

Точность обработки отверстий, достигаемая при внутреннем шлифовании, лежит в пределах 1—2-го класса, а шероховатость поверхности соответствует 7—9-му классу (ГОСТ 2789—59).

Совершенствование технологии обработки отверстий на внутришлифовальных станках направлено ко всемерному сокращению машинного и вспомогательного времени, затрачиваемого на выполнение операции. Достигается это применением средств механизации и автоматизации, в том числе и программного управления станком, внедрением скоростного шлифования, сокращением и перекрытием вспомогательного времени машинным за счет использования средств автоматического контроля размеров детали. Сокращение вспомогательного времени в современных конструкциях внутришлифовальных станков достигается также ускоренным подводом шлифовального круга с автоматическим переключением на рабочую подачу при соприкосновении с обрабатываемой поверхностью, автоматическим выключением поперечной подачи и электро-торможением шпинделя по окончании цикла обработки. В результате этого повышается производительность, улучшается точность обработки, повышается коэффициент использования станка по машинному времени.

Современные внутришлифовальные станки снабжены механизмом отскока, осуществляющим быстрый отвод шлифовального шпинделя или бабки изделия от детали по окончании обработки. Применение такого механизма способствует уменьшению завала наружной кромки обрабатываемой поверхности в момент выхода круга из отверстия. Заметна также общая тенденция повышения быстроходности шпинделя станка за счет усовершенствования ременного привода, применения высокочастотных электрошпинделей, пневмо- и гидроприводов. Число оборотов шпинделей с этими приводами при шлифовании отверстий малых диаметров по данным отечественных и зарубежных фирм лежит в пределах 100—150 тыс. об/мин.

Шлифование с повышенной скоростью резания (скоростное шлифование) позволяет значительно поднять производительность процесса и улучшить шероховатость поверхности. Этот вид шлифования, развивающийся за последние годы в связи с внедрением электрошпинделей, находит все большее применение в практике внутреннего шлифования. Для шлифования с повышенной скоростью резания требуются шлифовальные круги высокой прочности. При этом окружная скорость шлифовального круга достигает 50 м/сек. С увеличением скорости резания уменьшается радиальное отжатие в технологической системе станок — инструмент — деталь.

При высокой скорости круга количество абразивных зерен, принимающих участие в резании за единицу времени, увеличивается, в результате чего уменьшается нагрузка на отдельное зерно и время контакта отдельного зерна с обрабатываемой поверхностью. Точность обработки в этом случае повышается за счет уменьшения отжатий в системе, что позволяет увеличить подачу и поднять производительность.

Исследования и практика работы в заводских условиях показали, что при скоростном шлифовании увеличивается производительность труда, сокращается расход абразива, уменьшается брак по несоблюдению заданной точности и улучшается шероховатость обработанной поверхности. Например, на 1-м ГПЗ с переводом внутришлифовальных станков на повышенную скорость шлифования и в связи с применением электрошпинделей при шлифовании отверстий в кольцах подшипников достигнута следующая эффективность*: повышение производительности труда на 20—25%; сокращение расхода абразива на 50—80%; улучшение шероховатости поверхности примерно на один класс.

При работе на скоростных режимах требуется хорошее состояние станка, а при необходимости и соответствующая модернизация его для увеличения числа оборотов шпинделя шлифовальной бабки, усиления мощности привода, повышения жесткости, создания безопасных условий работы и увеличения количества подаваемой смазывающе-охлаждающей жидкости.

* С. Н. К о р ч а к. Скоростное шлифование. Челябинское книжное издательство, 1959.

Шлифование специальными головками производится при отсутствии на данном производстве внутришлифовальных станков. В этом случае для шлифования отверстий могут быть использованы токарные или заточные станки.

При применении токарного станка с него снимается резцовая головка и вместо нее устанавливается специальная шлифовальная головка, имеющая литой чугунный корпус, на котором смонтированы электродвигатель и шлифовальный шпиндель. Вращение шпинделю передается при помощи ременной передачи. Конец шпинделя должен быть выполнен с конусным отверстием, в которое вставляется оправка с закрепленным шлифовальным кругом.

Такой головкой можно шлифовать отверстия различных диаметров и длин. Обрабатываемая деталь может быть закреплена в самоцентрирующемся патроне или в приспособлении. Продольная подача, осуществляемая кареткой, может быть механической или ручной (при ручном реверсировании в конце каждого хода). Поперечная подача производится винтом поперечной подачи суппорта.

Для шлифования конусного отверстия шлифовальная головка вместе с суппортом поворачивается на нужный угол. Продольная подача круга в этом случае осуществляется вручную винтом подачи верхнего суппорта.

Такие головки могут найти также применение и на сборочных операциях для окончательной обработки конусного отверстия переднего конца шпинделя токарного или револьверного станка, для обеспечения точного положения отверстия шпинделя относительно оси станка.

При шлифовании отверстий больших диаметров и длин головка устанавливается на суппорте станка и крепится к нему болтами.

На универсально-заточных станках шлифование отверстий производится при помощи головки, прикрепляемой к бабке шлифовального шпинделя. Обрабатываемая деталь закрепляется в патроне, установленном в универсальной головке (принадлежность станка), и получает вращение через ременную передачу от отдельного электродвигателя.

2. ШЛИФОВАНИЕ ОТВЕРСТИЙ АБРАЗИВНЫМИ ЛЕНТАМИ

При обработке отверстий в деталях большой длины (измеряемой метрами), например, в трубах, где к точности размера диаметра отверстия и шероховатости поверхности предъявляются высокие требования, применение шлифовального круга в качестве инструмента исключается. Эффективным инструментом в этом случае является абразивная лента.

На рис. 2 показана схема шлифования отверстия абразивной лентой. Труба 2 устанавливается на специальном станке, и в ее отверстие вводится лента 5, концы которой соединяются между собой клеем или другим способом.

Затем лента натягивается на ведущий и натяжной шкивы 1 и 4. Во время шлифования на ленту воздействует разжимная контактная головка 3, находящаяся внутри трубы и закрепленная на штанге, совершающей возвратно-поступательные движения. Кроме этого, прижимной головке целесообразно задать вращение вокруг своей оси. Головка представляет собой резиновый баллон с надетым на него кожаны чехлом. Через поперечную штангу в головку подается сжатый воздух и расширяет ее, непрерывно прижимая абразивную ленту к обрабатываемой поверхности. Скорость вращения ленты составляет 30—35 м/сек. Ее ширина равняется 25—50 мм, а длина зависит от длины трубы и может достигать 36 м. Абразивным материалом ленты может быть электрокорунд белый (ЭБ) или монокорунд (М), зернистостью 40—25 в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемой трубы.

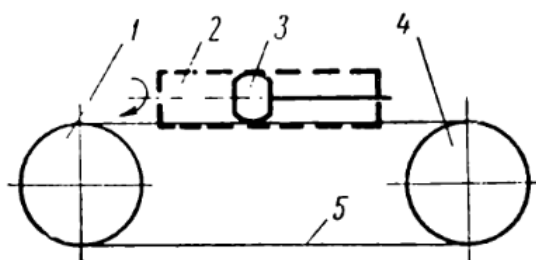


Рис. 2. Схема шлифования отверстия абразивной лентой

Глава II

ВНУТРИШЛИФОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ

3. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВНУТРИШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

В зависимости от назначения и размеров отверстий обрабатываемых деталей различают два вида станков.

К первому виду относятся станки, у которых вращается обрабатываемая деталь и шлифовальный шпиндель. Продольную подачу осуществляют перемещением шлифовального шпинделя или, реже, бабки изделия. Поперечная подача или подача на глубину резания производится перемещением в поперечном направлении к оси шлифуемой бабки изделия или шлифовальной бабки в зависимости от конструкции станка.

Ко второму виду относятся планетарные станки, на которых обрабатываемая деталь (обычно значительная по размерам и весу) устанавливается неподвижно. Шлифовальный шпиндель вращается вокруг своей оси и в то же время имеет круговую подачу в плоскости, перпендикулярной к оси отверстия, образуя планетарное движение. Подача на глубину при этом также обеспечивается шлифовальным шпинделем.

Внутришлифовальные станки разделяются на универсальные, полуавтоматы, автоматы и специализированные нормальной точности и прецизионные. Они бывают с горизонтальным и в некоторых случаях с вертикальным расположением шпинделя шлифовальной бабки, а также с двухсторонним расположением шлифовальных шпинделей.

Применение того или иного типа станка определяется характером производства.

Универсальные станки с патронным зажимом применяются для обработки как коротких, так и длинных отверстий. Путем поворота бабки

изделия на соответствующий угол производят шлифование конусных отверстий. Широкое применение эти станки получили в инструментальных цехах, на станкостроительных заводах, в цехах заводов общего машиностроения для шлифования отверстий в различных деталях. Продолжительность шлифования отверстий сравнительно короткая. Шпиндельные головки на универсальных станках установлены на салазках и могут быть сменными.

Типичными представителями универсальных внутришлифовальных станков, выпускаемых промышленностью, являются модели ЗВ225, ЗА227, ЗА229. На базе этих моделей, используя унифицированные узлы, строят станки ЗА225, ЗА226, ЗВ227, ЗА230 и др., отличающиеся между собой размерами шлифуемых отверстий, диапазонами скоростей главного движения и изделия, мощностью и т. д. Предел диаметров обрабатываемых отверстий для этой группы станков составляет 25—800 мм.

Отдельные модели внутришлифовальных станков универсального типа снабжаются дополнительными устройствами для шлифования торца детали.

Внутришлифовальные станки полуавтоматы не имеют загрузочных устройств, но снабжены средствами активного контроля, позволяющими не только контролировать размер отверстия в процессе обработки, но и управлять механизмами станка путем подачи команды на переключение с одной подачи на другую, на выхаживание и отвод шлифовальной бабки при достижении заданного размера. Этот контроль достигается следующими способами:

1) путем постоянной взаимосвязи между положением алмазного инструмента для правки и положением шлифовального круга;

2) автоматическим измерением отверстия в процессе шлифования жестким калибром — пробкой или при помощи других средств активного контроля.

К внутришлифовальным станкам-полуавтоматам относятся модели ЗА225Б, ЗА226Б, ЗА227Б, ЗА230Б и др. Пределы диаметров шлифуемых отверстий на этих станках составляют 16—500 мм. Станок ЗА225Б снабжен электрошпинделем с числом оборотов $n_k = 96\ 000$ об/мин и числом оборотов шпинделя бабки изделия $n_u = 600$ — 2400 об/мин.

Внутришлифовальные станки-автоматы* снабжены загрузочными устройствами для подачи обрабатываемой детали в зону шлифования, автоматического закрепления и снятия ее; автоматического измерения на ходу и управления правкой круга. Примерами таких станков с полным автоматическим циклом служат модели 3225А, 3227А.

Двухсторонние внутришлифовальные станки снабжены двумя шлифовальными баб-

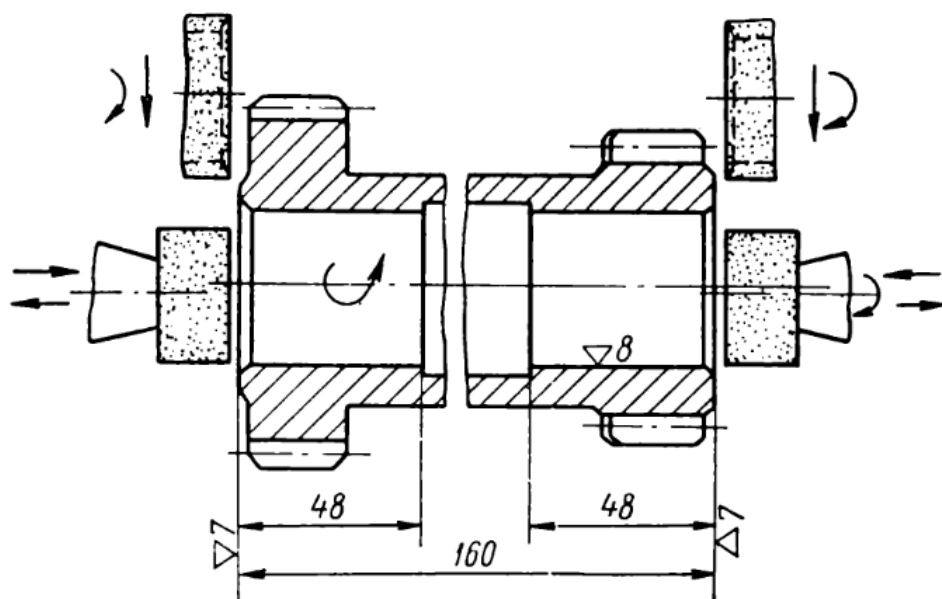


Рис. 3. Двухстороннее шлифование отверстий и торцов блока шестерен заднего хода автомобиля ЗИЛ-130

ками, расположенными соосно по обеим сторонам обрабатываемой детали, что позволяет шлифовать отверстия в длинных деталях одновременно с двух сторон. Деталь при этом закрепляется в полем шпинделе бабки изделия.

В качестве примера специализированного внутришлифовального полуавтомата для обработки соосных отверстий и торцов может служить станок модели СШ-24, изготовленный Саратовским станкостроительным заводом.

На этом станке одновременно с двух сторон шлифуются сначала посадочные отверстия диаметром 42А с допускаемым отклонением поверхностей от правильной цилиндрической формы не более 0,013 мм, а затем наружные торцы блока шестерен заднего хода автомобиля ЗИЛ-130 (рис. 3). Обрабатываемая деталь базируется по двум

* Внутришлифовальные бесцентровые станки-автоматы описаны в брошюре В. И. Муцяно «Бесцентровое шлифование». Библиотечка шлифовщика. Вып. 4.

зубчатым венцам и закрепляется в двухмембранном патроне внутри полого шпинделя бабки изделия. Шлифовальные бабки установлены на двух синхронно перемещающихся от гидропривода столах, от этого же гидропривода бабки имеют и поперечную подачу с независимым управлением при помощи приборов активного контроля размера диаметра отверстия. Шлифование торцов производится с помощью механизма осевой подачи чашечными кругами, сидящими на отдельных шпинделях, которыми снабжены шлифовальные бабки.

Внутришлифовальные шпиндели по окончании обработки отверстий подаются дальше вперед до ввода в работу торца шлифовальных кругов. Цикл работы станка автоматический. Правка всех четырех шлифовальных кругов с компенсацией износа производится также автоматически.

4. УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ВНУТРИШЛИФОВАЛЬНЫЙ СТАНОК МОДЕЛИ ЗА227

Выпускающийся ранее на Саратовском станкостроительном заводе внутришлифовальный станок модели ЗА250 заменен более совершенным станком модели ЗА227, которым в настоящее время оснащаются цехи машиностроительных заводов и цехи металлообработки.

Станок ЗА227 является универсальным и служит для шлифования цилиндрических и конических (с углом конуса при вершине 60°), сквозных и глухих отверстий диаметром от 20 до 100 мм и длиной до 125 мм.

На базе станка нормальной точности модели ЗА227 без конструктивных изменений изготавливаются станки более высокой точности моделей ЗА227П и ЗА227ВП. От станка ЗА227 они отличаются более точным выполнением отдельных деталей или их подбором, а также более высоким качеством выполнения сборочных работ. Станки повышенной точности обеспечивают более высокую точность шлифуемых отверстий — в среднем в пределах 0,6 отклонений, получаемых на станке модели ЗА227.

Основными узлами и механизмами станка ЗА227 (рис. 4) являются: бабка изделия А, торцешлифовальный шпиндель В, шлифовальная бабка В, стол Г, механизм торцового упора Д, механизм ручной подачи стола Е и механизм поперечной подачи бабки изделия Ж. Главное движение — вращение шпинделя шлифовальной бабки с кругом

осуществляется через ременной привод от электродвигателя АОЛ 42—2 мощностью 2,8 квт с $n = 2880$ об/мин. Изменение числа оборотов сменных шпинделей находится в пределах от 8400 до 18 500 об/мин и достигается за счет применения сменных шкивов, устанавливаемых на валу

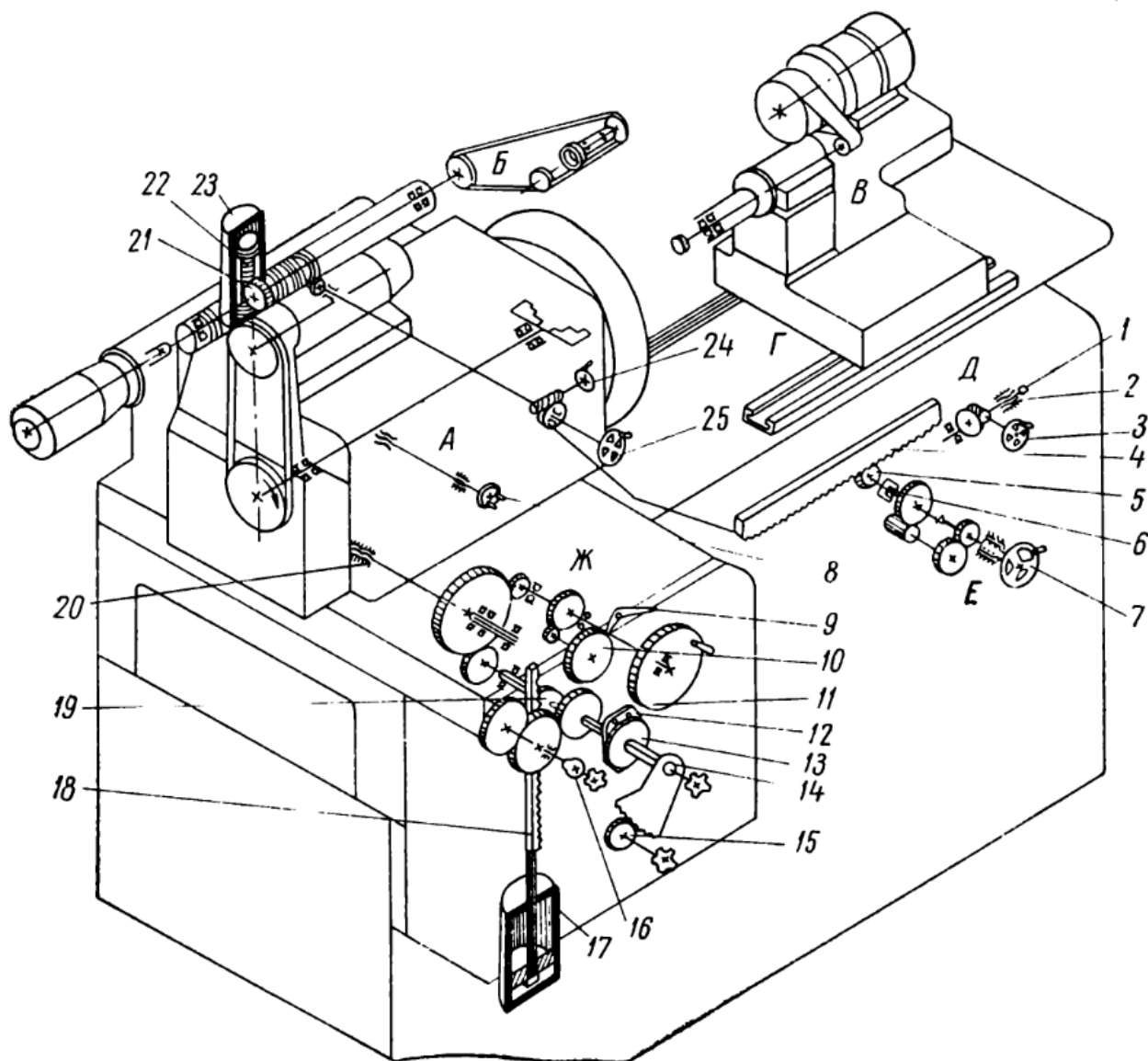


Рис. 4. Кинематическая схема внутришлифовального станка модели 3А227

электродвигателя. При этом одновременно необходимо применение сменных плоских ремней различной длины.

Шлифовальные шпиндели устанавливаются в разрезном кронштейне бабки. Шпиндель диаметром 80 мм монтируется и закрепляется непосредственно в отверстии кронштейна, а другие шпиндели с диаметром гильз 65, 50 и 40 мм закрепляются в бабке при помощи переходных втулок. Соосность шпинделей круга и бабки изделия при регулировке высоты центров достигается за счет компенсаторной плиты в шлифовальной бабке.

Шпиндель шлифовальной бабки смазывается путем подачи распыленного масла сжатым воздухом при помощи установки, смонтированной на правой торцовой стенке станка.

К р у г о в а я п о д а ч а при шлифовании задается вращением шпинделя бабки изделия, который приводится в движение электродвигателем постоянного тока МИ-32, обеспечивающим бесступенчатое регулирование числа оборотов шпинделя изделия. Мощность двигателя $0,76 \text{ квт}$ с $n = 2500 \text{ об/мин}$. Электродвигатель установлен на бабке изделия и через клиноременную передачу с натяжным роликом передает вращение шпинделю изделия. Поворот бабки изделия *A* на угол для шлифования конусных отверстий осуществляется путем вращения маховика 8.

П р о д о л ь н а я п о д а ч а осуществляется возвратно-поступательным движением стола при помощи механизма ручной подачи при наладке или гидропривода с бесступенчатым регулированием скорости рабочей подачи в пределах $0,4—12 \text{ м/мин}$.

Ручное перемещение стола производится маховиком 7 через шестерню 5 и рейку 4, связанную со столом, и возможно лишь при выключенном гидроцилиндре 6. За один оборот маховика стол перемещается на $16,5 \text{ мм}$. Длина хода стола при шлифовании ограничивается упорами, а его переключение при реверсе осуществляется при помощи рычага. Отдельный упор предусмотрен для ограничения хода стола при правке круга.

Механизмы ручного и гидравлического перемещения стола заблокированы. Поэтому при включении стола от гидропривода выключается его ручное перемещение гидроцилиндром блокировки, вызывающим осевое перемещение шестерни 5, и тем самым вывод ее из зацепления с рейкой 4.

П о п е р е ч н а я п о д а ч а производится непрерывно путем перемещения салазок бабки изделия *A* автоматическим способом при работе и ручным — при наладке.

Автоматическую подачу независимо от реверсирования стола бабка получает от гидроцилиндра 17, шток поршня которого связан с рейкой 18. При перемещении эта рейка вращает шестерню 19, которая через собачки 12, храповик 13 и другие шестерни передает вращение винту 20, осуществляющему подачу бабки изделия. При движении

поршня гидроцилиндра вверх осуществляется рабочая подача, а при движении вниз — отвод бабки в исходное положение и «зарядка» механизма подачи. Скорость автоматической поперечной подачи изменяется бесступенчато в пределах 0,05—1,2 мм/мин.

Ручной способ подачи осуществляется маховиком 11 по лимбу. В этом случае автоматическая подача выключается путем расцепления собачек 12 с храповиком 13. Перемещение бабки изделия за один оборот маховика составляет 1 мм. Цена деления лимба поперечной подачи равна 0,0025 мм. Эта величина соответствует повороту храповика 13 на один зуб.

После снятия установленного припуска механизм подачи обеспечивает автоматическое прекращение подачи бабки изделия на шлифовальный круг и ее отвод в исходное положение. Такое перемещение осуществляется кулачком 16, включающим электрические контакты. Положение кулачка регулируется поворотом на оси при помощи установочного лимба с ценой деления 0,01 мм.

Процесс шлифования связан с непрерывным износом круга. Поэтому при работе на автоматическом режиме по окончании шлифования предусмотрена компенсация износа круга за счет недохода бабки до прежнего положения при продолжающемся до конца обратном ходе поршня гидроцилиндра. Выполняется это кулачком компенсации через шестерню 15 и зубчатый сектор 14 при выводе из зацепления ведущей собачки. Величина компенсации лежит в пределах 0,01—0,1 мм. Дозированная подача осуществляется маховиком 11 при помощи собачки 9 и храпового колеса 10.

При шлифовании наружных торцов применяется торцешлифовальное приспособление, установленное на бабке изделия станков 3А227 и 3А227П. Число оборотов торцешлифовального шпинделя $n_k = 5700$ об/мин. В корпусе приспособления закреплена гильза, на которой крепится хобот, несущий головку шпинделя. Поворот в рабочее и нерабочее положения торцешлифовального шпинделя *Б* производится гидроцилиндром 23 при помощи рейки 22 и зубчатого сектора 21. Продольная (осевая) подача круга при шлифовании торца детали составляет 0,01 мм на одно деление лимба. Осуществляется она вращением маховика 24. Наладочное перемещение торцешлифовального приспособления произ-

водится вращением маховика 25. Одному обороту маховика соответствует перемещение приспособления на 66 мм.

Шлифование торца у партии деталей можно производить с применением жесткого упора. Делается это путем соответствующей наладки упора после достижения заданного размера на первой детали с учетом износа круга.

При шлифовании внутренних торцов применяется тонкая продольная подача, которая осуществляется механизмом торцового упора Д, установленного справа на верхней части станины. Торцовый упор стола давлением гидроцилиндра прижимается к гильзе 1. Подача гильзы осуществляется вращением маховика 3 при помощи винта 2 с шагом червяка 4 мм.

Правка круга производится аппаратом, который имеет плиту с кронштейном и смонтирован на стойке. Стойка крепится на салазках бабки. При наладке предусмотрены поперечное перемещение кронштейна на салазках бабки изделия и продольное перемещение плиты на кронштейне. Стойка, несущая правящий инструмент, получает перемещение в поперечном направлении по плите при помощи винта. Микрометрическая регулировка правящего инструмента производится при помощи лимба, за один оборот которого инструмент перемещается на 0,1 мм. Ось правящего инструмента при правке может быть совмещена с осью шлифовального круга или установлена ниже ее на 0,1—0,5 мм путем регулировки винтом.

Правка шлифовального круга может производиться твердосплавным диском, зачеканенным алмазом или алмазно-металлическим карандашом с применением сменных державок. В нерабочем положении державка правящего инструмента в барабане поднята вверх и не препятствует прохождению шлифовального шпинделя при продольном перемещении стола. Поворот барабана в рабочее положение осуществляется гидроцилиндром, размещенным в корпусе аппарата. При правке торца круга приспособление для правки размещается в корпусе торцешлифовального шпинделя. Правящий инструмент для правки торца получает возвратно-поступательные перемещения при помощи эксцентрика. Подача на врезание осуществляется при помощи лимба.

В отличие от выпущенных ранее универсальных внутришлифовальных станков модель 3А227 и ее модификации снабжены магнитным сепаратором для тонкой очистки

**Основные данные внутришлифовальных станков
моделей 3А227, 3А227В, 3А227П, 3А227ВП**

Параметры	Величины параметров
С т а н к и	
Диаметр шлифуемого отверстия в мм: наименьший	20
наибольший	100
Наибольшая длина шлифования в мм	125
Наибольший угол поворота бабки изделия в град	30
Внутренний конус шпинделя бабки изделия	Конус Морзе № 5
Наибольшее поперечное перемещение бабки изделия в мм:	
ручное	150
механическое	0,9
Наибольший ход стола в мм	450
Скорость движения стола в м/мин	0,4—12,0
Перемещение стола за один оборот маховика в мм	16,5
Число оборотов шпинделя бабки изделия (регулирование бесступенчатое) в об/мин	180—1200
Пределы непрерывной минутной поперечной подачи бабки изделия (регулирование бесступенчатое) мм/мин	0,05—1,2
Дозированная подача в мм при повороте храповика на один зуб	0,0025
Диаметр шлифовального круга в мм:	
наименьший	20
наибольший	80
Высота (ширина) шлифовального круга в мм	50
Числа оборотов шпинделей шлифовальной бабки в об/мин	8400—18 500
Давление масла в гидросистеме в кг/см ²	12
Производительность насоса гидросистемы в л/мин	5—25
Объем масла в резервуаре гидросистемы в л	90

Параметры	Величины параметров
Объем охлаждающей жидкости в баке в л	90
Торцешлифовальное приспособление к станкам моделей ЗА227 и ЗА227П	
Наибольшее продольное перемещение торцового шпинделя в мм	160
Перемещение круга торцового шпинделя (мелкое) в мм:	
за один оборот маховика подачи	1
при повороте маховика на одно деление лимба	0,01
Число оборотов торцового шпинделя в об/мин	5700
Диаметр торцешлифовального круга в мм	100
Высота (ширина) торцешлифовального круга (нового) в мм	50

смазывающе-охлаждающей жидкости и снижения тем самым шероховатости обрабатываемой поверхности. Помимо этого, бак гидросистемы не связан со станиной и размещен отдельно от станка, благодаря чему уменьшаются температурные деформации станины и вибрации, вызываемые насосной установкой. Бак гидросистемы с насосной установкой и гидроаппаратурой, расположенной на нем, установлен сзади станка.

Гидросистема станка осуществляет следующие функции:

- 1) возвратно-поступательное движение стола и изменение его скорости при подводе шлифовального круга к изделию во время шлифования или правки круга;
- 2) поперечную подачу изделия на круг и регулировку ее перемещения путем движения бабки изделия;
- 3) установку алмаза в положение правки и его отвод;
- 4) «отскок» изделия от шлифовального круга по окончании операции и «подскок» изделия к кругу перед началом шлифования;

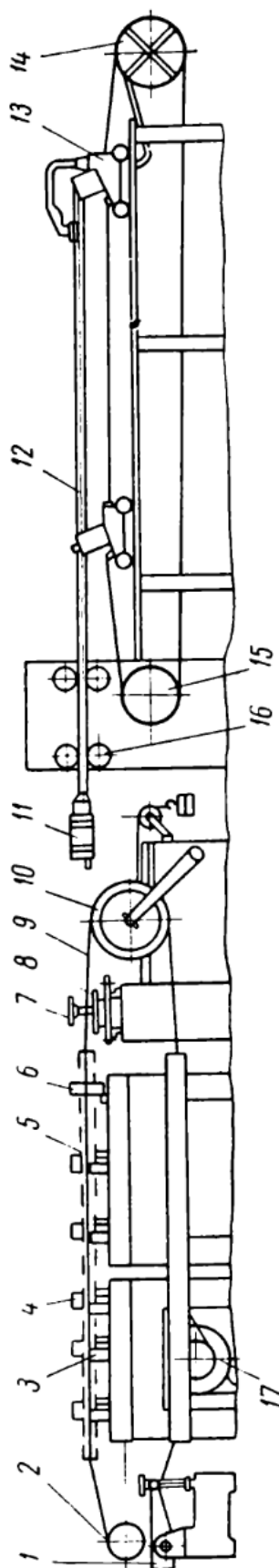


Рис. 5. Схема станка для шлифования отверстия абразивной лентой

5) подъем и опускание рычага управления упорами стола;

6) подъем и опускание шпинделя для шлифования торцов;

7) блокировку автоматического и ручного перемещения стола;

8) подачу масла на смазку особо ответственных механизмов станка.

В табл. 1 приведены основные данные из технической характеристики внутришлифовальных станков моделей 3А227, 3А227В, 3А227П, 3А227ВП.

5. СТАНОК ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ АБРАЗИВНОЙ ЛЕНТОЙ *

На рис. 5 приведена схема станка модели МВ-44 для шлифования отверстия трубы размером $40 \times 1,6 \times 2300$ мм. Шлифование производится абразивной лентой из монокорунда (М) зернистостью 25 со скоростью вращения ленты $v_a = 23$ м/сек.

Абразивная лента 9 получает вращение от ведущего шкива 2, который при помощи ременной передачи приводится в действие электродвигателем постоянного тока мощностью 14 квт, установленным на плите 1. В зависимости от диаметра обрабатываемой трубы положение электродвигателя вместе с плитой можно регулировать по высоте. Возможность установки плиты вместе с двигателем под определенным углом исключает сбегание абразивной ленты со шкива 2. Передвижением шкива 10 производится натяжение ленты

* По данным экспериментально-исследовательской работы, выполненной во ВНИИАШе под руководством М. Я. Дубовой.

в процессе шлифования. Постоянство натяжения достигается при помощи груза. Разгон и торможение шкива 10 осуществляется отдельным электродвигателем постоянного тока, который автоматически выключается при достижении заданной скорости вращения абразивной ленты. Положение шкива 10 по высоте также регулируется исходя из диаметра обрабатываемой трубы.

Перед началом процесса шлифования абразивная лента в развернутом виде пропускается через отверстие в трубе и склеивается. Склеивание предварительно подготовленных концов ленты производится при помощи приспособления 7, имеющего электрическую плиту с двумя пластинками, расположенными под углом 45° , и пресса 8.

Обрабатываемая труба 5 приводится во вращение с помощью приводных роликов 3 электродвигателем постоянного тока 17 мощностью 1,6 *квт*. Число оборотов приводных роликов регулируется бесступенчато в пределах 25—50 *об/мин*. Во время шлифования труба прижимается сверху прижимными роликами 4. При установке трубы на станок и при ее снятии прижимные ролики приподнимаются с помощью пневмоцилиндра. Для исключения осевого перемещения трубы в процессе работы служит упор 6.

Во время шлифования отверстия трубы прижимная головка 11 вместе со штангой 12 (рекомендуется алюминиевая), направляемой роликами 16, при помощи каретки 13 совершает возвратно-поступательные движения. Каретка приводится в действие электродвигателем постоянного тока мощностью 1,6 *квт*. На вал электродвигателя насажен шкив 15, направляющий трос, соединенный с кареткой. Переключение каретки осуществляется за счет реверсирования электродвигателя. На барабане 14 нарезаны два витка разных размеров с правой резьбой. В одном витке (с меньшим шагом) уложен трос, тянущий каретку. В другом глубоком витке размещается воздушный шланг. Через этот шланг и штангу 12 сжатый воздух под давлением 1 *кг/см²* подается в прижимную головку 11, которая представляет собой резиновый баллон с чехлом из кожи и осуществляет непрерывный прижим абразивной ленты к обрабатываемой поверхности вращающейся трубы. По мере затупления ленты (приблизительно через 15 *мин*) необходимо повышать давление в головке на 0,5 *кг/см²*, чтобы сохранить

производительность на заданном уровне. При шлифовании обязательна обильная подача смазывающе-охлаждающей жидкости. Стойкость ленты в зависимости от режима работы физико-механических свойств обрабатываемого материала и характеристики ленты составляет 2—3 ч.

Исследованием ВНИИАШа установлено, что прижимная головка, связанная со штангой, должна быть вращающейся. Этим обуславливается равномерный износ кожанаго чехла и повышение его стойкости. Вместе с тем для уменьшения износа чехла тыльная сторона ленты взамен дополнительной наклейки ткани, превышающей ширину ленты на 8—10 мм, целесообразно покрывать аппретом специального состава.

Вытяжка абразивной ленты в процессе шлифования происходит в первые 30—40 мин работы и составляет не более 5%.

6. МОДЕРНИЗАЦИЯ ВНУТРИШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА МОДЕЛИ 3А240 *

Внутришлифовальный станок модели 3А240 является универсальным и весьма распространен в механических, инструментальных и ремонтных цехах машино- и приборостроительных заводов. Поэтому его модернизация имеет существенное значение и направлена на повышение производительности и улучшение эксплуатационных качеств. Вместе с тем модернизация станка модели 3А240 может быть использована как возможное типовое решение для других моделей универсальных внутришлифовальных станков.

В результате модернизации в конструкцию станка вносятся следующие изменения:

1) общий привод маслососа и шлифовального шпинделя заменяется на два самостоятельных привода от индивидуальных электродвигателей;

2) усовершенствуется узел бабки шлифовального шпинделя, в результате чего повышается число оборотов шпинделя до 18 000 об/мин и расширяется диапазон скоростей до четырех вместо существующей одной скорости;

3) усовершенствуется узел бабки изделия, в результате чего увеличивается число оборотов шпинделя до

* Подробное описание см. Типовой проект модернизации внутришлифовального станка модели 3А240. М., Машгиз, 1959.

Характеристика станка модели 3А240

Параметры	Величины параметров	
	до модернизации	после модернизации
Диаметр шлифуемого отверстия в мм:		
наименьший	12	20
наибольший	100	60
Длина шлифуемой поверхности в мм	130 (наибольшая)	40—100
Отношение диаметра шлифуемых отверстий к их длине:		
для диаметров от 20 до 40 мм	—	1 2,5
для диаметров от 50 до 60 мм	—	1 1,6
Наибольший угол поворота передней бабки в град	10	15
Количество скоростей шпинделя бабки изделия	3	6
Число оборотов шпинделя бабки изделия в об/мин	180; 280 и 570	180, 270, 280, 405, 570 и 810
Количество шлифовальных шпинделей	1	4
Число оборотов шлифовальных шпинделей в об/мин:		
при диаметре гильзы 50 мм	—	18 000
» » » 60 »	15 000	15 000
» » » 65 »	—	12 000
» » » 80 »	—	10 000
Электродвигатель главного привода:		
тип	А42-2	—
мощность в квт	2,8	—
число оборотов в минуту	1500	—
Электродвигатель шлифовального круга:		
тип	—	АОЛ32-2
мощность в квт	—	1,7
число оборотов в минуту	—	2850

Параметры	Величины параметров	
	до модернизации	после модернизации
Электродвигатель шестеренчатого насоса ШДП-25:		
тип	—	АОЛ32-4
мощность в <i>квт</i>	—	1
число оборотов в минуту	—	1410

810 *об/мин* и расширяется диапазон скоростей до шести вместо трех существующих;

4) устанавливается прибор для измерения диаметра отверстия в обрабатываемой детали в процессе шлифования;

5) встраивается эксцентриковый механизм для зажима обрабатываемой детали;

6) шлифовальный круг ограждается кожухом.

Техническая характеристика модернизированного станка модели 3А240 дана в табл. 2, а общий вид этого станка приведен на рис. 6.

Разделение общего привода масляного насоса и шлифовального шпинделя. В станках, находящихся в эксплуатации, одним электродвигателем осуществляется одновременно вращение масляного насоса гидросистемы и шлифовального шпинделя (через контрпривод). При такой конструкции невозможно производить наладочные движения стола при выключенном шлифовальном шпинделе. Кроме того, имеет место быстрый износ ремней шлифовального шпинделя, а также затруднена их смена. Разделение общего привода на два самостоятельных устранило эти недостатки.

При модернизации применяется нормализованный узел — шестеренчатый насос с электродвигателем на плите типа ШДП-25. Контрпривод ликвидируется, а вращение шлифовального шпинделя осуществляется непосредственно электродвигателем типа АОЛ32-2, который установлен на салазках бабки шлифовального шпинделя.

Электрической схемой предусматривается соответственная защита от коротких замыканий и нулевая

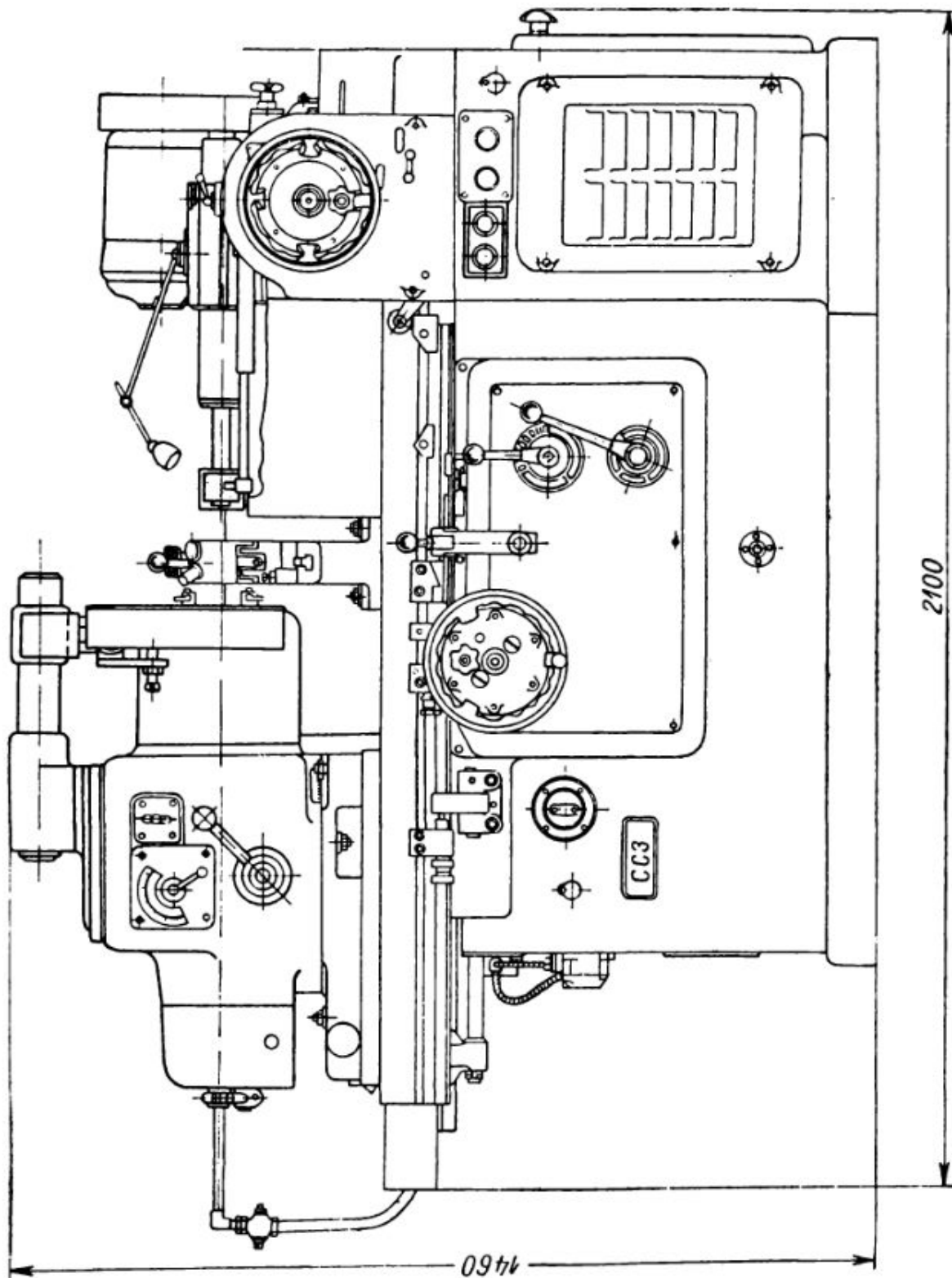
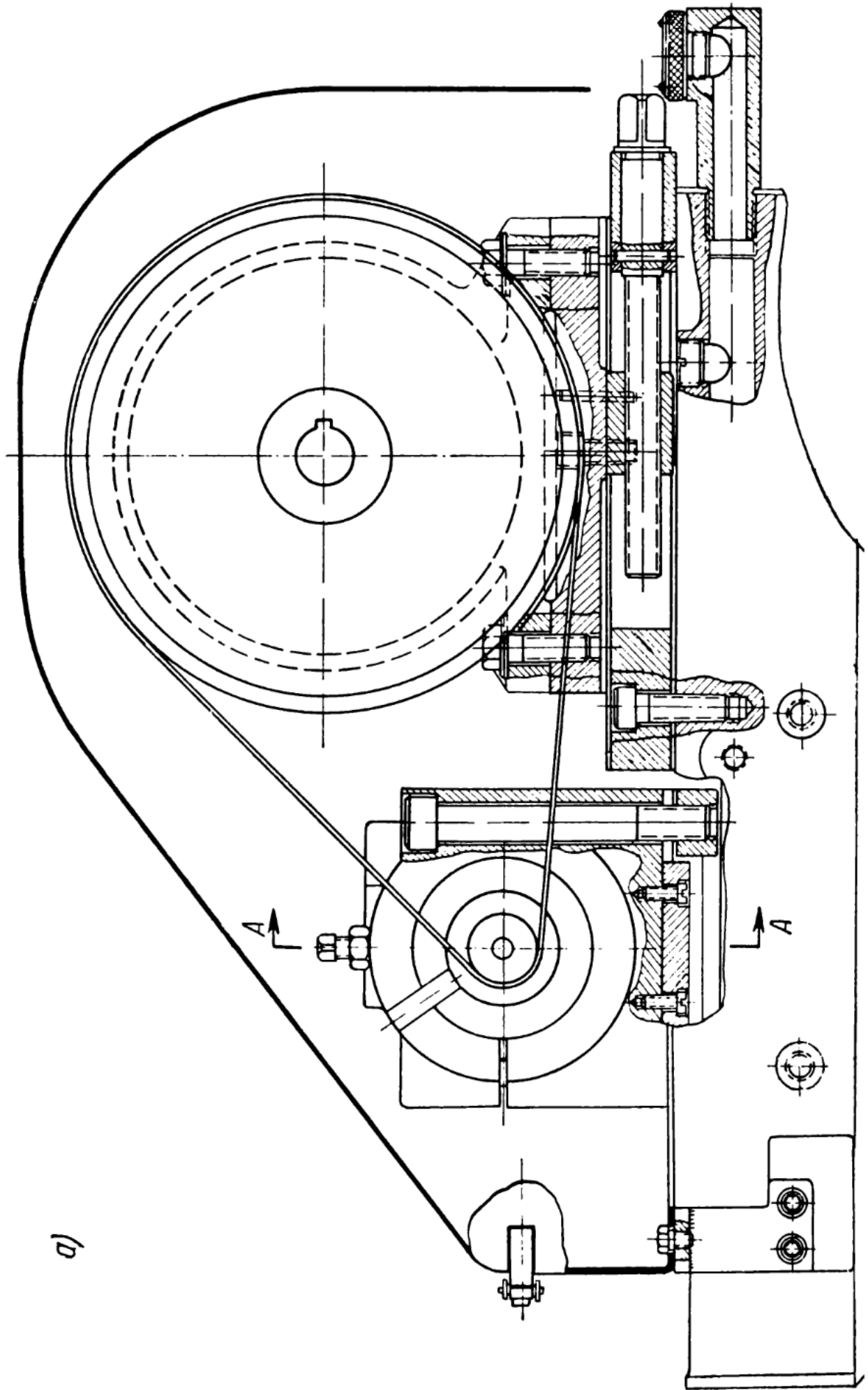


Рис. 6. Общий вид модернизированного внутришлифовального станка модели 3А240



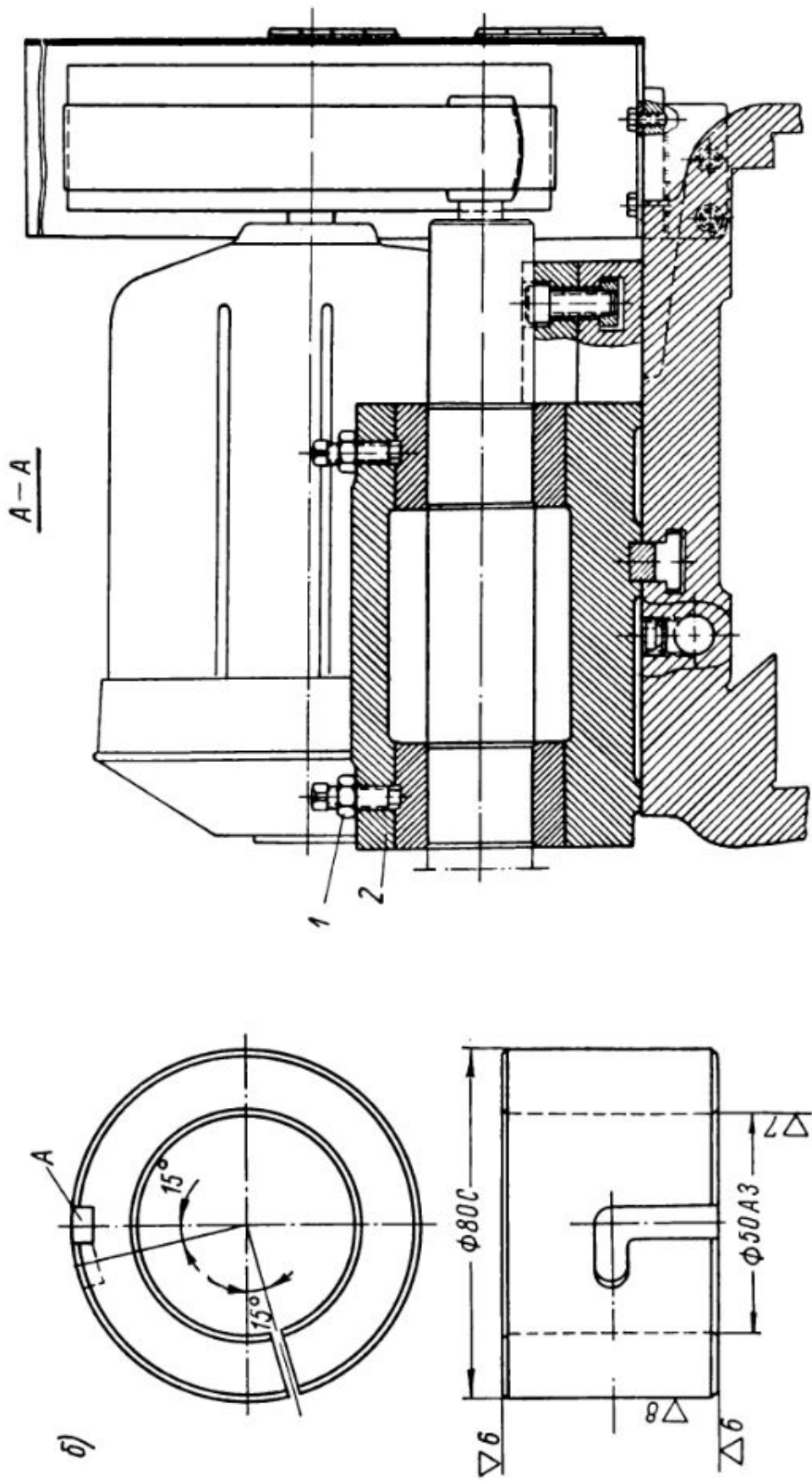


Рис. 7. Шлифовальная бабка станка ЗА240 после модернизации (а) и сменная втулка для установки шпинделя (б)

защита. Кронштейн местного освещения переносится на бабку шлифовального шпинделя.

Усовершенствование узла бабки шлифовального шпинделя. После модернизации число оборотов шпинделя шлифовальной бабки (рис. 7, а) повышается до 18 000 об/мин. В зависимости от диаметра шлифуемого отверстия (табл. 2) предусматривается возможность применения четырех сменных шпинделей. Смена гильз со шпинделями производится весьма быстро за счет применения сменных втулок (рис. 7, б), вводимых в точные отверстия шлифовальной бабки. Крепление втулок 2 осуществляется винтами 1, концы которых входят в пазы А втулок.

Применение разных диаметров сменных шпинделей* позволяет производить шлифование с наиболее целесообразными режимами и с более высокими скоростями резания, зависящими от размеров шлифуемых отверстий.

Усовершенствование узла бабки изделия. Модернизацией предусмотрено повышение числа оборотов шпинделя и установка на бабке изделия прибора П-53 для измерения отверстия детали в процессе обработки без остановки станка истройка механизма зажима обрабатываемой детали при помощи эксцентрика.

Увеличение числа оборотов шпинделя изделия достигается заменой одноступенчатых шкивов первой передачи двухступенчатыми.

Прибор П-53** (рис. 8) монтируют на кронштейне 2, установленном на крышке 1 корпуса бабки изделия. Измерительный прибор 4 соединен со скалкой 3.

Установка механизма зажима детали эксцентриком (рис. 9). Этот механизм встраивается в корпус бабки изделия, и применение его позволяет сократить вспомогательное время, затрачиваемое на закрепление и снятие обрабатываемой детали. Использование этого механизма предусматривает замену трехкулачкового самоцентрирующего патрона патронами типа кулачковых, цанговых или мембранных в зависимости от размеров закрепляемой детали и масштаба производства.

* Шпиндели с диаметрами гильз 60, 65 и 80 мм серийно производит московский завод «Калибр», а с диаметром 50 мм изготовляют по специальным чертежам проекта модернизации.

** Описание прибора см. на стр. 92 и 93.

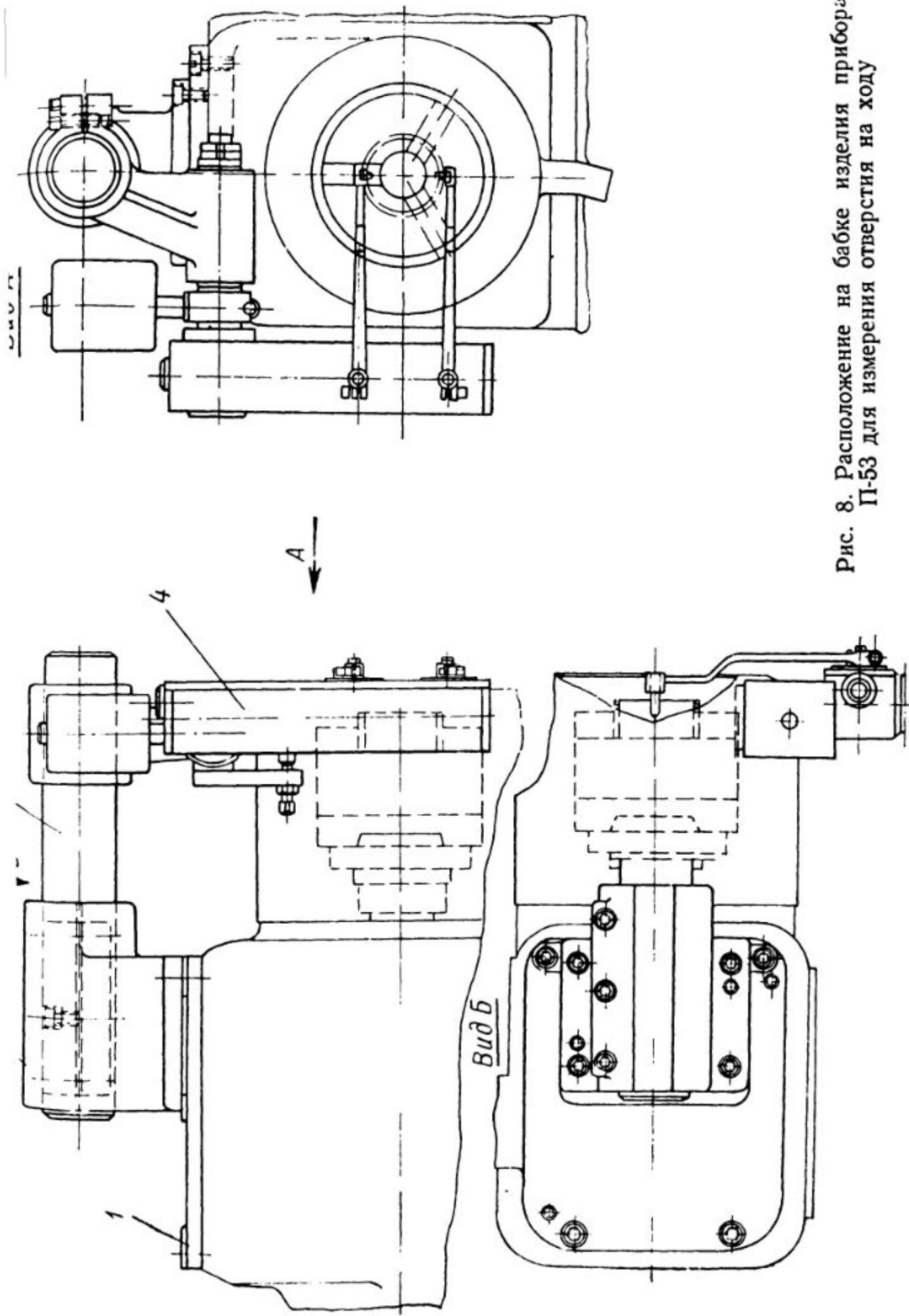


Рис. 8. Расположение на бабке изделия прибора П-53 для измерения отверстия на ходу

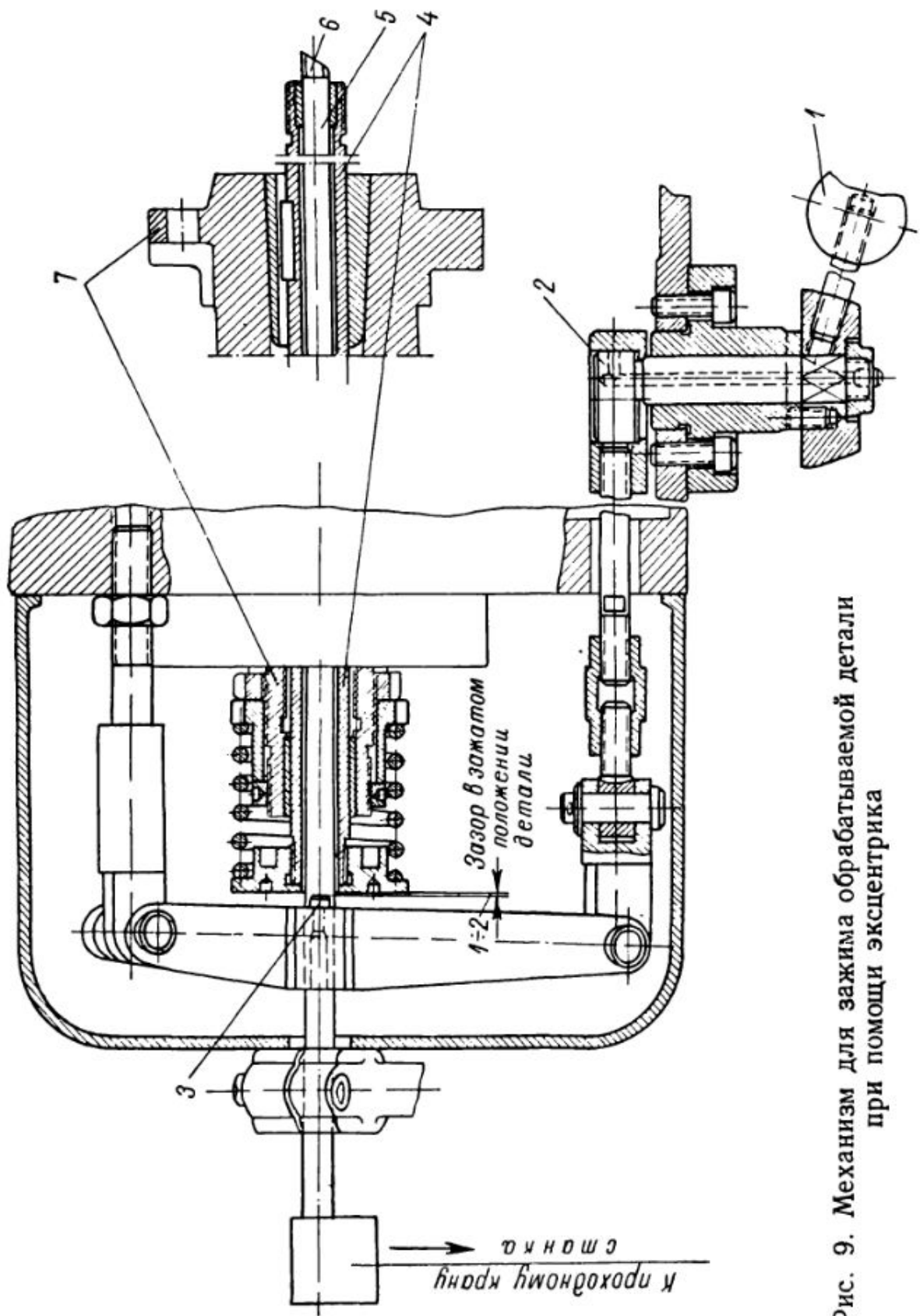


Рис. 9. Механизм для зажима обрабатываемой детали при помощи эксцентрика

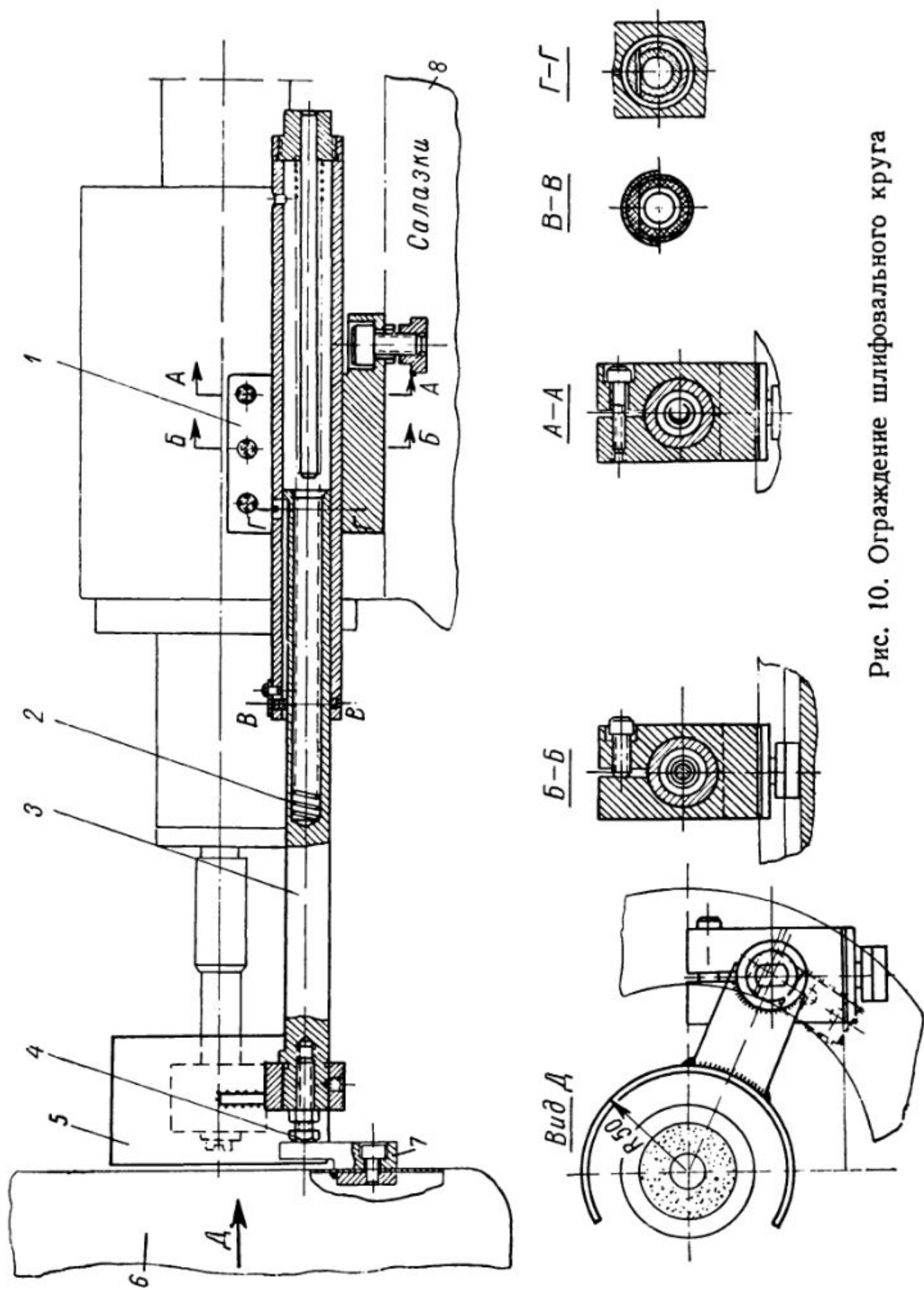


Рис. 10. Ограждение шлифовального круга

Поворотом рукоятки 1 и связанного с ней эксцентрика 2 при помощи системы тяг и рычагов и штифтов 3 перемещается толкатель 4, воздействующий на мембранный патрон для зажима детали. Сквозь полый шпиндель 7 бабки изделия пропущена трубка 5 с наконечником 6 для подвода охлаждающей жидкости. Механизм зажима прост в изготовлении, надежен в эксплуатации и не требует особого ухода.

Передняя бабка для шлифования конусных отверстий может быть повернута на 15°

Ограждение шлифовального круга (рис. 10). Для безопасности работы на станке устанавливают кожух 5, автоматически закрывающий шлифовальный круг при выходе его из обрабатываемого отверстия. Правку производят также при закрытом шлифовальном круге. Корпус 1, несущий ограждение, закрепляется на салазках 8 бабки шлифовального шпинделя винтом. Когда шлифовальный круг, закрытый кожухом 5, начинает входить в отверстие обрабатываемой детали, закрытой кожухом 6, штанга 3 с помощью винта 4 упирается в планку 7, прикрепленную к корпусу бабки изделия, и отжимает кожух 5. Как только шлифовальный круг выходит из отверстия, кожух 5 под действием пружины 2 автоматически закрывает круг. Конструкция кожуха проста и может быть выполнена в цеховых условиях.

В результате модернизации станка 3А240 может быть достигнуто повышение производительности станка за счет сокращения вспомогательного времени в среднем на 30% и за счет сокращения машинного времени на 15—35%.

7. ЭЛЕКТРОШПИНДЕЛЬ К ВНУТРИШЛИФОВАЛЬНОМУ СТАНКУ

Шпиндель, несущий шлифовальный круг, является наиболее ответственным узлом станка. Он должен обладать быстроходностью и жесткостью. Как известно, при внутреннем шлифовании диаметр круга ограничивается размерами обрабатываемого отверстия, поэтому высокая скорость резания при малых отверстиях может быть получена только за счет повышения числа оборотов шлифовального шпинделя.

На большинстве внутришлифовальных станков вращение шпинделя шлифовальной бабки осуществляется

электродвигателем переменного тока через плоскоремennую передачу, а на станках средних и крупных размеров — через клиноремennую передачу.

Однако конструкции с ремennым приводом обладают рядом существенных недостатков. Основным из них является невозможность передать шпинделю высокое число оборотов, особенно при шлифовании отверстий малых диаметров (ниже 30 мм), из-за ограниченности передаточных отношений между диаметрами шкивов и недостаточной прочности материала ремней. При ремennom приводе конструкция ступенчатых шкивов контрпривода натяжного устройства получается сложной, при этом появляется значительная радиальная (боковая) нагрузка от натяжения ремня, что, в свою очередь, вызывает износ опор подшипников качения у шпинделя. Срок службы таких подшипников редко превышает 200 ч. Ремennая передача вызывает также вибрации механизмов станка и неустойчивость числа оборотов шпинделя, связанную с проскальзыванием ремня. К недостаткам ремennого привода также следует отнести большую нагрузку на движущийся стол станка за счет веса электродвигателя, ступенчатых шкивов и контрпривода, что затрудняет плавность движения стола и вызывает инерционные нагрузки при возврате, а также простои станков, связанные с частой сменой ремней.

Другим видом привода быстроходного шпинделя является воздушная турбинка, насаженная непосредственно на шпиндель станка. Такой привод может иметь мощность до 0,3 квт с числом оборотов до 70 000 в минуту. Указанные параметры турбинки не являются предельными. Однако существенными недостатками этого привода являются неустойчивость и резкое падение числа оборотов шпинделя под нагрузкой, что в ряде случаев отрицательно влияет на получение требуемой шероховатости обрабатываемой поверхности, ведет к низкому коэффициенту полезного действия, большому расходу воздуха и появлению шума, утомляющего работающих. Поэтому турбинки находят ограниченное применение и используются лишь для небольших станков малой мощности.

Известны также конструкции быстроходных внутришлифовальных головок с гидротурбинным приводом.

На современных внутришлифовальных станках широко применяют сменные внутришлифовальные головки с широким диапазоном числа оборотов, а в последнее время

электрошпиндели типа Э с высоким числом оборотов. Техническая характеристика таких электрошпинделей приведена в табл. 3.

Таблица 3

Основные данные электрошпинделей типа Э

Тип шпинделя	Число оборотов шпинделя в мин	Мощность в кВт	Напряжение тока в в	Частота в гц	Диаметр шейки вала в мм	Посадочный диаметр для крепления оправки шлифовального круга в мм
Э-18/2	18 000	2	220/380	300	25	13 ^{+0,009}
Э-24/2 Э-24/1	24 000			400		
Э-36/2,5 Э-36/1 Э-36/0,6	36 000	2,5	220	600	17	9 ^{+0,005}
		1,0	220/380			
		0,6			12	7 ^{+0,005}
Э-48/2 Э-48/0,6	48 000	2,0	220	800	15	8 ^{+0,005}
		0,6	220/380		12	7 ^{+0,005}
Э-2/0,5 Э-96/0,5	72 000 96 000	0,5	220	1200	9	5 ^{+0,005}
				1600		

Наряду с этим известны также электрошпиндели конструкции ЭНИМСа, техническая характеристика которых приведена в табл. 4.

Кроме того, имеются высокочастотные электрошпиндели, отличительная особенность которых состоит в том, что вал ротора электродвигателя является одновременно и шпинделем, на котором закрепляется шлифовальный круг.

Число оборотов шпинделя $n_{ш}$ зависит от числа пар полюсов обмотки статора электродвигателя и частоты тока, питающего двигатель, и определяется по формуле

$$n_{ш} = \frac{60f}{p} \text{ об/мин,}$$

где f — частота тока в гц;

p — число пар полюсов статора.

Основные данные электрошпинделей конструкции ЭНИМСа

Тип шпинделя	Число оборотов в мин	Мощность, квт	Напряжение тока в в	Частота 3-фазного тока в гц	Посадочный диаметр головки, мм	Диаметр шейки шпинделя, мм
A48-22 A48-22A	48 000	2,0 0,7	220	800	120	32
A72-20 A96-30	72 000 96 000	0,5 0,3		1200 1600	90	22 16
A120-51 A140	120 000 140 000	0,15		2000 2400	65	12

Так, например, при электродвигателе с одной парой полюсов и частоте тока 800 гц число оборотов шпинделя равно 48 000 об/мин. Бесступенчатое регулирование скорости электрошпинделя достигается преимущественно изменением частоты питающего тока.

При современных конструкциях электрошпинделей можно шлифовать отверстия малых диаметров с высокими скоростями резания, близкими к 50 м/сек. Действительно, если принять, что диаметр круга равен 0,9 диаметра отверстия, то при шлифовании отверстия диаметром 20 мм с помощью электрошпинделя Э-48/22 при 48 000 об/мин скорость резания

$$v_k = \frac{0,9 \cdot 3,14 \cdot 20 \cdot 48\,000}{60 \cdot 1000} \approx 45 \text{ м/сек.}$$

Таким образом, при применении электрошпинделей с числом оборотов от 12 000 до 48 000 об/мин для шлифовальных кругов диаметром от 20 до 100 мм легко достигается скорость резания в интервале 35—50 м/сек.

Для получения высокой скорости резания при шлифовании особо мелких отверстий необходимы электрошпиндели с числом оборотов 120 000—140 000 об/мин.

Смазка шеек шпинделя в зависимости от числа оборотов может производиться путем распыленного сжатым воздухом масла, так называемым масляным туманом,

реже чистым трансформаторным маслом или велоситом путем заливки его через масляные отверстия в гильзе шпинделя. Применение масляного тумана предпочтительнее, так как сохраняет срок службы электрошпинделя.

Под опоры электрошпинделей с высоким числом оборотов подается сжатый воздух под давлением 3—6 атм, создающий воздушную подушку вместо масляного тумана.

Важным преимуществом электрошпинделей является их долговечность, в 3—5 раз превосходящая долговечность шпинделей с ременным приводом (в последних действуют радиальные нагрузки от натяжения ремней). Плавность и равномерность вращения электрошпинделя достигается за счет магнитного поля или упругой муфты.

Применение электрошпинделей позволяет получить более высокий класс шероховатости поверхности. Так, в зависимости от типа электрошпинделя, принятых режимов шлифования, физико-механических свойств обрабатываемого металла и характеристики круга можно достичь шероховатость поверхности, соответствующую 11-му классу.

Внутришлифовальные станки с электрошпинделями позволяют повысить производительность процесса и в 2—3 раза по сравнению с ременным приводом снизить эксплуатационные расходы. Межремонтный период электрошпинделей конструкции ЭНИМСа составляет 3,5 тысяч ч.

Достоинством электрошпинделей является способность их сохранять скорость вращения с незначительным скольжением ротора (3—8%) даже при больших перегрузках.

К обстоятельствам, ограничивающим применение электрошпинделей, следует отнести необходимость иметь специальные источники питания — преобразователи или генераторы тока высокой частоты, которые монтируются либо для каждого станка в отдельности, либо для группы станков.

8. ПРОВЕРКА ПОЛОЖЕНИЯ ОСИ ШПИНДЕЛЯ ШЛИФОВАЛЬНОЙ БАБКИ

Стабильность наладки на точность размеров и формы (цилиндричность, конусность и т. п.) обрабатываемых отверстий деталей зависит от взаимного расположения осей шпинделя шлифовального круга и детали (рис. 11).

Ось шпинделя бабки изделия *I* и ось шпинделя шлифовальной бабки *II* должны быть параллельны и лежать

в плоскости, проходящей через ось детали (рис. 11, а). Радиальное усилие P_y должно находиться в этой же плоскости. При таком расположении осей обеспечивается требуемая точность размеров, формы обрабатываемого отверстия и устойчивость наладки. На практике же правильное расположение осей во время работы постепенно нарушается

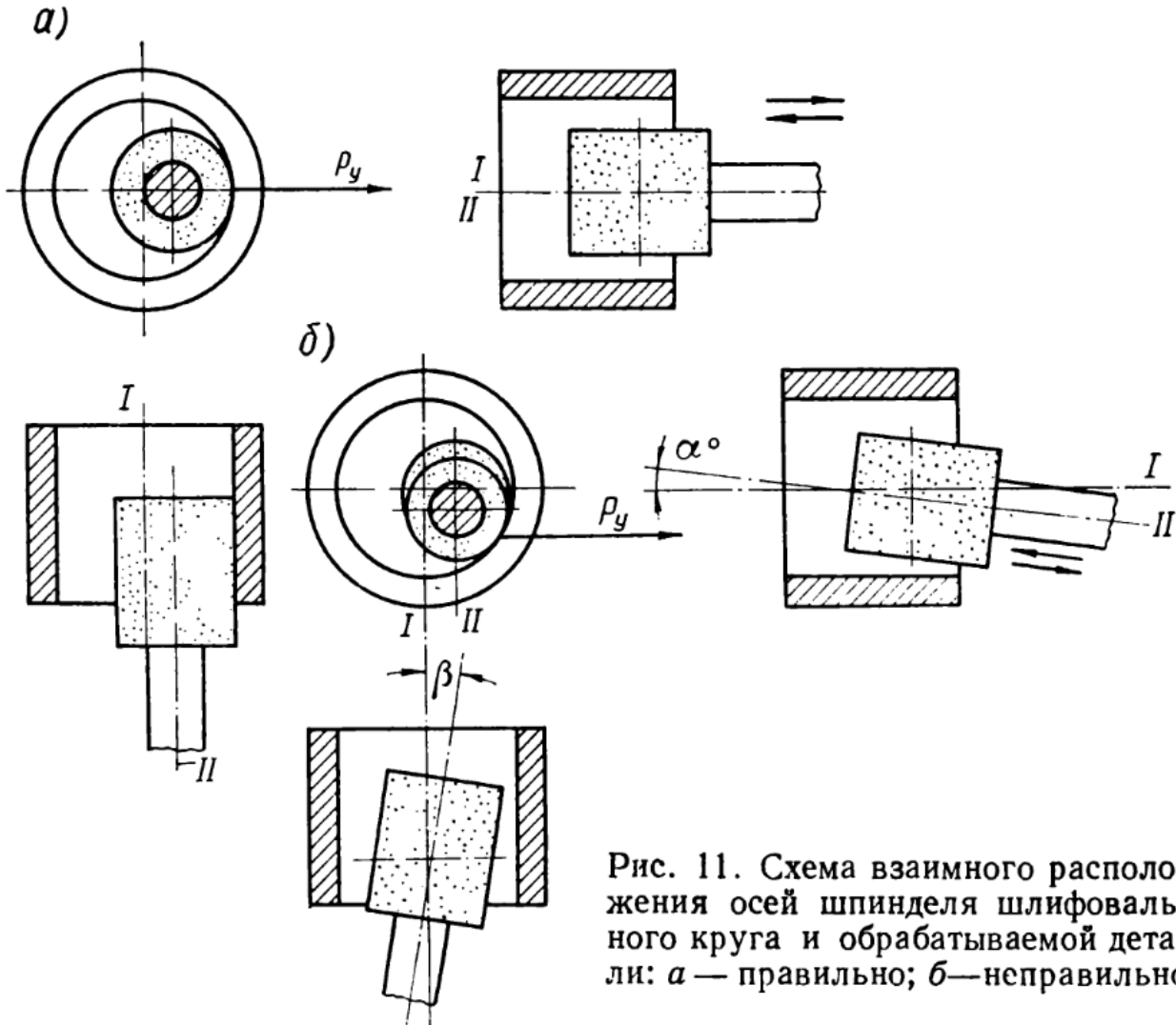


Рис. 11. Схема взаимного расположения осей шпинделя шлифовального круга и обрабатываемой детали: а — правильно; б — неправильно

из-за равномерного износа соприкасающихся поверхностей направляющих стола и станины при быстрых возвратно-поступательных движениях стола, несущего шлифовальную бабку. Поэтому ось шпинделя круга II (рис. 11, б) не совпадает с осью шпинделя бабки изделия I и получает некоторый наклон к оси шпинделя детали как в вертикальной α , так и в горизонтальной β плоскостях.

При ремонте обычно пришабривают поверхности направляющих стола и станины, но основной недостаток — непараллельность осей — этим не устраняется.

Практикой установлено, что при нарушении параллельности осей шпинделей шлифуемые отверстия у деталей получаются конусными с образованием среза у края.

Образующаяся в результате этого конусность отверстий по мере износа шлифовального круга меняет свою величину, что приводит к нарушению геометрии отверстий, зачастую выходящей за пределы отклонений, допускаемых техническими условиями.

Наладчики при выверке положения шпинделя шлифовальной бабки относительно положения шпинделя бабки изделия пользуются подкладками различных размеров, однако это не гарантирует устойчивость и точность положения шлифовальной бабки; вместе с тем операция наладки является весьма трудоемкой.

Рациональный метод выверки, предложенный И. И. Коновым [11] и Н. Ф. Сухаревым, заключается в выверке параллельности осей отдельно в вертикальной и горизонтальной плоскостях и расположения их по высоте центров при повороте соответственно на угол α и β .

На рис. 12, а показана схема выверки оси *I* шпинделя круга в вертикальной плоскости для достижения ее параллельности направляющим станины. В отверстие бабки 2 шпинделя круга, предварительно расточенного, вставляют разрезную эксцентриковую втулку 1 с эксцентриситетом, равным 2 мм. В пределах этой величины может производиться регулировка положения втулки, закрепленной в бабке болтом. В отверстие втулки вставляют оправку 4 с вылетом в сторону бабки шпинделя изделия 5 на 350—400 мм. Индикатор 3 закреплен на месте приспособления для правки круга алмазным инструментом, а его измерительный наконечник должен опираться сверху на цилиндрическую поверхность оправки.

С помощью индикатора производятся замеры в двух точках на поверхности оправки 4. Первоначальный замер производится в точке C_2 , соответствующей высшей точке при перемещении суппорта бабки в поперечном направлении, как это показано на рис. 12, а стрелками. Вторую точку C_1 так же, как и точку C_2 , находят на оси *II* при перемещении бабки в продольном направлении. Если при расстоянии между измеряемыми точками 300 мм разность показаний индикатора не превышает 0,02 мм, то такое положение практически можно считать нормальным. При величине этой разности, превышающей 0,02 мм, необходимо шлифовать основание бабки на плоскошлифовальном станке с установкой ее по плоскости *A*. Толщина пластинки, устанавливаемой между

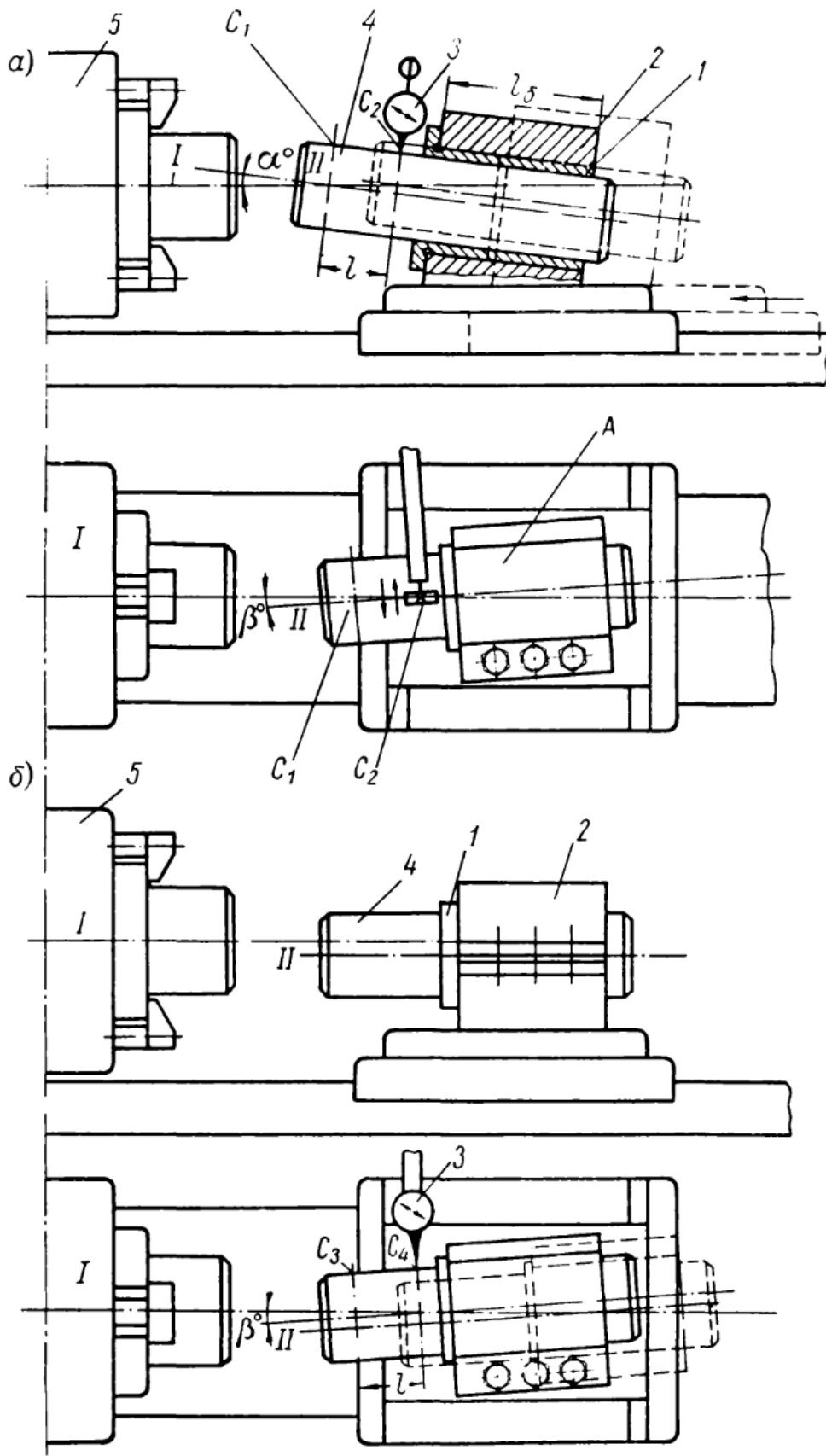


Рис. 12. Схема выверки осей I и II шпинделя шлифовальной бабки: а—в вертикальной плоскости; б—в горизонтальной плоскости

плоскостью плоскошлифовального станка и плоскостью бабки, определяется по формуле

$$b = \frac{(n_2 - n_1)l_6}{l},$$

где n_2 и n_1 — показания индикатора в точках C_2 и C_1 ;
 l_6 — длина шпиндельной бабки;
 l — расстояние между точками измерений.

Ось шпинделя в горизонтальной плоскости (рис. 12, б) выверяют следующим образом. Индикатором 3 производят замеры по образующей оправки в точках C_3 и C_4 . Здесь нет необходимости находить их как высшие точки, так как при продольном перемещении стола наконечник индикатора будет скользить только по какой-либо одной образующей оправки 4. Считается нормальным, как и в предшествующей проверке, отклонение не более 0,02 мм на длине 300 мм. При отклонении более 0,02 мм производят пришабривание боковой поверхности бабки.

Последней из проверок является выверка высоты центров (рис. 13). В шлифовальную бабку взамен оправки вставляют шлифовальный шпиндель, а в патроне бабки шпинделя изделия закрепляют оправку 1, в которой находятся две обрабатываемые детали 2 и 3. Отверстия этих деталей покрывают тонким слоем медного купороса и вводят в них неподвижный шлифовальный круг, а затем поперечной подачей доводят круг до касания с одной из сторон. Возвратно-поступательным движением стола (показано стрелками) на поверхности колец наносят риску А. После этого круг перемещают в поперечном направлении и на диаметрально противоположной стороне наносят риску Б. Затем вынимают оправку 1 из патрона и поворачивают деталь 2 по стрелке К до совпадения риски А с риской Б на детали 3. Совпадение рисков показывает, что оси шпинделей параллельны и по высоте совпали. В случае несовпадения рисков оси окажутся не на одной высоте, и тогда требуется регулировка при помощи эксцентриковой втулки. Такую регулировку производят путем поворота этой втулки вместе со шлифовальным шпинделем на некоторый угол. После поворота необходима вторичная проверка на совпадение рисков А и Б.

По данным 1-го ГПЗ описанный метод проверки высоты центров отнимает мало времени и уменьшает простой станков в два раза, а брак изделий на 20%.

Выверку станков производят после каждого планового ремонта, а проверку оси шпинделя круга по высоте центров — после каждой замены шпинделя. Приведенные выше методы проверки применяются сравнительно редко.

Вследствие неравномерного нагрева отдельных элементов станка и по ряду других причин нарушается точность взаимного расположения оси обрабатываемой детали и направляющих станка, что влияет на точность обрабаты-

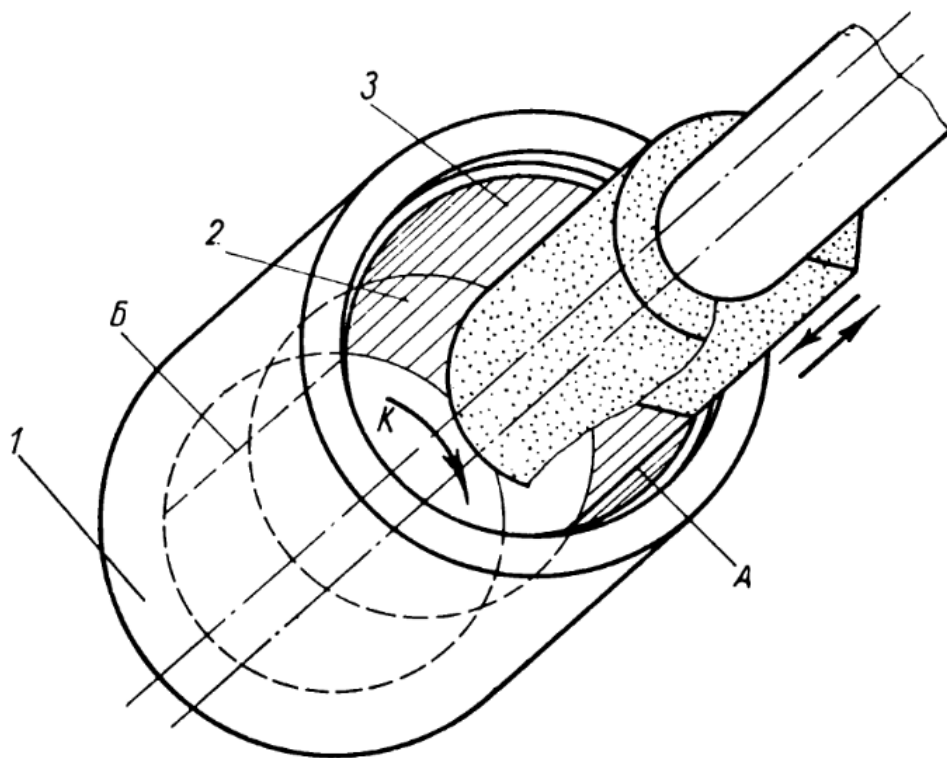


Рис. 13. Схема выверки высоты центров осей шпинделя шлифовального круга и обрабатываемой детали

ваемого отверстия по цилиндричности (или по конусности). В связи с этим периодически производят корректирование положения бабки шпинделя. Это осуществляется путем поворота ее вокруг вертикальной оси. Точный поворот бабки изделия на незначительный угол весьма трудоемок и требует навыков. В практике пользуются приспособлениями, ускоряющими процесс корректирования. Одним из таких приспособлений, хорошо себя зарекомендовавшим, является индикаторный упор (или два упора), закрепляемый на промежуточной плите. Измерительный штифт индикатора при повороте бабки шпинделя изделия упирается в какую-нибудь выступающую деталь или специальный ограничитель на бабке. По величине отклонения стрелки индикатора легко определить необходимый угол поворота бабки изделия.

Глава III

ТЕХНОЛОГИЯ ШЛИФОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ

Обработка точных отверстий шлифовальным кругом, как и инструментами с металлическими лезвиями, представляет некоторые трудности, обусловленные тем, что поверхность обработки является внутренней, недоступной для наблюдения. Кроме того, жесткость шпинделя внутришлифовального станка значительно уступает жесткости шпинделя станка для наружного шлифования. На процесс шлифования отверстия влияет также необходимость частой правки шлифовального круга.

Шлифование отверстий в деталях с высокими требованиями к точности размеров и формы и обеспечения концентричности производят по одному из следующих методов.

Метод I. Отверстие первоначально обрабатывают до окончательного размера и используют в дальнейшем как базу для обработки наружных цилиндрических и торцовых поверхностей на заданные размеры. Использование отверстия в качестве базы позволяет обеспечить точность размеров и формы наружных и торцовых поверхностей, а также их концентричность. При этом применяются относительно простые по конструкции и недорогие приспособления. По такому методу шлифуют отверстия в деталях типа втулок, букс, колец и др.

Метод II. Шлифование отверстий в деталях является завершающей операцией. Отверстие в этом случае шлифуют до окончательного размера от ранее обработанных наружных поверхностей, являющихся базовыми и надежно гарантирующих возможность выдержать требования к точности размеров и формы, концентричности, соосности и т. д. Шлифование отверстия по этому методу требует применения более сложных приспособлений, чем оправки для шлифования наружных поверхностей.

Примерами шлифования отверстий с использованием наружных поверхностей в качестве базовых являются

отверстия в зубчатых колесах при нешлифованных зубьях, конусные отверстия в шпинделях металлорежущих станков, отверстия в кольцах подшипников качения (на внутренних бесцентровошлифовальных автоматах) и др.

Шлифование отверстий на станках с автоматическим методом контроля осуществляют в два непрерывно следующих друг за другом перехода — черновой и чистовой (окончательный).

Чистовое шлифование, в свою очередь, подразделяется на собственно процесс шлифования и выхаживание, которое осуществляют без радиальной подачи (нулевая подача). При переходе от чернового шлифования к чистовому в автоматическом цикле предусматривается принудительная правка шлифовального круга алмазным инструментом. Износ круга компенсируется соответствующей автоматической корректировкой положения алмазного инструмента относительно поверхности круга.

Износ алмазного инструмента компенсируется принудительным перемещением при периодическом ощупывании его положения.

9. ПРИПУСКИ НА ШЛИФОВАНИЕ ОТВЕРСТИЙ

Величина припуска на шлифование отверстий должна компенсировать погрешности операций предшествующей механической и термической обработки (если последняя предусматривается), а также погрешность установки детали на данной операции.

Суммарное значение припуска на операцию определяется из подлежащего удалению поверхностного дефектного слоя металла, геометрической погрешности формы поверхности отверстия и пространственных отклонений.

Поверхностный дефектный слой металла в случае шлифования представляет собой микронеровности, деформированный и обезуглероженный слой. В зависимости от размера отверстия и метода чистовой обработки, предшествовавшей шлифованию, глубина дефектного слоя металла находится в пределах 6—25 мкм.

Геометрические погрешности формы поверхности отверстий (овальность, конусность, корсетность) должны лежать в пределах поля допуска и поэтому при расчете припусков на операцию шлифования не учитываются.

Пространственные отклонения при шлифовании отверстий учитываются при расчете припуска на операцию

Припуски на шлифование отверстий (по диаметру)

Диаметр отверстия в мм	Припуск на шлифование в мм при длине отверстия (мм)						
	До 25	Свыше 25 до 50	Свыше 50 до 100	Свыше 100 до 150	Свыше 150 до 200	Свыше 200 до 300	
До 10	0,07—0,10	0,10—0,12	—	—	—	—	
Свыше 10 до 18	0,12—0,15	0,12—0,15	0,15—0,18	—	—	—	
18 30	0,12—0,15	0,15—0,18	0,18—0,22	0,20—0,25	0,22—0,27	—	
30 50	0,15—0,20	0,20—0,25	0,25—0,30	0,25—0,30	0,27—0,32	0,30—0,40	
50 80	0,20—0,25	0,25—0,30	0,25—0,30	0,30—0,35	0,35—0,4	0,35—0,45	
80 120	0,25—0,30	0,25—0,30	0,28—0,33	0,30—0,35	0,35—0,4	0,40—0,50	
120 » 180	0,25—0,30	0,30—0,35	0,33—0,38	0,33—0,38	0,40—0,45	0,45—0,55	
180 » 260	0,30—0,35	0,30—0,35	0,4—0,45	0,40—0,45	0,45—0,5	0,5—0,6	
260	0,30—0,35	0,35—0,4	0,4—0,45	0,40—0,45	0,5—0,55	0,5—0,6	

и представляют собой кривизну оси, коробление, увод оси, эксцентricность наружной поверхности по отношению к оси отверстия, неперпендикулярность торца к оси и т. д.

Путем расчета перечисленных составляющих погрешностей и соответственного их суммирования можно определить минимальный припуск, необходимый для того, чтобы гарантировать получение качественной детали.

Оставлять большие припуски нецелесообразно, так как, с одной стороны, при обработке удаляется наиболее износоустойчивый слой металла, а с другой — удорожается операция за счет увеличения затрат времени на ее выполнение и увеличивается расход абразивного инструмента, что невыгодно экономически.

Величина припуска зависит от размеров (диаметра, длины) и формы отверстия обрабатываемой детали, отношения длины к диаметру, конфигурации детали, характера термической обработки и производственных условий. Наиболее точно величину припуска на шлифование отверстий можно определить по отдельным ее составляющим расчетным путем. В практике пользуются нормативными таблицами припусков, составленными на основе опытных статистических данных.

В табл. 5 приведены примерные величины припусков на обработку для внутреннего шлифования. Эти данные не следует рассматривать как предельные и обязательные. В конкретных производственных условиях они могут быть изменены.

При разделении операции на грубую и окончательную обработку величина припуска на грубую обработку составляет 60—70%, а на чистовую — 40—30% от общего припуска.

Припуск на тонкостенные и сильно деформирующиеся при термической обработке детали следует увеличить против значений, рекомендуемых в табл. 5, путем их умножения на коэффициент 1,5—1,2. Чем больше диаметр и длина, тем меньше значения коэффициента.

10. ВЫБОР ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА

Выбор диаметра круга при внутреннем шлифовании зависит от размера обрабатываемого отверстия. Эта зависимость определяется величиной дуги контакта поверхности обрабатываемого отверстия и поверхности круга.

В отличие от круглого наружного или плоского шлифования площадь контакта при внутреннем шлифовании вне зависимости от диаметра круга значительно больше, вследствие чего наблюдается интенсивное теплообразование. В то же время круги малых диаметров, работающие при низких окружных скоростях, сильно изнашиваются, так как отдельные абразивные зерна, испытывая большую нагрузку, изнашиваются и выкрашиваются, в результате чего необходима чистая правка круга. Уменьшение поверхности контакта соответствует повышению давления на единицу площади круга при шлифовании, увеличению съема металла, а следовательно, и ухудшению шероховатости поверхности. Нельзя поэтому во всех случаях руководствоваться соображением, что диаметр шлифовального круга надо принимать равным 0,75 диаметра обрабатываемого отверстия, так как с изменением диаметра шлифовального круга изменяется длина поверхности контакта круга с обрабатываемой поверхностью.

На основе практических данных можно принять соотношения между диаметром шлифовального круга и диаметром шлифуемого отверстия (табл. 6), округляя ближайшее целое значение диаметра круга по ГОСТу 2424—60.

Таблица 6

Соотношения между диаметром круга и диаметром шлифуемого отверстия

Диаметр шлифуемого отверстия детали в мм	Отношение диаметра шлифовального круга к диаметру отверстия детали
До 30	0,95
Свыше 30 до 80	0,90
80 125	0,85—0,8
125 160	0,75
160 200	0,7
200 250	0,65

Для отверстия диаметром свыше 200 мм диаметр круга меньше зависит от размера отверстия и определяется диаметром шпинделя шлифовальной бабки.

При внутреннем шлифовании, в силу особенностей процесса, сопровождающегося значительным теплообразованием, следует выбирать круги относительно крупно-

зернистые, более мягкие и с более открытой структурой, чем при наружном шлифовании. Тем самым создаются возможности для предотвращения прижогов и обеспечения лучшего отвода стружки.

В качестве абразивного инструмента применяют цилиндрические круги формы ПП (ГОСТ 2424—60), диаметром $D = 3 \div 200$ мм и высотой $H = 1 \div 32$ мм. Если одновременно с отверстием надо обработать и торец детали или по характеру работы требуются круги большой высоты, то берут круги формы ПВ, диаметром $D = 10 \div 200$ мм и высотой $H = 6 \div 40$ мм.

Характеристики кругов принято обозначать на их торцевой поверхности. Например, круг ЭБ 40 СМ2 К, означает абразивный материал круга — электрокорунд белый (ЭБ), номер зернистости — 40, твердость — среднемягкая № 2 (СМ2), связка — керамическая (К). Форма и размеры круга обозначаются так: ПП 40×6×13, что означает: форма круга — прямой профиль, наружный диаметр круга $D = 40$ мм, высота $H = 6$ мм, внутренний диаметр $d = 13$ мм.

Для обработки разных материалов требуются круги различных характеристик. Отверстия в деталях из алюминия и чугуна шлифуются кругами из карбида кремния черного (КЧ), из твердых сплавов — кругами из карбида кремния зеленого (КЗ), а из сталей различных марок в зависимости от их физико-механических свойств и требуемой шероховатости — кругами из электрокорунда нормального (Э), электрокорунда белого (ЭБ) и монокорунда (М) зернистостью от 50 до 12. При внутреннем шлифовании чаще всего применяют круги зернистостью от 40 до 16.

Твердость кругов для внутреннего шлифования выбирают в пределах от мягкой до средней в зависимости от характера выполняемой операции. При черновом шлифовании, когда требуется снятие большого количества металла и нет высоких требований к точности и шероховатости поверхности, применяются более твердые круги. При работе мягкими кругами, как правило, отсутствуют прижоги. Однако эти круги обладают повышенным износом и требуют частой правки. Слишком твердые и мелкозернистые круги сравнительно быстро засаливаются, и их также необходимо часто править.

Обработку отверстий со шпоночными пазами или шлицами ведут более твердыми кругами. Чем больше число

пазов, тем тверже должен быть круг. При шлифовании отверстий в тонкостенных втулках применяют более мягкие круги.

При малой поверхности контакта круга с обрабатываемой поверхностью вследствие повышенного удельного давления необходимо применять круги более твердые для уменьшения их износа. Чем больше поверхность контакта при внутреннем шлифовании, тем соответственно мягче должен быть круг.

При выборе твердости круга следует также считаться со скоростью резания и диаметром круга. Чем выше окружная скорость круга в процессе резания, тем круг будет работать как более твердый. Поэтому при твердых кругах следует производить шлифование с более низкими окружными скоростями. Чем меньше диаметр круга, тем выше должна быть его степень твердости,* учитывая малую поверхность контакта и влияние окружной скорости.

Для выбора характеристики шлифовального круга можно пользоваться данными табл. 7.

Таким образом, при выборе шлифовального круга можно руководствоваться следующими соображениями:

1) для достижения шероховатости поверхности до 6—7-го класса следует применять круги зернистостью 40—25, а до 8-го класса — зернистостью 25—16;

2) при шлифовании с повышенными глубиной и подачей, если позволяет мощность станка и жесткость технологической системы, необходимо применять более твердые круги;

3) при обработке со скоростными режимами (по опыту ЗИЛ) рекомендуется снижать твердость круга на одну степень, что вместе с тем предохраняет поверхность шлифуемой детали от прижогов;

4) при обработке отверстий в закаленных деталях из цементируемых марок сталей твердость круга следует снижать на 1—2 степени;

5) при шлифовании закаленных сталей, а также и других марок сталей и сплавов с пониженной теплопроводностью необходимо применять более мягкие круги;

6) при обработке отверстий в тонкостенных втулках рекомендуется применять круги пониженной твердости;

* В качестве примера см. примечания 1, 2, 3, 4 табл. 7.

Выбор характеристики кругов на керамической связке для внутреннего шлифования различных материалов

Обрабатываемый материал	Род шлифования	Характеристика круга		
		Абразивный материал	Зернистость	Твердость
Алюминий и его сплавы	Предварительное	КЧ; Э	40	СМ2—СМ
	Окончательное	КЧ	40—25	СМ1—М3
Бронза мягкая и латунь	Предварительное	КЧ	40	СМ1—СМ2
	Окончательное		25	СМ1
Бронза твердая	Предварительное	Э	40	СМ1—СМ2
	Окончательное		40—25	СМ1—М3
Быстрорежущая, высоколегированная инструментальная сталь, термообработанная	Предварительное	КЗ; ЭБ	40	СМ2—С1 ¹
	Окончательное	КЗ	25—16	СМ1—М3
Конструкционные углеродистая (0,15—1,0% С) и низколегированная стали	Предварительное	Э	40	СМ2—С2 ¹
	Окончательное		40	СМ2—С1 ²
			40	СМ1—С1 ⁴
			40—25	СМ1—М3
То же, термообработанные	Предварительное	Э	40	СМ2—С1
	Окончательное	ЭБ; М	25—16	СМ2—СМ1
Инструментальная углеродистая (0,5—1% С) и низколегированная стали, термообработанные	Предварительное	ЭБ	40	С1 ³
	Окончательное		40	СМ2 ¹
			40	СМ1 ⁴
			25—16	СМ2—СМ1

¹ При диаметре шлифовального круга 20 мм.
² » » » » 25 »
³ » » » » 15 »
⁴ » » » » 40 »

Обрабатываемый материал	Род шлифования	Характеристика круга		
		Абразивный материал	Зернистость	Твердость
Медь	Предварительное	КЧ	40	МЗ—СМ1
	Окончательное		25	МЗ—М2
Твердый сплав	Предварительное	КЗ	40	МЗ—СМ1
	Окончательное		25	МЗ—М2
Твердый хром	Окончательное	ЭБ; М	16—10	СМ1—СМ2
Азотированная сталь			КЗ	10—6
Чугун серый твердостью $HB < 250$	Предварительное	КЧ	50	СМ1—С1
	Окончательное		40	МЗ—СМ2
Чугун серый твердостью $HB > 250$	Предварительное		50	СМ2—СМ1
	Окончательное		40	МЗ—СМ1
Стекло и мягкая керамика	Предварительное	КЧ	16—12	МЗ—СМ1
	Окончательное	КЗ		

7) при шлифовании отверстий малых диаметров с большим числом оборотов круга следует применять более мягкие круги;

8) при обработке прерывистых отверстий необходимо использовать более твердые круги.

Закрепление круга на шпинделе шлифовальной бабки станка может производиться непосредственно на оправке (рис. 14, а и б) или через удлинитель 2 (рис. 14, в), центрируемый по наружной конической поверхности шпинделя 4. В этом случае круг устанавливают на цилиндрическую часть оправки 1, выполненную по посадке скольжения С или по ходовой посадке Х. Шпилька 3 обеспечивает соединение удлинителя 2 со шпинделем шлифовальной бабки.

Радиальное биение наружного конуса шпинделя под удлинитель (насадку) допускается не более 0,006 мм, а посадочного места оправки под шлифовальный круг для шпинделя с цельным валом — не более 0,01 мм.

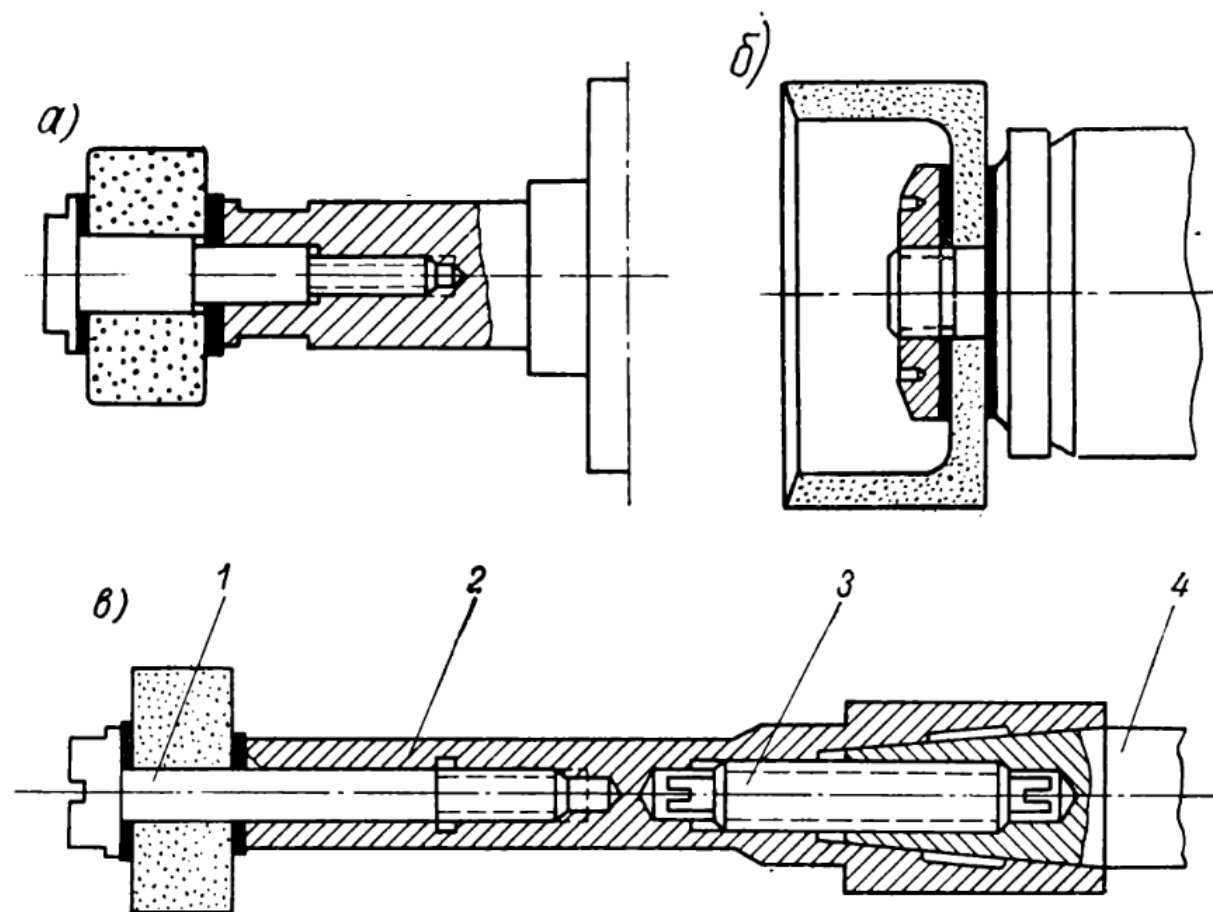


Рис. 14. Закрепление шлифовального круга на шпинделе: *а* — через оправку для шлифования отверстия; *б* — через оправку для шлифования торца; *в* — через удлинитель

На практике при шлифовании отверстий малых диаметров при отсутствии круга нужной высоты на оправку насаживают 2—3 круга однородной характеристики, что повышает их стойкость.

11. ПРАВКА ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА

В процессе шлифования вследствие потери кругом правильной формы и необходимости поддерживать его режущую способность требуется правка круга. В зависимости от требований к точности обработки детали и шероховатости ее поверхности правка может производиться алмазным инструментом или его заменителями.

При внутреннем шлифовании алмазный инструмент для правки применяется в случаях, когда обрабатываемые

отверстия имеют точность 1 или 2-го класса и при чистоте поверхности 7-го класса, и выше, а также вне зависимости от точности размера при шероховатости поверхности 7-го класса и выше, если предъявляются повышенные требования к точности формы (овальность, конусность, вогнутость, огранка), характеризуемой величинами, приведенными в табл. 8.

Таблица 8

Зависимость допусков на точность формы отверстия от его номинального диаметра

Номинальный диаметр отверстия в мм	Допуски на точность формы отверстия в мкм
До 360	20 и точнее
Свыше 360 до 500	25
500	30

Правка алмазным инструментом предусматривается также при шлифовании отверстий диаметром от 10 до 260 мм, если радиальное или торцовое биение их ограничено пределами 10—30 мкм при чистоте поверхности не ниже 7-го класса независимо от метода шлифования и требуемой точности обработки.

Правка алмазным инструментом не допускается при шлифовании неотбалансированными кругами диаметром 125 мм и выше и кругами зернистостью 50 и выше.

Основным видом алмазного инструмента для правки кругов служат алмазно-металлические карандаши, в которых мелкие зерна алмаза скреплены металлическим сплавом. Согласно ГОСТу 607—63, карандаши в зависимости от расположения в них зерен алмазов выпускаются трех типов:

- 1) с зернами, расположенными слоями (тип С);
- 2) с неориентированными, т. е. неопределенно расположенными зернами (тип Н);
- 3) с зернами, расположенными цепочкой (тип Ц).

По величине зерен карандаши делятся на крупные (К), средние (С), мелкие (М), наиболее мелкие (НМ), наиболее мелкие удлиненной формы (НМУ) и весьма мелкие (ВМ).

В маркировке карандаша первая буква обозначает ориентирование зерен алмаза, а остальные буквы (и цифры) — их величину и номер зернистости.

Например, карандаш марки НВМ-60 (ГОСТ 607—63) имеет следующую характеристику: зерна неориентированы, весьма мелкие, зернистостью 60.

В табл. 9 приведены марки алмазно-металлических карандашей (ГОСТ 607—63), которые могут быть рекомендованы для правки кругов разных диаметров. Общий вес алмаза и карандаша составляет 0,5—1,0 карат (1 карат = = 0,2 г). Крепление алмазно-металлических карандашей в оправках должно быть надежным, исключающим возможность проворачивания вставок в работе. Карандаш должен выступать из оправки не более чем на 1 мм.

Таблица 9

Рекомендуемые марки карандашей для правки кругов разных диаметров

Диаметр шлифовального круга в мм	Марка карандаша
12—60	ЦВМ
70—175	ЦНМ
200 и более	СМ; ЦМ

На качество шлифуемой поверхности, расход абразива круга и алмазного инструмента в большей степени влияют режимы правки. Правку кругов для внутреннего шлифования рекомендуется производить при следующих режимах:

Поперечная подача на двойной ход в мм	0,01—0,03
Продольная подача в м/мин	0,2—0,4
Число проходов	2—3
Число проходов без подачи на глубину (выхаживание)	1—2

При значительной величине поперечной подачи происходит более глубокое разрушение абразивных зерен и связки круга, что приводит к образованию более грубой поверхности круга и повышенному расходу абразива на шлифование.

С увеличением поперечной подачи возрастает нагрузка на зерно или алмаз, в результате чего, наряду с повышенным расходом алмаза, может произойти его разрушение или он может быть вырван.

Приведенные выше значения поперечных подач при правке обеспечивают, наряду с получением высокой точности и низкой шероховатости шлифуемой детали, рациональный расход алмазных инструментов и шлифовального круга. Величина поперечной подачи отсчитывается по нониусу.

Продольную подачу при правке целесообразно выбирать возможно более низкой, что обеспечивает лучшее качество обрабатываемой поверхности. При малой величине продольной подачи как бы увеличивается число режущих граней зерен, участвующих в работе, и круг становится более мелкозернистым. Шероховатость поверхности при этом также снижается.

При неравномерном износе круга, а также при первоначальной правке нового круга для экономного расхода алмаза целесообразно сначала выправить круг алмазо-заменителем (или осколком круга КЗ), а потом (окончательно) алмазным карандашом.

Величина абразивного слоя, снимаемого при правке по радиусу, должна быть минимальной. Так, для круга зернистостью 40 за одну правку она составляет не более 0,06 мм, а для круга зернистостью 25 и выше — не более 0,05 мм.

При разделении процесса шлифования на грубую (черновую) и окончательную (чистовую) обработку правка круга перед окончательной обработкой обязательна.

При незначительном припуске на шлифование, когда оно ведется без деления на черновую и чистовую обработку, а также при невысоких требованиях к точности и шероховатости поверхности ограничиваются одной правкой круга перед началом шлифования.

12. ВЫБОР РЕЖИМОВ ШЛИФОВАНИЯ

Выбор и расчет режимов резания при внутреннем шлифовании, как и при других видах обработки, основывается на рациональном использовании станка и инструмента. Принятые режимы должны обеспечивать наименьшие затраты времени. Они служат также исходными данными для

расчета технически обоснованных норм времени на операцию.

Необходимым условием для расчета режимов шлифования и норм времени является детально разработанный по переходам технологический процесс выполнения данной операции.

При внутреннем шлифовании различают несколько подач. Выбор их производится в такой последовательности:

1) сначала выбирают круговую подачу, т. е. скорость вращения детали (изделия) v_u , выражаемую в *м/мин*;

2) затем выбирают продольную подачу s_o , задаваемую в долях высоты круга на один оборот детали в *мм/об*;

3) наконец, выбирают глубину шлифования или поперечную подачу $s_{t_{д.х}}$, задаваемую в *мм/дв. ход* стола или в *мм/мин*.

Возможно также шлифование отверстия путем применения только поперечной подачи, т. е. так называемое «врезное» шлифование.

При выборе режимов шлифования следует учитывать, что с повышением скорости вращения детали v_u и продольной подачи s_o сокращается время контакта между обрабатываемой деталью и кругом, вследствие чего деталь меньше подвергается нагреву. Но с ростом окружной скорости увеличивается число оборотов детали, возрастают центробежные силы, а следовательно, и возможность вибраций.

Поэтому при выборе режимов шлифования необходимо, с одной стороны, ограничить нижний предел скорости вращения детали, чтобы исключить возможность возникновения прижогов, а с другой — ограничить верхний предел оборотов, чтобы шлифование происходило в зоне безвибрационной обработки.

Режимы шлифования с учетом выбранной характеристики, формы и размеров круга определяют исходя из принятой стойкости, т. е. времени машинной работы круга между двумя правками.

В зависимости от требований к точности и шероховатости обрабатываемой поверхности режимы резания при шлифовании отверстий разделяются на предварительные (грубые), когда отсутствуют особые требования к точности и шероховатости поверхности, и чистовые (включая и получистовые), когда требуется довести шероховатость

поверхности до 7—8-го класса и точность до 2-го, а в отдельных случаях и до 1-го класса.

Основное различие между режимами грубого и чистового шлифования заключается в том, что при грубом шлифовании ограничивают величины окружной скорости вращения детали, но принимают большие значения скорости продольных подач s_0 и глубины резания $s_{t_{\partial. x}}$.

Выбор скорости резания зависит от числа оборотов шпинделя шлифовальной бабки и диаметра обрабатываемого отверстия. Во всех случаях следует стремиться применять наибольшую скорость резания. Чем выше скорость резания, тем большее количество зерен находится в контакте с обрабатываемой поверхностью, меньше изнашивается шлифовальный круг и ниже шероховатость обрабатываемой поверхности.

Скорость резания может быть повышена только в случае достаточной жесткости шлифовального шпинделя и отсутствия вибраций. Поэтому при шлифовании следует применять более короткий шлифовальный шпиндель, размер которого должен соответствовать диаметру обрабатываемого отверстия.

Рекомендуемые значения окружной скорости шлифовального круга в зависимости от обрабатываемого материала приведены в табл. 10.

Таблица 10

Скорость шлифовального круга при обработке различных материалов

Обрабатываемый материал	Скорость круга v_k в м/сек
Стали конструкционные и низколегированные	25—35
Стали закаленные и высоколегированные	15—20
Чугун	20—25
Твердый сплав	12—18
Цветные сплавы	20—30
Стекло	8—12
Пластмассы и резина	15—20

Отдельные элементы составляющих режимов шлифования по данным общемашиностроительных нормативов * могут иметь следующие значения.

1. Скорость вращения детали v_u при грубом шлифовании находится в зависимости от диаметра шлифуемого отверстия детали и лежит в пределах от 10 до 66 *м/мин.* С увеличением диаметра шлифуемого отверстия скорость возрастает. При чистовом шлифовании скорость шлифования находится в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемого материала, размеров шлифуемого отверстия и требований к шероховатости поверхности и лежит в пределах от 12 до 110 *м/мин.*

2. Продольная подача s_o принимается в долях высоты круга и выражается в *мм/об* детали. Для достижения шероховатости поверхности до 7-го класса чистоты s_o должна быть равна 0,5—0,75 высоты круга H , а до 8-го класса — 0,25—0,5 высоты круга. Чем выше требования к шероховатости поверхности, тем меньше s_o . При грубом шлифовании $s_o = (0,5 \div 0,8) H$.

3. Поперечная подача $s_{t_{\partial. x}}$ при грубом шлифовании в зависимости от диаметра шлифуемого отверстия и скорости вращения детали принимается равной от 0,005 до 0,014 *мм/дв. ход.* С учетом принятой стойкости круга отношения диаметра круга к диаметру отверстия, скорости вращения круга и в зависимости от обрабатываемого материала поперечная подача может быть уменьшена путем умножения на соответствующие поправочные коэффициенты. При чистовом шлифовании поперечная подача в зависимости от диаметра шлифуемого отверстия и продольной подачи выбирается в пределах $s_{t_{\partial. x}} = 0,001—0,019$.

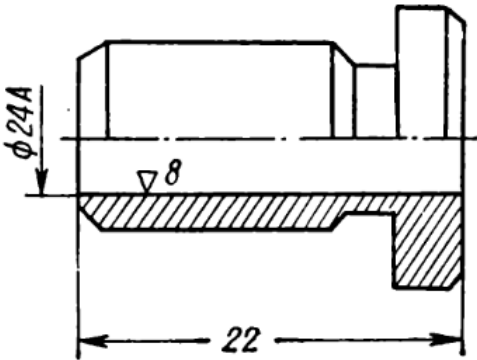
Производительность шлифования Q может быть выражена произведением трех подач

$$Q = v_u s_o s_{t_{\partial. x}}$$

При шлифовании наружного торца детали минутная подача s_{t_m} значительно больше, чем при шлифовании отверстия, и находится в пределах 0,8—0,12 *мм/мин.*

* Общемашиностроительные нормативы режимов резания и времени для технического нормирования работ на шлифовальных станках. Серийное производство. Центральное бюро промышленных нормативов по труду при Научно-исследовательском институте труда. М., Машгиз, 1959.

**Режимы шлифования и нормы времени на операцию
при обработке детали типа втулки**

Эскиз обрабатываемой детали и исходные данные	Режим шлифования	Числовые величины	
		по нормативам	принятые
 <p>Производство — серийное Металл — сталь У7 твердостью HRC 50—55 Припуск на диаметр — 0,15 мм Вес детали — около 16 кг Размер партии — 50 шт. Станок — внутришлифовальный 3А240 (после модернизации с числом оборотов шпинделя изделия 180—810 об/мин) Шлифовальный круг — ЭБ 16СМ2 К ПП 25×25×6 Приспособление — мембранный патрон Измерительный инструмент — предельный калибр-пробка</p>	<p>Число оборотов детали n_u в минуту</p> <p>Скорость вращения детали v_u в м/мин</p> <p>Продольная подача s_d в долях высоты круга</p> <p>Продольная подача s_o в мм/об</p> <p>Поперечная подача $s_{t_{д. х}}$ в мм/дв. ход</p>	<p>420—630</p> <p>23—34</p> <p>0,3</p> <p>$0,3 \times 25$</p> <p>0,0028</p>	<p>405</p> <p>30</p> <p>0,3</p> <p>7,5</p> <p>0,0018</p>
	<p>Нормирование операции</p> <p>Основное технологическое время t_0</p> <p>Вспомогательное время $t_{в}$: на установку и снятие детали</p> <p>связанное с переходом</p> <p>Время на обслуживание рабочего места и на перерывы $t_{обсл}$</p> <p>Итого на операцию</p> <p>Подготовительно-заключительное время</p>	<p>Время в мин</p> <p>0,55</p> <p>0,12</p> <p>0,6</p> <p>0,13</p> <p>1,4</p> <p>8,5</p>	
<p>Примечания. 1. Режимы шлифования взяты из карты 21, основное технологическое время — из карты 25, вспомогательное время — из карт 27, 28, время на обслуживание рабочего места и на перерывы, а также подготовительно-заключительное время — из карты 30 общемашиностроительных нормативов для шлифования. 2. Принятая поперечная подача равна нормативной, умноженной на поправочный коэффициент $k = 0,63$ (в зависимости от припуска и точности).</p>			

В табл. 11 приведены режимы шлифования и нормы времени на обработку отверстия во втулке (по общемашиностроительным нормативам для внутреннего шлифования, карты 21, 25, 27, 28 и 30).

13. ОХЛАЖДЕНИЕ

На качество обработанной поверхности при внутреннем шлифовании оказывают влияние и смазывающе-охлаждающие жидкости. Значительное количество тепла, выделяемого при внутреннем шлифовании в связи с большой поверхностью контакта между кругом и обрабатываемой деталью, требует его отвода и снижения температуры в зоне резания.

Охлаждение предотвращает возможное разрушение круга и способствует уменьшению его износа, оно также устраняет образование шлифовочных трещин на поверхности обрабатываемой детали и предохраняет от образования прижогов. Измерение детали в процессе шлифования возможно только лишь при обильном охлаждении.

Смазочные свойства охлаждающих жидкостей способствуют уменьшению сил трения круга об обрабатываемую поверхность, а также образованию на поверхности детали пленки, которая снижает коэффициент трения и способствует уменьшению засаливания круга. Смазывающе-охлаждающая жидкость облегчает также удаление частичек стружки и абразива из зоны резания, из пор круга и предотвращает появление коррозии.

Применяемые жидкости не должны выделять неприятный запах и испарения, вызывать раздражение или повреждение дыхательных органов и кожи рабочего, воспламеняться и разрушающе действовать на связку круга. Эксплуатационные свойства тех или иных смазывающе-охлаждающих жидкостей решают вопрос практической ценности их при обработке металлов и сплавов разных марок.

При внутреннем шлифовании могут применяться следующие охлаждающие и смазывающе-охлаждающие жидкости: раствор различной концентрации кальцинированной соды в воде, водные растворы эмульсии и мыл, керосиново-масляные составы, водяные растворы с добавкой поверхностно-активных веществ, твердые смазки.

Если единственным требованием при шлифовании сталей различных марок, чугуна и бронзы является интенсивное охлаждение, то применяются растворы кальцинированной соды и нитрита натрия. Количество соды не должно превышать 1—1,5%, так как введение в раствор большого количества увеличивает возможность коррозии обрабатываемых деталей и станка вследствие значительного осаждения сухой соды на металле после высыхания раствора. Крепкие растворы соды могут вызвать раздражение кожи рук рабочих.

Не рекомендуется применять хромово- и двухромовокислые соли, так как они вредно действуют на кожу.

В качестве смазывающе-охлаждающей жидкости, особенно на операциях окончательного шлифования, успешно применяют водный раствор 1% триэтаноламина с добавкой 0,3% нитрита натрия. Возможна еще добавка 0,25% глицерина. Триэтаноламин является активной и антикоррозионной добавкой и при высыхании раствора оставляет масляную прозрачную пленку как на обрабатываемой детали, так и на станке. При малых концентрациях его антикоррозионные свойства недостаточны. Добавка нитрита натрия их усиливает. В сравнении с содовым раствором этот раствор улучшает также качество поверхности.

Наиболее эффективной в качестве поверхностно-активного вещества в составе смазывающе-охлаждающей жидкости служит добавка олеиновой кислоты ($C_{17}H_{33}COH$) в состоянии технической поставки при концентрации в охлаждающей жидкости в пределах 0,2—1,0%. При шлифовании легированных сталей олеиновая кислота в указанном количестве улучшает шероховатость обрабатываемой поверхности примерно на один класс, повышает стойкость шлифовального круга, снижает расходуемую на шлифование мощность, уменьшает вероятность появления прижогов. Такое влияние поверхностно-активного вещества объясняется тем, что в зоне шлифования пластические и сдвиговые деформации совершаются при значительно меньших усилиях. Находят применение также мыльные растворы эмульсии с различным содержанием масляной фазы. Во многих случаях в масляную эмульсию добавляют кальцинированную соду (до 1%), тринатрий фосфата и нитрита натрия. При тяжелых условиях работы применяют индустриальное масло № 20 (веретенное № 3), активированное осерненным маслосульфозолом.

Круги на вулканитовой связке могут быть применены при щелочных растворах охлаждающей жидкости. При работе с масляными составами шлифовальный круг действует как более твердый. Это обстоятельство следует учесть при выборе круга.

Шлифование деталей из алюминия и его сплавов производится с применением легких минеральных масел или 1,5-процентной эмульсии. Рекомендуются также и специальные составы. Смеси из керосина и масла нельзя применять, так как они огнеопасны и под влиянием высокой температуры разлагаются, выделяя газы, вредные для здоровья.

Наиболее часто применяемые составы смазывающе-охлаждающих жидкостей приведены в табл. 12. Подача жидкости при внутреннем шлифовании составляет 5 л/мин на каждые 10 мм высоты круга.

Охлаждающая жидкость подается через полое отверстие в шпинделе (см. рис. 9), если позволяют размеры обрабатываемого отверстия. При малых диаметрах обрабатываемых отверстий деталь охлаждают снаружи. Система подвода охлаждающей жидкости к вращающейся детали и установка ограждающих щитков не должна вызывать неудобства в работе у шлифовщика.

При шлифовании труднообрабатываемых сталей заслуживает внимания введение в состав шлифовального круга на бакелитовой связке наполнителя, который при высоких температурах образует пленку между поверхностями круга и обрабатываемой детали, играющую роль твердой смазки и предохраняющую поверхность от прижогов. В качестве наполнителя используют в различном процентном содержании графит, криолит и др. Круги с такими наполнителями целесообразно применять на чистовых операциях.

После использования охлаждающая жидкость вместе с отходами (металлическая стружка и частицы абразива со связкой) попадает в бак с отстойными отделениями, где осаждаются отходы, а жидкость проходит через фильтр и насосом снова подается в зону резания.

Сохранившийся на большинстве шлифовальных станков метод фильтрации смазывающе-охлаждающей жидкости в отстойных баках весьма несовершенен, так как не обеспечивает качественной очистки. При этом методе только крупные частицы осаждаются на дно. Находящиеся

Смазывающе-охлаждающие жидкости для разных металлов

Обрабатываемый металл	Смазывающе-охлаждающая жидкость	Обрабатываемый металл	Смазывающе-охлаждающая жидкость
Литье из серого и ковкого чугуна	<ol style="list-style-type: none"> 1—1,5-процентный водный раствор кальцинированной соды 1,5-процентная эмульсия из эмульсола 	Алюминий и его сплавы	<ol style="list-style-type: none"> 1-процентная эмульсия из эмульсола Легкое минеральное масло Эмульсия, содержащая 15% эмульсола, 5% сульфифрезола, 5% скипидара и 75% воды
Сталь конструкционная, инструментальная и легированная	<ol style="list-style-type: none"> 1—1,5-процентный водный раствор кальцинированной соды 5-процентная эмульсия 1-процентный водный раствор триэтанолamina с добавкой 0,3% нитрита натрия 1,5-процентный водный раствор триэтанолamina с добавкой 0,2—0,5% олеиновой кислоты 0,5-процентный раствор кальцинированной соды с добавкой 1% олеиновой кислоты 	Латунь и бронза	<ol style="list-style-type: none"> 1-процентный водный раствор кальцинированной соды 1,5-процентная эмульсия Легкое минеральное масло

же во взвешенном состоянии мельчайшие частицы абразива и металлической стружки, поднимаясь вместе с нагнетаемой жидкостью, попадают между шлифовальным кругом и обрабатываемой поверхностью и оставляют на ней риски и царапины.

Измерение отработанных частиц абразивных зерен (отходов шлифования) показало, что их размеры в зависимости от характеристики и качества шлифовального круга, обрабатываемого материала и режимов шлифования составляют в основном от 500 до 20 мкм и меньше.

При высоких требованиях к шероховатости поверхности даже мельчайшие частицы отходов шлифования, попадая вместе с охлаждающей жидкостью на обрабатываемую поверхность, приносят вред.

Другим недостатком описанного метода фильтрации отработанной охлаждающей жидкости является необходимость регулярной смены жидкости и очистки баков от накопившихся осадков. Эта операция трудоемка и требует больших затрат физических сил.

Для получения высоких классов чистоты поверхности необходимо из смазывающе-охлаждающей жидкости удалять частицы величиной более 1 *мкм*. В тех случаях, когда требуется последующее хонингование отверстия, на эту операцию после шлифования можно оставить меньший припуск, если из охлаждающей жидкости извлечь все твердые частицы.

В последнее время у нас и за рубежом находят применение более совершенные методы фильтрации охлаждающей жидкости с помощью различных аппаратов и установок, описываемых ниже.

Магнитный сепаратор (рис. 15) предназначен для очистки жидкости с помощью постоянных магнитов 4, встроенных в диамагнитный барабан 5. Между барабаном и чугунным корпусом 1 предусмотрена щель, через которую направляют поток загрязненной жидкости. Жидкость, протекая по щели в направлении, обратном вращению барабана, омывает часть его поверхности. Находящиеся в ней металлические частицы притягиваются магнитами, образуя своеобразные металлические щетки, которые одновременно служат фильтрами, задерживающими находящиеся в жидкости частицы абразива и связки. Валик 6 поджимается к барабану сепаратора пружинами и удаляет из шлама жидкость. Шлам с барабана 5 непрерывно очищается скребком и, сдвигаясь по желобу 3, попадает в мусоросборник. Отверстие 7 служит для залива загрязненной жидкости, а через отверстие 2 очищенная жидкость поступает в отстойный бак.

Однако применение магнитного сепаратора имеет известные ограничения. Основной его недостаток заключается в том, что удаляются из жидкости лишь намагничивающиеся частицы металла размером от 2 до 200 *мкм*, а значит возможность его использования при шлифовании немагнитных материалов исключается.

Очистка жидкости с помощью фильтровальной бумаги осуществляется на специальной фильтровальной установке, которая работает следующим образом. Фильтровальная бумага, свернутая в рулон, поступает на бесконечную стальную сетку с крупными ячейками и вместе с ней периодически перемещается. Поток отра-

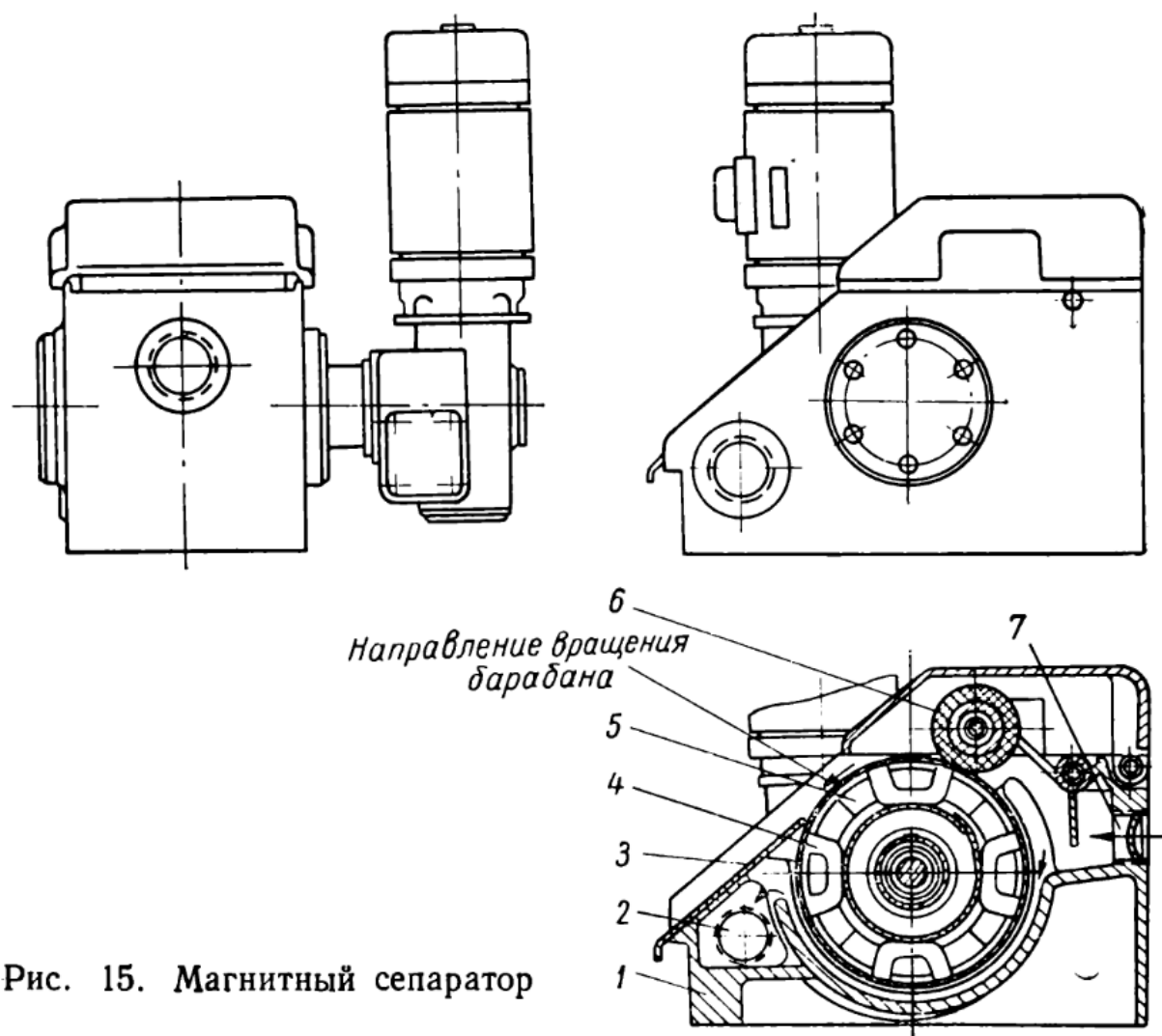


Рис. 15. Магнитный сепаратор

ботанной жидкости с примесями стекает в своеобразный резервуар, дном которого является фильтровальная бумага с сеткой. По мере накопления примесей уровень жидкости в резервуаре увеличивается и поднимает поплавок, который нажимает на выключатель. Последний включает электродвигатель, перемещающий сетку с использованной бумагой, на которой скопились отходы (примеси), и подающий новую порцию бумаги. Накопившаяся на бумаге жидкость с примесями отходов сбрасывается в специальный бак. Когда уровень жидкости понизится, поплавок отключает электродвигатель, процесс очистки повторяется.

Применяются также и комбинированные очистные аппараты, состоящие из магнитного и бумажного фильтров. Вначале жидкость проходит через магнитный фильтр, где задерживается металлическая стружка, а затем пропускается через бумажный фильтр.

Метод очистки жидкости при помощи центрифуги (рис. 16) основан на том, что использованная жидкость вместе с продуктами отходов шлифования (частицами абразивных зерен, связкой, металлической струж-

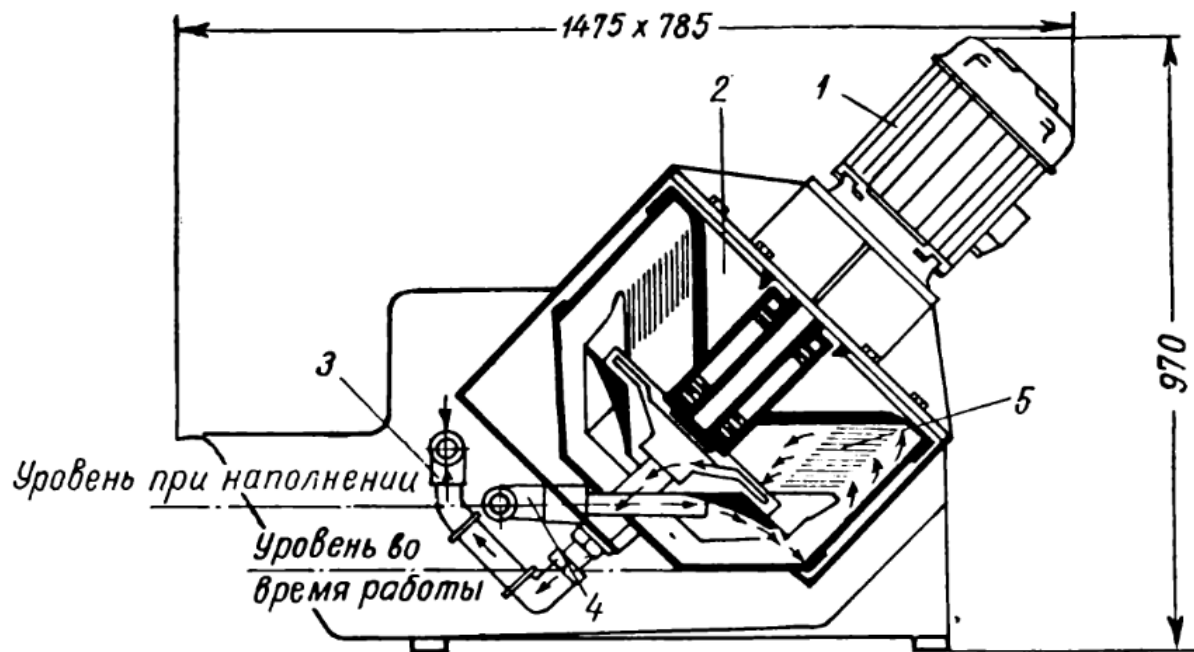


Рис. 16. Центрифуга для очистки смазывающе-охлаждающей жидкости

кой) центробежной силой отбрасывается на стенки установки, в результате чего твердые частицы остаются на стенках, а очищенная жидкость стекает и уходит через сеть в отстойник. Фильтрующие материалы, которые требуют периодической замены, в этой установке отсутствуют, что обеспечивает экономичность эксплуатации. Если в охлаждающей жидкости содержится 0,03% твердых примесей, то описанным методом удаляется 99,97% этих примесей (по зарубежным данным).

Центрифуга состоит из электродвигателя 1, соединенного непосредственно с ротором 2, имеющим конические пластинки 5 для извлечения мельчайших частиц и труб 4 и 3 для впуска и выпуска смазывающе-охлаждающей жидкости. Смазывающе-охлаждающая жидкость в процессе циркуляции проходит путь, указанный на рисунке стрелками. Осадки, отбрасываемые на стенки установки, удерживаются там и автоматически выгружаются в сливной

бак. Очистка жидкости начинается сразу же после включения центрифуги. Вся установка монтируется отдельно и присоединяется к станку.

Имеются и другие конструкции, когда в роторе вместо пластин предусмотрен мешок из плотной ткани, помещенный в перфорированный цилиндр. Твердые частицы, отброшенные центробежной силой, остаются на ткани, а жидкость вытекает через отверстия в цилиндре. При нормальных условиях шлифования установка освобождается от осадков два раза в день. Через отверстие в трубе жидкость после шлифования попадает в центрифугу.

Для устранения циркуляции смазывающе-охлаждающей жидкости и связанной с ней необходимости фильтрации на некоторых заводах применяют непрерывное охлаждение проточной водой из магистрали, вода после использования отводится в канализацию. Для исключения возможности образования коррозии на поверхности станка, куда попадает влага, наносятся предохраняющие покрытия, а обрабатываемые детали сразу после шлифования погружаются на некоторое время (в зависимости от их размеров) в раствор нитрита натрия.

14. ПРИСПОСОБЛЕНИЯ К ВНУТРИШЛИФОВАЛЬНЫМ СТАНКАМ

Закрепление обрабатываемых деталей на внутришлифовальных станках производится преимущественно с помощью самоцентрирующихся трехкулачковых патронов с ручным или механизированным зажимом, но при этом требуется тщательная выверка детали на отсутствие биения, которая осуществляется при помощи индикатора.

Конструкция и устройство таких патронов широко известны, преимущество их — универсальность, а их недостатки заключаются в большей по сравнению с другими патронами затрате времени на закрепление детали в связи с выверкой, в опасности деформирования при зажиме обрабатываемой детали, особенно тонкостенной, в относительно невысокой точности патрона вследствие износа спирали. В инструментальных цехах часто применяют планшайбы с закреплением обрабатываемой детали прихватами. Центрирование детали в этом случае осуществляют при помощи калибра, входящего своим передним концом во втулку, запрессованную в планшайбе.

При шлифовании отверстия большой длины один конец детали закрепляется в патроне, а другой — поддерживается люнетом. Кроме этого, крепление деталей большой длины, например, гильзы цилиндра двигателя внутреннего сгорания, может осуществляться в полом шпинделе (соответствующих размеров) бабки изделия или в специальных приспособлениях, связанных со шпинделем станка.

На универсальных внутришлифовальных станках для механизации зажима детали применяют нормализованные вращающиеся пневмокамеры двухстороннего действия, устанавливаемые на шпинделе станка и связанные с зажимным устройством для детали, которые монтируют с помощью переходной планшайбы на левом конце шпинделя.

В серийном и крупносерийном производстве, где используются внутришлифовальные станки универсальные, специализированные и полуавтоматы, обрабатываемые детали закрепляют с помощью цанговых, мембранных патронов и других специальных и механизированных зажимных устройств, а также приспособлений с применением гидропластмасс. Выбор той или иной конструкции определяется конфигурацией обрабатываемой детали и конкретными производственными условиями. Управление зажимными устройствами осуществляется с помощью пневматических или гидравлических приводов.

Магнитные патроны. В последнее время используются патроны с постоянными магнитами. Они весьма удобны, особенно в тех случаях, когда одновременно с обработкой внутренней поверхности необходимо шлифовать также и торцы детали. Такие патроны позволяют быстро закрепить короткие и тонкие детали без сложных зажимных приспособлений. С помощью этих патронов можно шлифовать отверстия в тонких кольцах или дисках без опасности деформации и сдвига детали с места в процессе обработки. Центрирование детали может осуществляться по кольцевым рискам, нанесенным на торцовую поверхность патрона, или по специальным приспособлениям. Подготовка детали для этой операции требует снятия фаски на торце (4—5 мм), соприкасающемся с патроном, которая обеспечивает свободный выход круга.

В Советском Союзе и за рубежом для крепления деталей типа колец, втулок при автоматизации процесса внутреннего шлифования на бесцентрово-шлифовальных станках широко применяется способ установки детали

в электромагнитном патроне с двумя неподвижными опорами. Одна из таких конструкций представлена на рис. 17.

Обрабатываемая деталь 5 устанавливается на двух неподвижных опорах (башмаках) 2, на которых она ориентируется своей наружной цилиндрической поверхностью, а торцом прижимается к упорной поверхности электромагнитного патрона 3, закрепляющего обрабатываемую

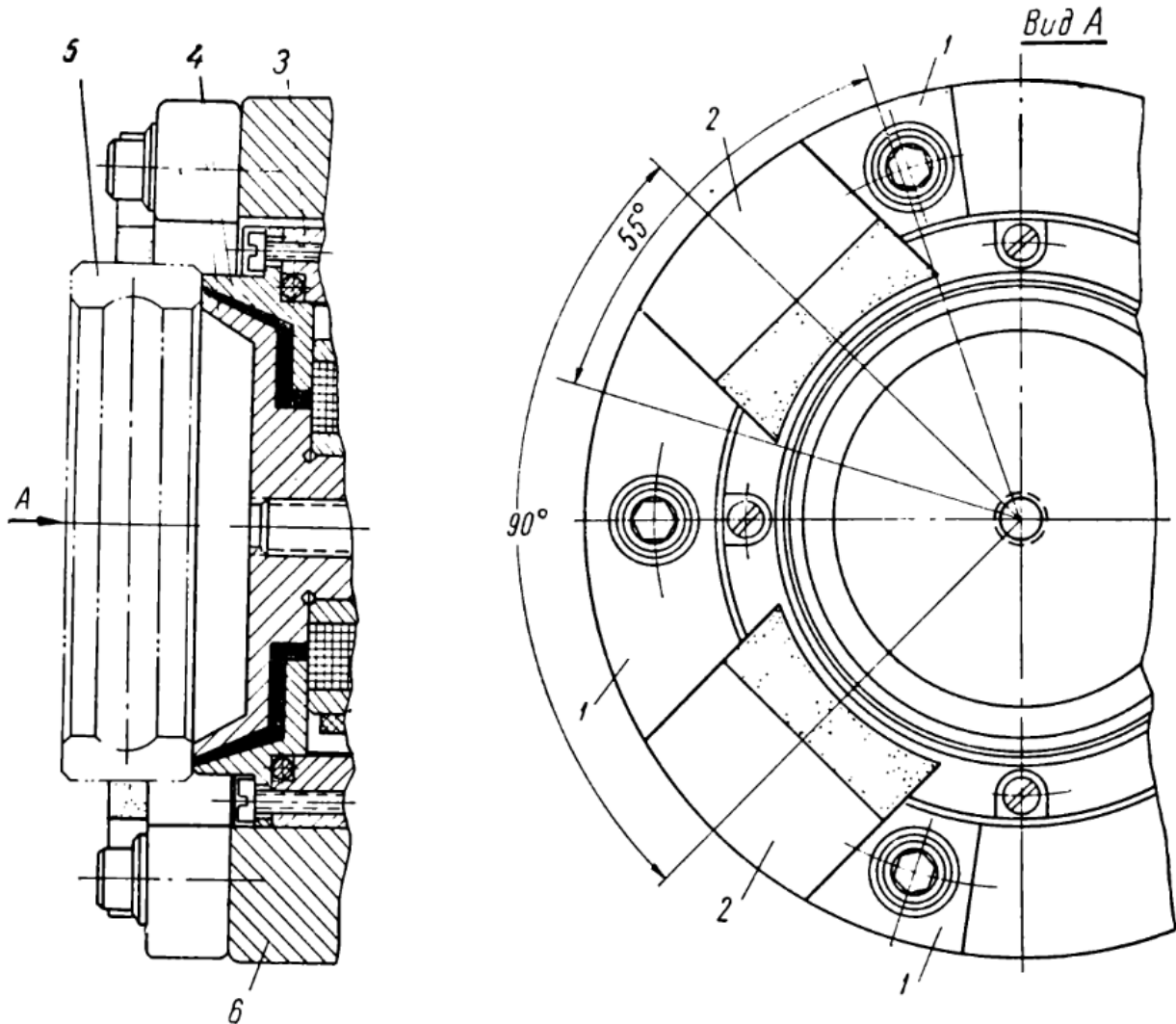


Рис. 17. Электромагнитный патрон с башмаками

деталь при включении магнита 4. (Залит черным цветом на рисунке немагнитный материал). Крепление электромагнитного патрона со шпинделем станка осуществляется через переходную планшайбу 6. Закрепление башмаков 2 на планшайбе патрона производится при помощи клиньев 1. Возникающие усилия при вращении шпинделя с обрабатываемой деталью обеспечивают ее прижим к неподвижным опорам и устойчивую установку относительно шлифовального круга.

Преимуществами данной конструкции являются ее простота, удобство наладки и стабильность, что сокращает

вспомогательное время, связанное с установкой и снятием детали, уменьшает погрешности по точности размеров и формы, а также разностенности и разгружает шпиндель бабки изделия от радиальных нагрузок. Следует учесть при этом, что точность формы обрабатываемого отверстия определяется точностью формы базовых поверхностей, т. е. некруглостью наружной поверхности и неперпендикулярностью базового торца к оси вращения этой поверхности.

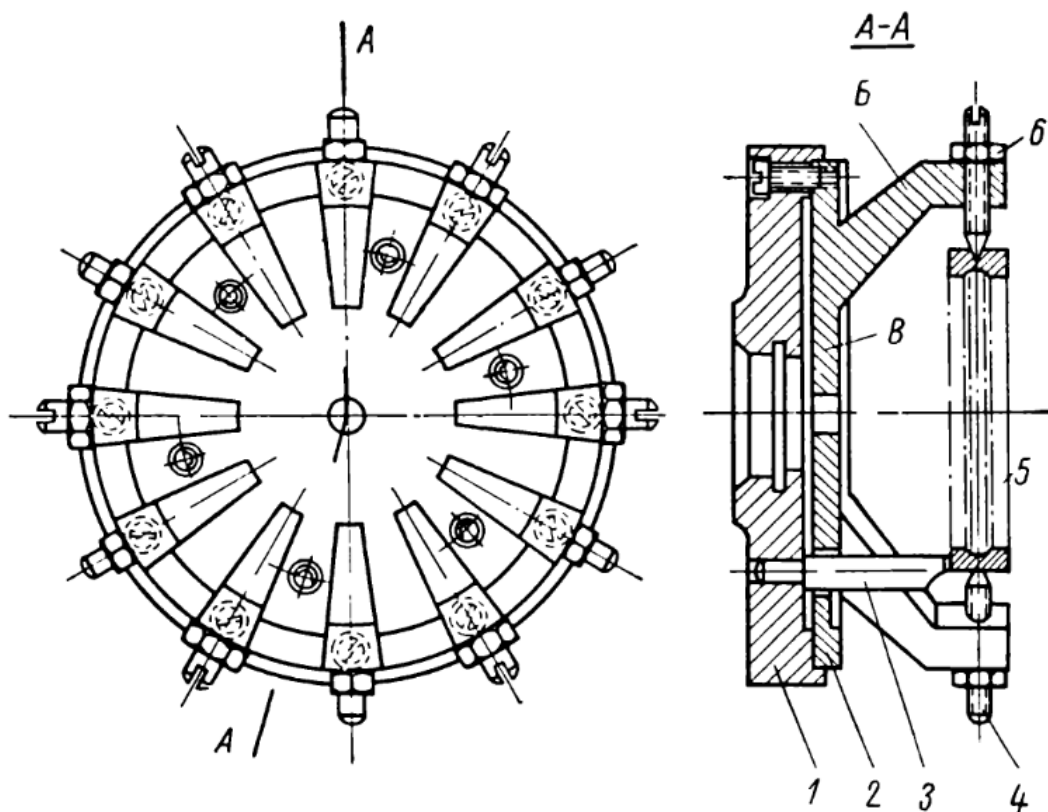


Рис 18. Винтовой мембранный патрон

Мембранные патроны. Эти патроны нашли широкое применение в практике внутреннего шлифования. Они отличаются простотой изготовления и обеспечивают высокую степень точности благодаря хорошему центрированию и малой деформации обрабатываемой детали при зажиме. При соответствующей наладке суммарная неточность станка и патрона при закреплении деталей может составить $0,004—0,005$ мм.

Обрабатываемая деталь крепится в мембранном патроне при помощи винтов, кулачков или роликов. Вследствие этого мембранные патроны делятся на винтовые, кулачковые и роликовые.

На рис. 18 представлен винтовой мембранный патрон. Мембрана 2 за одно целое с рожками Б

изготавливается из пружинной стали 65Г или из стали У7. При помощи винтов она крепится к планшайбе 1, навинчиваемой на фланец шпинделя станка. В рожки мембраны ввернуты зажимные винты 4, фиксируемые в нужном положении гайками 6. В осевом направлении положение обрабатываемой детали 5 определяется упорами 3, запрессованными в планшайбу. Когда мембрана собрана, винты 4 и упоры 3 подшлифовывают. Концы винтов шлифуют на такой размер, который был бы меньше окончательного размера наружного диаметра обрабатываемой детали на величину перемещения рожков или зажимных винтов, чтобы обеспечить закрепление детали.

Принцип действия винтового мембранного патрона заключается в следующем.

Для того чтобы вставить деталь в патрон, необходимо включить пневмопривод или механическое устройство. В результате этого шток давит на мембрану, которая, прогибаясь, вызывает поворот (разжим) рожков Б на некоторый угол. Зажимные винты 4, закрепленные в рожках, вместе с последними перемещаются в радиальном направлении на тот же угол. Диаметр окружности, по которой располагаются вершины винтов, в этом случае возрастает на величину перемещения зажимных винтов, вследствие чего шлифуемая деталь свободно проходит между ними.

Для обеспечения зажима необходимо, чтобы наружный диаметр закрепляемой детали был больше диаметра окружности, образованной вершинами винтов.

После прекращения действия штока на мембрану, она, а вместе с ней и рожки с винтами стремятся вернуться в исходное положение и тем самым зажимают обрабатываемую деталь. Усилие, необходимое для зажима детали, может быть определено расчетным путем, исходя из режимов обработки, жесткости обрабатываемой детали и ее конфигурации. В винтовых патронах можно закреплять детали диаметром от 10 до 300 мм.

Для крепления деталей с наружным диаметром в пределах 300—400 мм применяются кулачковые мембранные патроны, кулачки которых изготавливают отдельно и привертывают винтами. Точность работы таких патронов ниже вследствие дополнительного соединения в системе кулачки—мембрана. Но такая конструкция облегчает изготовление диска.

В винтовых мембранных патронах каждый из зажимных винтов своей заточенной вершиной действует на небольшую контактную площадку обрабатываемой детали, вследствие чего возможна неравномерная деформация при закреплении и деталь может принять овальную или другую искаженную форму. В этом случае при шлифовании отверстие получится круглым. Но при раскреплении отшлифованная деталь стремится вернуться в исходное положение, и отверстие может принять некруглую форму (особенно, если деталь тонкостенная). В случае обработки деталей, обладающих достаточной жесткостью, действующие зажимные усилия не вызывают искажения формы отверстия.

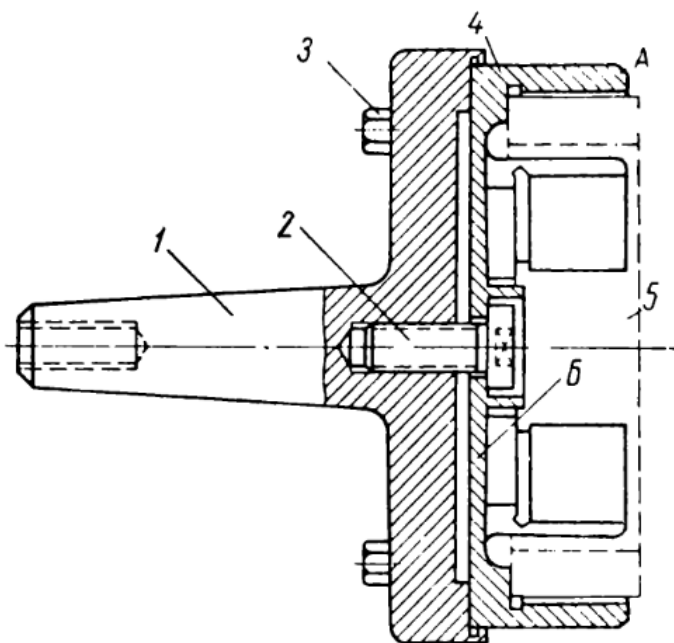


Рис. 19. Кулачковый мембранный патрон

При обработке тонкостенных деталей типа колец или втулок зажимные винты вызывают относительно большую деформацию закрепляемой детали.

Поэтому в таких случаях целесообразно применять кулачковые мембранные патроны. Конструктивная особенность их заключается в том, что вместо винтов используются кулачки, которые изготавливаются за одно целое с мембраной или отдельно и привертываются к ней. В таких конструкциях контакт обрабатываемой детали с кулачками осуществляется по всей или большей части длины поверхности, что вызывает равномерную и меньшую удельную нагрузку на контактную поверхность. Для повышения точности мембранного патрона толщина его диска должна быть не менее 8 мм.

Конструкция кулачкового мембранного патрона для зажима деталей типа колец приведена на рис. 19. Патрон состоит из оправки 1, нажимного винта 2 и мембраны 4, сцентрированной в выточке оправки по посадке $\frac{A}{C}$. Мембрана 4 скреплена с фланцем оправки винтами 3 и представ-

ляет собой тонкостенный диск *Б* с шестью выступами — кулачками *А* и работает как плоская пружина. После установки обрабатываемой детали *5* до упора, вращая нажимной винт *2*, прогибают мембрану, благодаря чему кулачки сближаются, надежно центрируют и зажимают деталь.

Широкое применение при шлифовании отверстий в цилиндрических и конических зубчатых колесах с прямым и спиральным зубом получили роликовые мембранные патроны. Основное преимущество таких патронов заключается в более точном центрировании зубчатого колеса при его зажиме по зубчатому венцу, простоте конструкции и длительном сроке службы патрона.

На рис. 20 приведена конструкция роликового мембранного патрона для крепления зубчатых колес. Обрабатываемая деталь *9*, базируемая по начальной окружности и торцу, устанавливается на шести роликах *8*, входящих во впадины между зубцами, и прижимается к торцу *А* сепаратора *7*. Ролики удерживаются в сепараторе спиральной пружинной *11*. Радиальное и угловое расположение роликов между собой позволяет центрировать положение детали.

Кулачки *5*, закрепляющие деталь через ролики *8*, при разведенном положении (в данном примере по диаметру $123,1$ мм) шлифуют при давлении в воздушной сети, равном 3 атм. У сепаратора *7*, прикрепленного на трех шпильках *13* к переходной планшайбе *2*, торец *А* обрабатывают после расшлифовывания кулачков.

Радиальное биение кулачков и торца *А* относительно оси патрона (шпинделя) после шлифования не должно быть более $0,01$ мм.

Переходная планшайба для обеспечения заданной геометрической точности патрона при посадке его на шпиндель *12* должна строго прилегать к конусу и торцу шпинделя. Закрепление патрона на шпинделе станка осуществляется при помощи шпилек *1*. Мембрана *4* центрируется в переходной планшайбе по плотной посадке в системе отверстия по 2-му классу точности и скрепляется при помощи шести болтов *3*. Для безопасности работы на станке предусмотрен кожух *10*. Кулачки *5* крепятся к рифленой поверхности мембраны *4* винтами *6*. Таким образом, путем перестановки кулачков по высоте можно в этом патроне закреплять зубчатые колеса разных размеров в известном интервале диаметров.

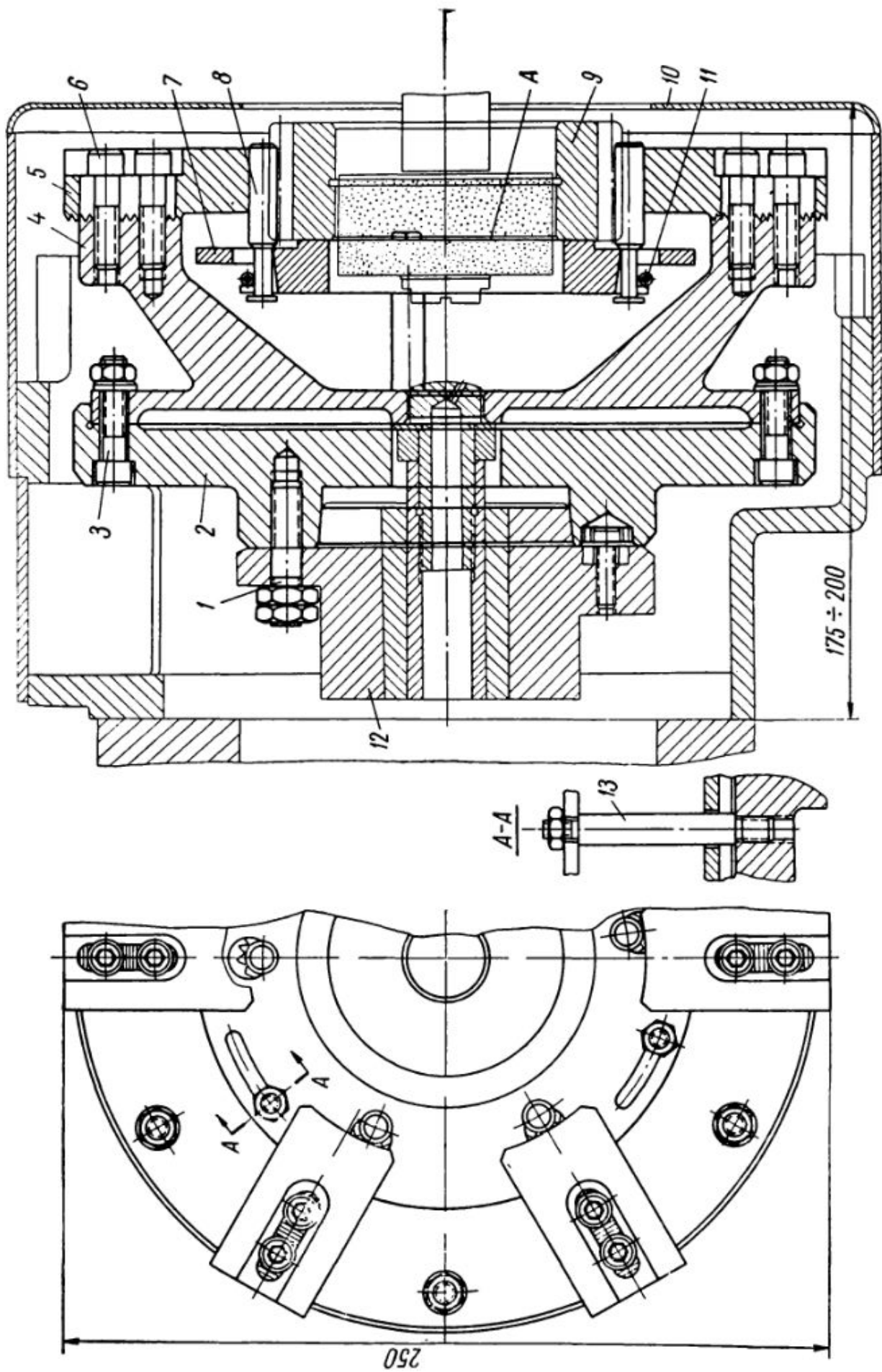


Рис. 20. Роликовый мембранный патрон

Для повышения точности роликового патрона при установке его на планшайбу посадочное гнездо в ней шлифуют непосредственно по установочному диаметру патрона так, чтобы последний входил в гнездо без зазора и опорный торец не имел биения.

Разжатие кулачков с роликами при зажиме детали, т. е. их отклонение от заданного положения, должно быть по возможности меньшим (практически рекомендуется не более 0,7 мм по диаметру). При шлифовании отверстий в зубчатых колесах на точность базирования влияет число роликов. При установке детали на шести роликах погрешности базирования уменьшаются в 1,5—2 раза по сравнению с установкой той же детали на трех роликах.

Перед установкой зубчатого колеса необходимо тщательно промыть ролики, зубчатый венец и патрон для удаления абразивной пыли и металлической стружки.

Приспособление для крепления гильз цилиндров. Гильза цилиндра представляет собой тонкостенную большой длины втулку, к которой предъявляются высокие требования по точности размеров (2-й класс) и формы (овальность, конусность и др.), а также по шероховатости. Крепление таких деталей в центрирующих патронах исключается, так как их невозможно зажать и выверить без биения. При радиальном направлении усилия зажима, что имеет место в случае крепления в кулачковом патроне, деталь деформируется, а при раскреплении (после шлифования) теряет форму правильной окружности. Крепление в самоцентрирующем патроне и люнете весьма сложно и трудоемко и не исключает деформации детали.

На рис. 21, а изображено приспособление для крепления гильз. Оно имеет сварной корпус 5, прикрепленный винтами 16 к переходной планшайбе 1, которая по конусу и торцу точно пригнана к шпинделю станка 18. В корпусе 5 по посадке $\frac{A_1}{D_1}$ установлены расшлифованные по месту сменные кольца 6, 7 или 8, которые винтами 4 скрепляются с корпусом (на рис. 21, а показано крепление кольца 6).

По цилиндрическим поясам гильза базируется в кольцах и одновременно упирается в торец кольца 6. Усилие зажима направлено вдоль оси детали, что исключает возможность деформации ее при закреплении. Зажим детали осуществляется следующим образом. При помощи переходника 3, связанного со штоком пневмопривода 17,

при его включении перемещается влево качалка 2, вызывая перемещение (в том же направлении) трех тяг 14, размещенных во втулках 11, 12 и 13. На правых концах тяг закреп-

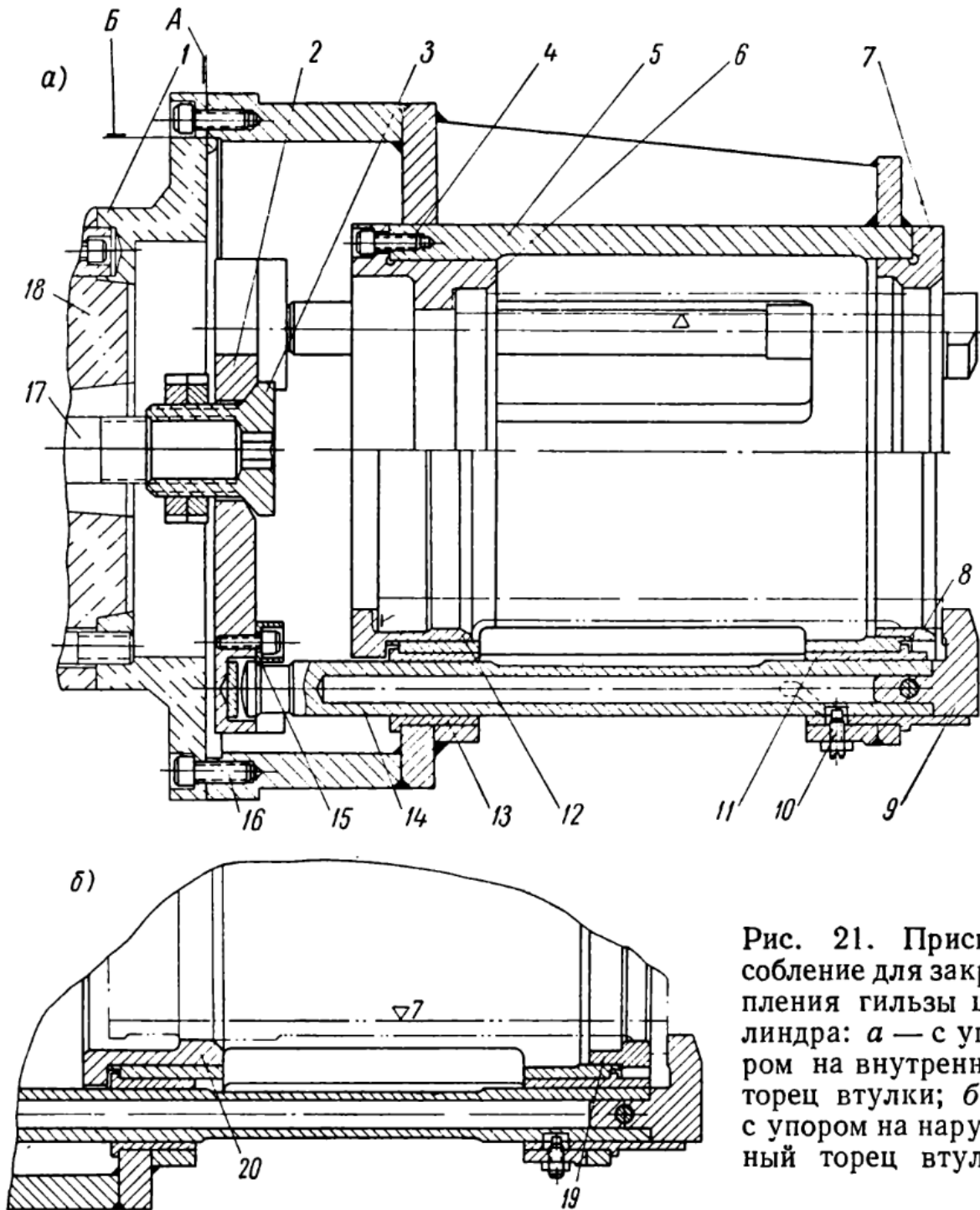


Рис. 21. Приспособление для закрепления гильзы цилиндра: а — с упором на внутренний торец втулки; б — с упором на наружный торец втулки

лены захваты 9, прижимающие обрабатываемую деталь к торцу кольца 6. На образующих тяг с правой стороны под углом 45° профрезерованы спиральные пазы, поэтому тяги с захватами при перемещении благодаря неподвижному винту 10 автоматически поворачиваются на нужный угол, обеспечивая тем самым зажим детали. При движении тяг в противоположную сторону захват поворачивается и освобождает деталь. Левые концы тяг закреплены в стаканах 15.

На рис. 21, б показано то же приспособление, но со сменными втулками 19 и 20, служащими для направления гильзы в корпусе. В этом случае гильза своим внутренним торцом буртика прижимается прихватами к опорной поверхности торца втулки 19.

Для обеспечения требуемой точности приспособления корпус 5 центрируется по заточке в переходной планшайбе по посадке $\frac{A}{C}$. При этом неперпендикулярность плоскости *A* относительно поверхности *B* в крайних точках и биение посадочных поверхностей колец относительно оси шпинделя составляют не более 0,03 мм. Окончательное шлифование поверхностей производится после монтажа приспособления на внутришлифовальном станке.

Патрон для крепления тонкостенных втулок. В серийном производстве при шлифовании отверстий тонкостенных втулок применяются патроны, в которых зажим обрабатываемой детали производится силами, действующими не в радиальном направлении, а в осевом. При закреплении такой детали в трехкулачковом самоцентрирующем патроне вследствие радиального направления сил происходит деформация обрабатываемой детали, а при раскреплении отверстие втулки получает некруглую форму.

На Одесском станкостроительном заводе им. С. М. Кирова * внедрена конструкция патрона с закреплением детали в осевом направлении (рис. 22). Деталь 4 устанавливается в выточку сменной втулки 5, расположенной в корпусе патрона 13. Зажим детали осуществляется с помощью быстросменного фланца 1 со сменной втулкой 3, которая закреплена во фланце винтами 2. Вращением нажимной гайки 11 влево перемещают пальцы 6, сжимая пружину 9, в результате чего создается необходимый зазор для беспрепятственной установки и снятия обрабатываемой детали. При вращении гайки 11 вправо под действием пружины 9 пальцы втягиваются в корпус вместе с фланцем 1, закрепляя при этом обрабатываемую деталь между торцовыми поверхностями *A* и *B*. Втулка 10 и гайка 7 ограничивают ход пальцев. Амортизаторами гайки служат три резиновые пробки 12. Кожух 8, обеспечивая безопасность работы, закрывает пружины.

* Х. Л. Ш и х е л ь м а н. Патрон для внутреннего шлифования. — «Машиностроитель», 1957, № 6.

В патроне данной конструкции можно шлифовать отверстия разных диаметров путем замены сменных втулок. При использовании такого патрона точность обработки

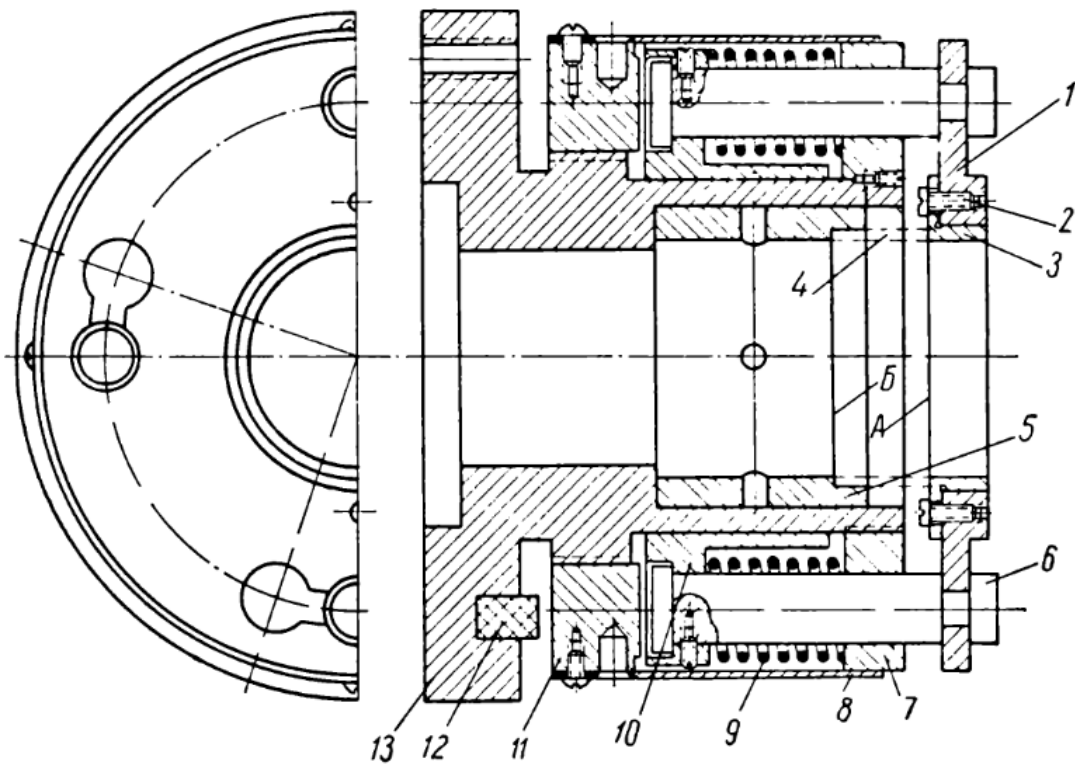


Рис. 22. Патрон для крепления тонкостенных деталей типа втулок

достигает 0,01 мм при значительном сокращении вспомогательного времени на закрепление детали.

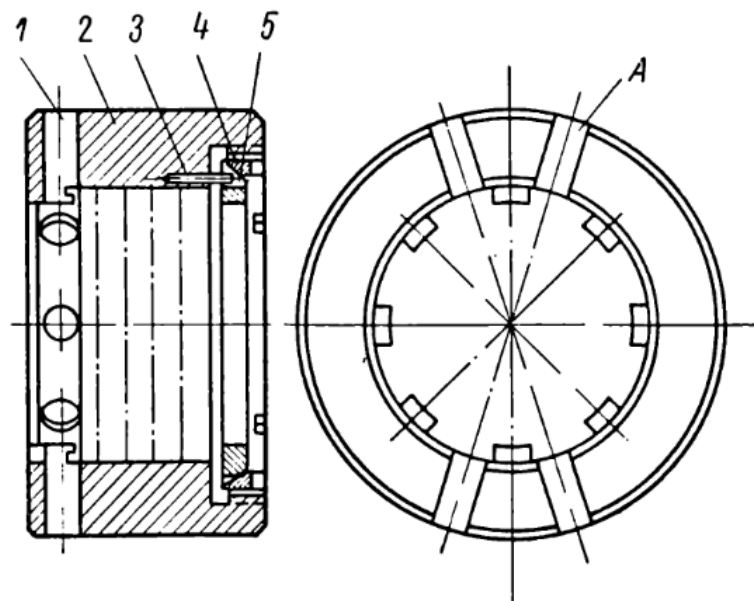


Рис. 23. Стакан для крепления тонкостенных и узких деталей типа колец

Для одновременного шлифования отверстий у группы узких тонкостенных деталей типа колец применяется специальный стакан (рис. 23), закрепляемый в мембранном патроне. В корпус 2 запрессованы упоры 1,

ограничивающие продольное перемещение закрепляемых в нем деталей. Закрепление колец производится вращением гайки 5 при помощи сферической шайбы 4, которая удерживается от проворачивания штифтом 3.

Пазы А на торце стакана удерживают его от проворачивания при закреплении деталей.

Размер отверстий колец при шлифовании на станке может контролироваться с помощью калибра выключения или двухконтактного измерительного устройства (по типу прибора П-53). Стакан подобной конструкции внедрен на 2-м ГПЗ.

Зажимной патрон с гидропластом. Для точного центрирования и зажима тонкостенных и особенно длинных деталей типа втулок при внутреннем шлифовании применяют зажимные патроны, полости которых заполнены пластической массой, сокращенно называемой гидропластом. При воздействии на эту массу внешней силой можно получить гидростатическое давление, которое равномерно передается на все стенки полости. При таком давлении происходит радиальная деформация тонкостенной оболочки втулки в пределах упругости.

В состав гидропласта входит полихлорвиниловая смола (10—20%), которая придает массе механическую прочность и нетекучесть. В то же время благодаря наличию смолы гидропласт мягок, хорошо передает давление, не прилипает к стенкам и не изменяется с течением времени.

Зажимной патрон (рис. 24) имеет корпус 1 и соединенную с ним тонкостенную втулку 2. Рабочая полость А между корпусом и втулкой заполнена гидропластом, герметична и соединяется с плунжерной камерой В. Отверстие Б предназначено для выхода воздуха при заполнении полости гидропластом. После заливки гидропласта оно закрывается резьбовой пробкой 3.

При перемещении плунжера 4 в рабочей полости А создается значительное гидравлическое давление, которое передается равномерно на оболочку тонкостенной втулки 2. Втулка деформируется в радиальном направлении, благодаря чему происходят центрирование и зажим обрабатываемой детали.

Применение патрона с гидропластом исключает деформацию обрабатываемой детали при зажиме, обеспечивая высокую точность ее центрирования. Такой патрон

отличается компактностью, простотой изготовления и быстро может быть соединен со шпинделем бабки изделия.

Концентричность шлифуемого отверстия относительно наружной поверхности, используемой в качестве базы, обеспечивается в пределах 0,005—0,01 мм.

Приспособление для шлифования глухих отверстий. В практике шлифование глухих отверстий в деталях представляет значительные трудности. На рис. 25 представлена

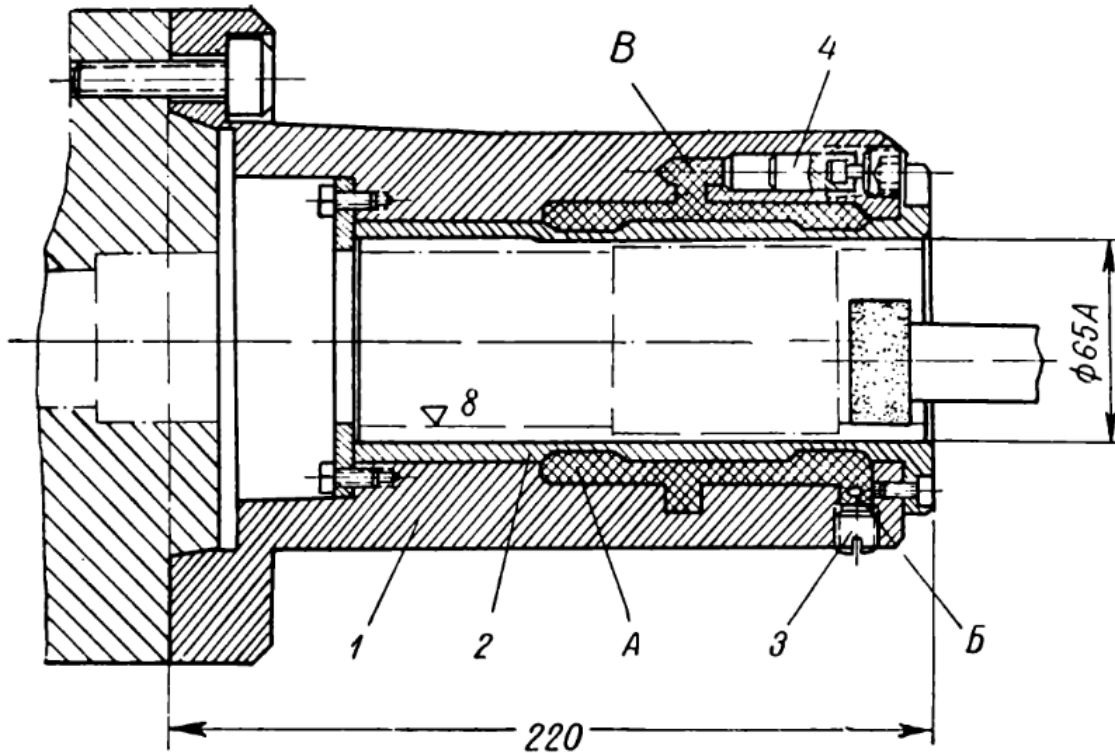


Рис. 24. Зажимной патрон с гидропластом

одна из сложных деталей бурового инструмента — шарошка долота, в которой после термообработки до *HRC* 57—60 шлифуют систему соосных цилиндрических отверстий с прямолинейными и радиальными образующими — беговыми дорожками подшипника качения. Несосность дорожек составляет не более 0,02 мм, конусность — не более половины допуска на диаметр, овальность находится в пределах допуска на диаметр беговой дорожки.

По существующей технологии шлифование отверстий в шарошке производится с одной установки на специальном внутришлифовальном станке 3А250С19, снабженном револьверной головкой с тремя шпинделями. По методу продольной подачи в первой позиции шлифуют поверхность 1 (рис. 25), во второй — поверхность 3 кругами разных диаметров формы ПП. В третьей позиции

поперечным перемещением шлифовального круга формы ПП, заправленного на радиус, обрабатывают поверхность 2. Основной недостаток такой технологии — дифференциация операции, правка круга вручную и сложность выполнения всех требований по точности размеров и формы, а также соосности, обусловленных техническими требованиями. Наиболее рационально было бы одновременное шлифование всех трех поверхностей в один переход набором шлифовальных кругов и правкой их алмазным роликом.

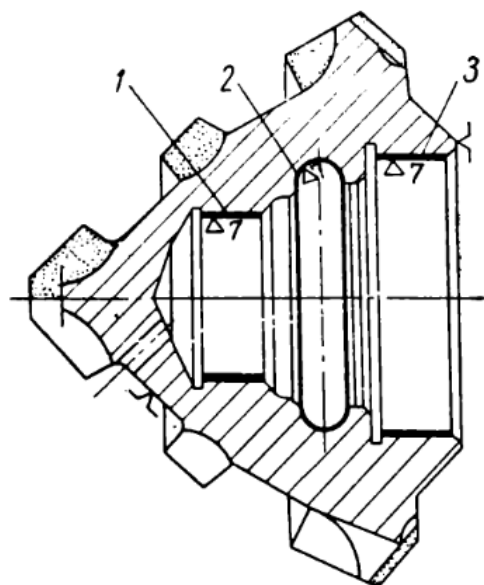


Рис. 25. Шарошка долота

Закрепление детали производится в специальном приспособлении (рис. 26) с применением пробки для центрирования шарошки при ее установке. Шарошка пропускается через окно в корпусе 1 и центрируется пробкой по диаметру ранее расточенного отверстия. Пробка, вводимая в обрабатываемую деталь вручную при помощи рукоятки 13, направляется через точное отверстие во втулке 8. Затем при помощи самоустанавливающейся конусной тарелки 3, соединенной со штоком пневмопривода, пальцем 2 поджимают и базируют обрабатываемую деталь к торцу втулки 8, закрепленной в корпусе 1 по посадке $\frac{A}{D}$. После этого пробка Б (в сборе) удаляется. Как видно из рис. 26, центрирование обрабатываемой детали пробкой производится при помощи трех кулачков 6, направляемых в точных отверстиях втулки 4 при перемещении валика 9, в котором соответственно профрезерованы три паза.

При помощи рычага 12, шарнирно связанного с рукояткой 13, производят перемещение валика 9, а тем самым и кулачков для фиксации положения детали. Кольцевой пружиной 7 при перемещении валика 9 вправо кулачки 6 сближаются. Валик 9 направляется в точных отверстиях корпуса 4 и втулки 11.

Кулачки 6 шлифуют в сборе при их фиксированном (с помощью винтов) положении, при этом биение кулачков допускается не более 0,02 мм. Валик при шлифовании кулачков закрепляется винтом 14. Перемещение валика 9

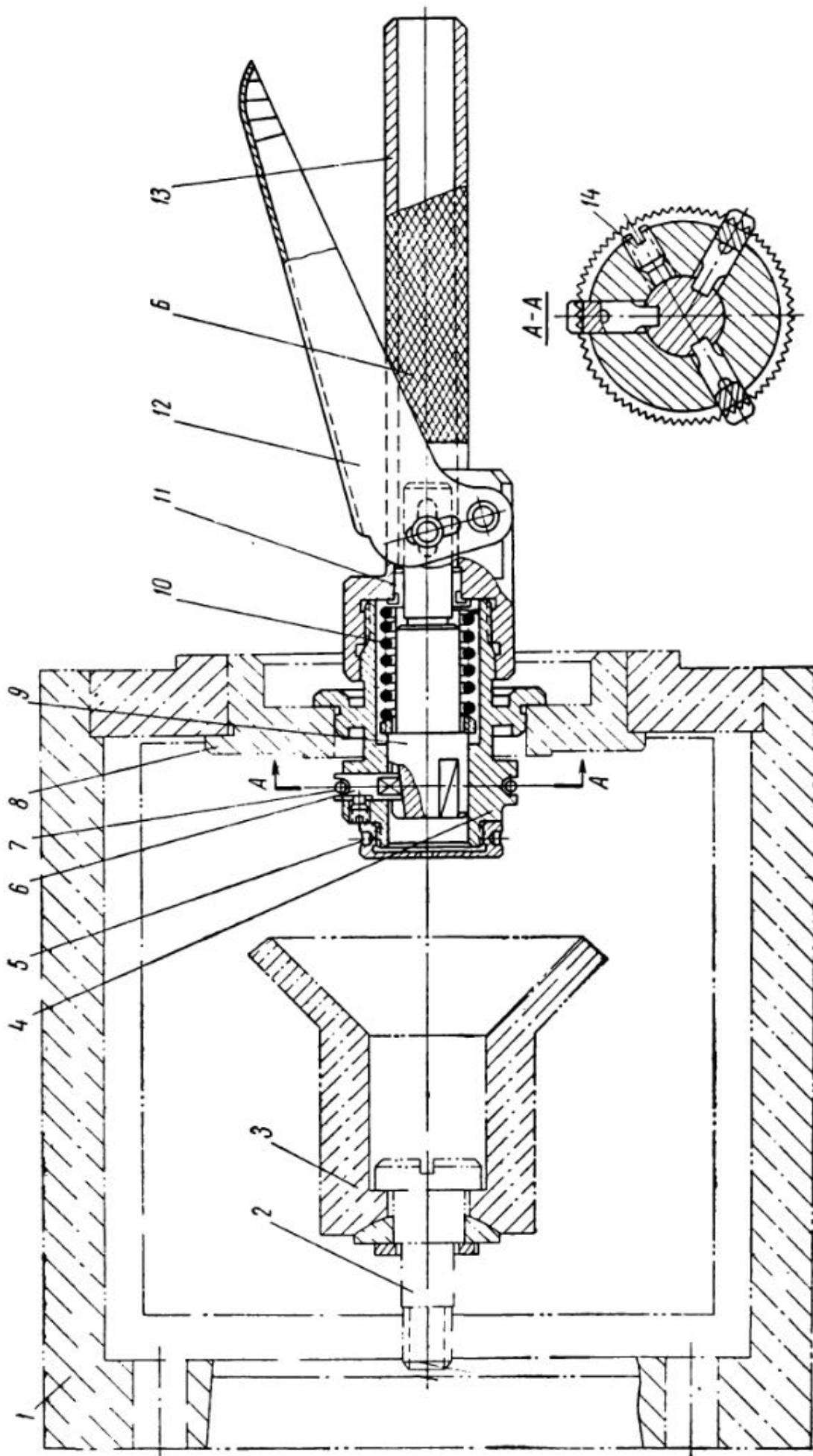


Рис. 26. Приспособление для центрирования и закрепления шарошки, показанной на рис. 25

ограничено круглой гайкой 5, а его возврат осуществляется пружиной 10. Имеются такие конструкции, где вместо ручной пробки Б для центрирования шарошки применяется пневматическая.

Приспособление для правки кругов. Шлифование системы соосных глухих отверстий в детали, показанной на рис. 25, усложняется необходимостью частой правки шлифовальных кругов различных диаметров и профилей. При отсутствии специального приспособления или правящего ролика (желательно алмазного), операция правки является весьма трудоемкой и требует высокой квалификации рабочего.

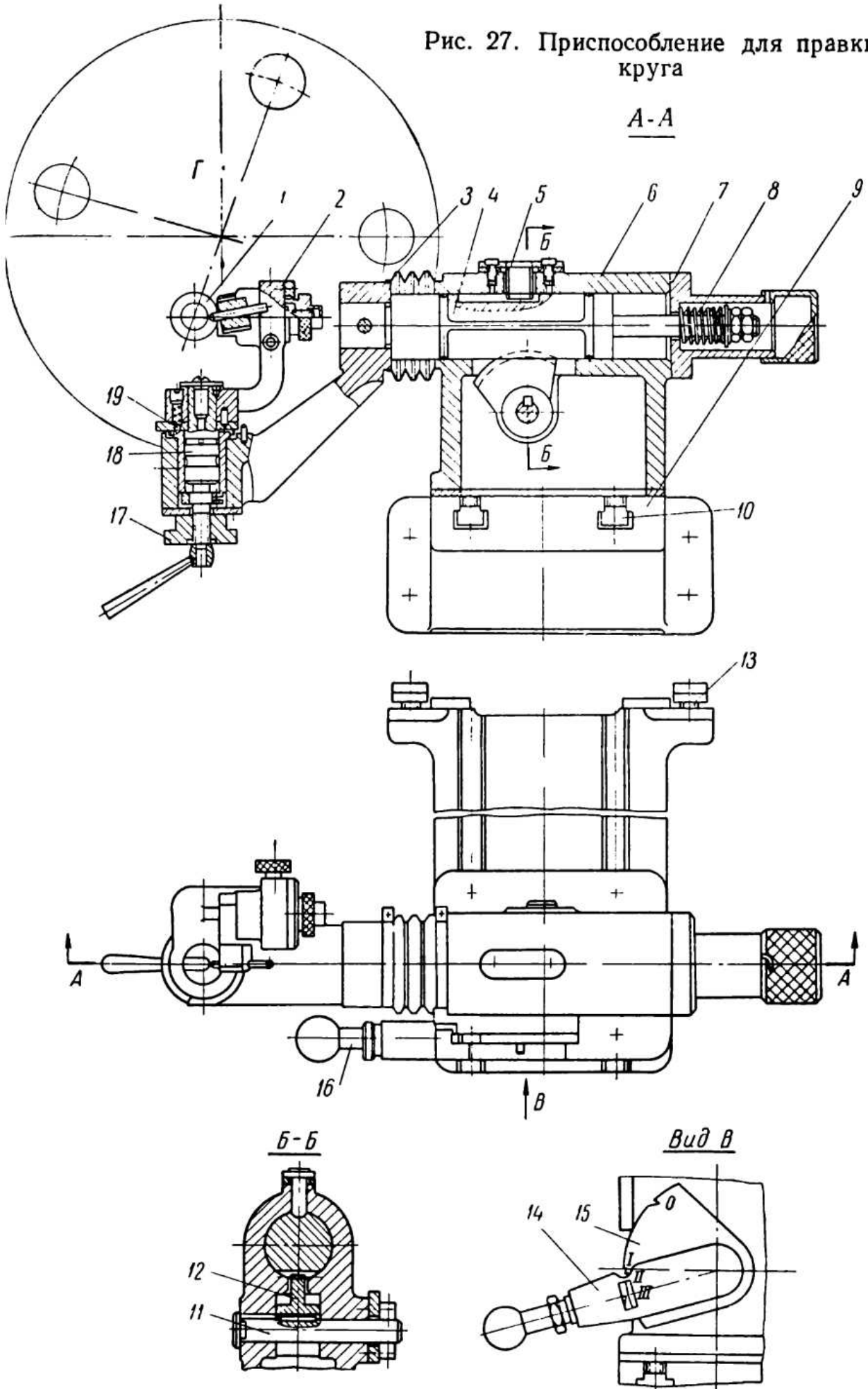
На рис. 27 представлена конструкция приспособления для механизации процесса правки соосно расположенных кругов. Оно устанавливается на внутришлифовальном станке 3А227. На секторе 15 выфрезерованы впадины 0, I, II и III, фиксирующие при западении в них собачки подвод в определенное положение алмазной головки с закрепленным в ней алмазным карандашом 1 или алмазом для правки шлифовального круга данного диаметра. Положение 0 соответствует крайнему правому положению штока, а положения I, II и III — отдельным размерам шлифовальных кругов для обработки различных позиций шарошки.

Подвод алмазной головки к кругу осуществляется после оттяжки фиксатора 16, западающего в соответствующую впадину сектора 15, при помощи поворота рукоятки 14. Сектор 15 свинчен с корпусом 6. При повороте рукояткой 14 валика 11 соответственно повернется закрепленный на валике зубчатый сектор 12 и переместит шток-рейку 4 в заданное положение для правки соответствующего круга. Положение шпинделей станка с закрепленными шлифовальными кругами на рис. 27 обозначено буквой Г. Перемещение штока-рейки должно быть плавным без рывков и заеданий при приложении небольшого усилия к рукоятке 14. Возврат штока осуществляется пружиной 8, а постоянство углового положения штока сохраняется при помощи специальной шпонки 5. Соединение штока 4 с отверстием в кронштейне 9 выполнено по посадке $\frac{A}{C}$.

Для предохранения от абразивной пыли корпус закрыт слева гофрированным кожухом из масло-бензостойкой

Рис. 27. Приспособление для правки круга
 круга

A-A



резины, а справа — крышкой 7. На цапфе штока при помощи конического штифта зафиксирован в определенном положении кронштейн 3, несущий механизм поворота правящего алмаза. Для поворота алмаза на 90° при необходимости править торцовую поверхность шлифовального круга освобождают гайку 17 и поворачивают валик 18 до западания фиксатора 19 в гнездо. На кронштейне 2 установлен узел крепления алмазного карандаша для правки кругов. Для крепления приспособления использован кронштейн 9, являющийся принадлежностью аппарата правки станка 3А227. При помощи сухариков 10 и винтов 13 положение кронштейна 9 с приспособлением для правки можно регулировать по высоте. Микрометрическая регулировка положения правящего инструмента и подача на глубину врезания при проходах правки осуществляется при помощи лимба станка. При соответствующей реконструкции узла кронштейна 2 поворот правящего инструмента на необходимый радиус может быть осуществлен в зависимости от требуемого радиуса профиля шлифовального круга.

15. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ВНУТРИШЛИФОВАЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Шлифование отверстий является трудоемкой операцией. Поэтому вполне естественно стремление механизировать и автоматизировать эту операцию. Современные внутришлифовальные станки оборудованы механизмами автоматической поперечной подачи типа кулачковых. Эти механизмы могут сообщать поперечным салазкам шлифовальной бабки или бабки изделия непрерывную, постоянно снижающуюся по величине подачу.

Наибольшее значение подача имеет при входе круга в отверстие, а нулевое (выхаживание) — при достижении заданного размера.

Цикл шлифования выполняется за один полный оборот кулачка, соответственно спрофилированного. Подачи для чернового и чистового шлифования могут осуществляться (после наладки) по автоматическому циклу без участия рабочего. Продолжительность цикла (время одного оборота кулачка) устанавливается при помощи сменных шестерен или изменяется бесступенчато от гидропривода или от электродвигателя постоянного тока.

Для полной автоматизации процесса необходимо обеспечить станки средствами активного контроля, т. е. механизмами, управляющими процессом шлифования по результатам измерения; настройкой механизма подачи до упора или по копиру, а также загрузочными устройствами для автоматической подачи детали в зону обработки из бункера, магазина, лотка или другого устройства и отвода по разгрузочному лотку в приемное устройство или в бункер.

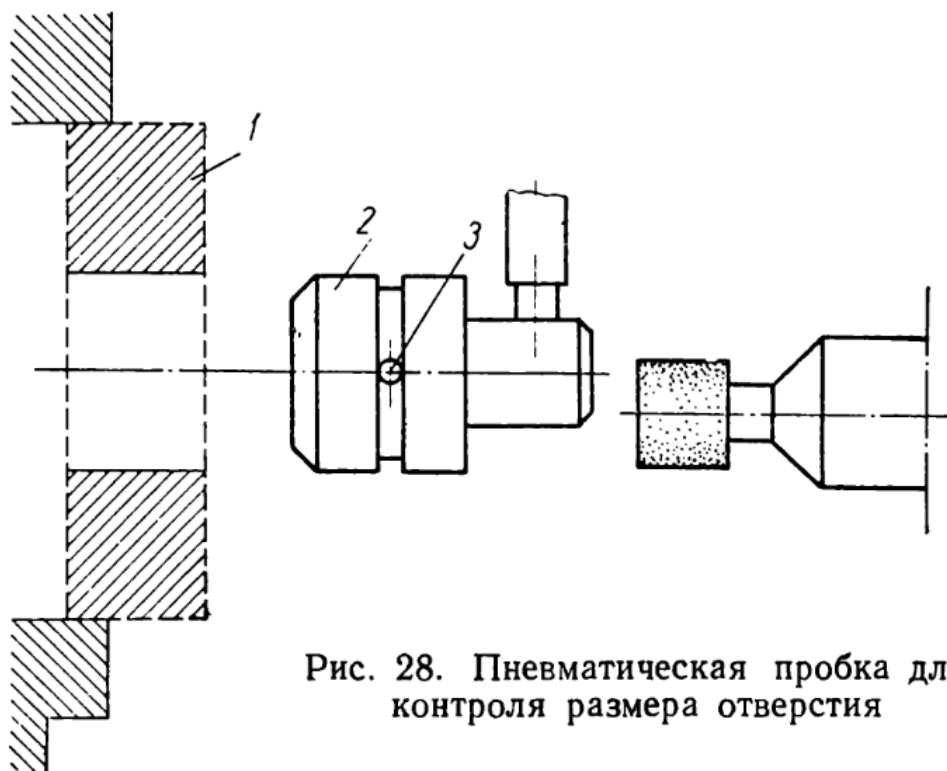


Рис. 28. Пневматическая пробка для контроля размера отверстия

В зависимости от уровня механизации и автоматизации могут применяться различные устройства, контролирующие размер отверстия при шлифовании.

На рис. 28 показана пневматическая пробка 2 для измерения диаметра шлифуемого отверстия в детали 1. Ее действие основано на зависимости между расходом воздуха, вытекающего под давлением из измерительных сопел 3, и величиной зазора между торцами сопел и поверхностью измеряемого отверстия. Пробка соединена (на рис. 28 не показано) с измерительным прибором. При изменении диаметра обрабатываемого отверстия изменяется и расход воздуха, проходящего через сопла пробки, что оценивается на смотровой трубке; поплавки опускается при увеличении диаметра шлифуемого отверстия или поднимается при уменьшении его. По пределам допуска шлифовщик имеет возможность также отсчитывать фактическую величину отклонений.

Для измерения отверстий в процессе шлифования без остановки станка применяется рычажное одноконтактное приспособление, которое изображено на рис. 29. Отклонение отверстия обрабатываемой детали 1 передается миниметру 4 через угловой рычаг 2 с износостойким измерительным наконечником 6. Отвод рычага при смене шлифуемой детали производится поворотом корпуса 5. Измерительное усилие создается пружиной 3.

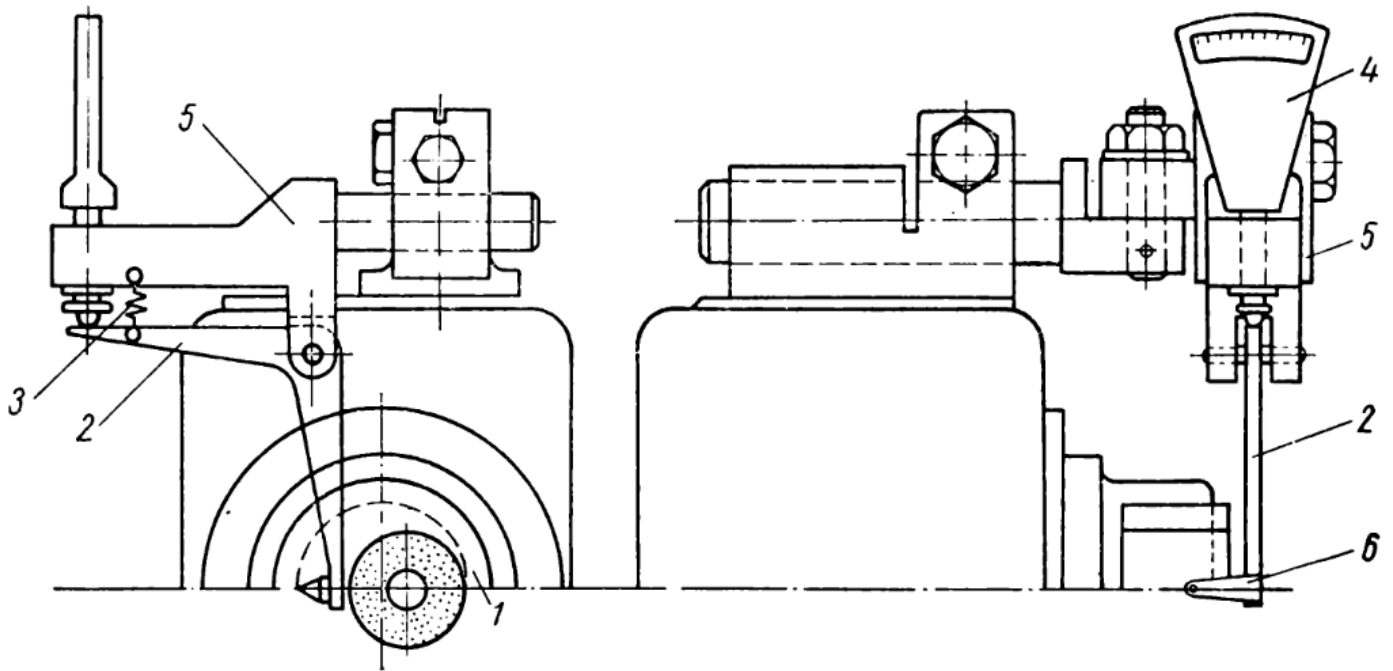


Рис. 29. Рычажное одноконтактное приспособление для измерения отверстия в процессе шлифования

Недостатком такого приспособления является его чувствительность к биению шпинделя бабки изделия и отжиму в процессе обработки. Поэтому оно применяется главным образом для контроля отверстий малых диаметров, у которых свободное пространство между шлифовальным кругом и измеряемой поверхностью мало.

На рис. 30 дана схема прибора П-53 (конструкция С. М. Мазина), общий вид которого показан на рис. 8. Прибор предназначен для измерения отверстий диаметром 35—150 мм. Измерительные наконечники 1 и 2, укрепленные на рычагах 3 и 8, поворачивающихся вокруг осей 4 и 5, под действием пружины 7 соприкасаются со шлифуемой поверхностью детали. Рычаг 6, соединенный с концом рычага 3, передает суммарное перемещение обоих наконечников миниметру (пятка рычага 6 в точке А упирается в рычаг 8).

Движение пятки *Б* суммирующего рычага может передаваться на стрелочный прибор или электроконтактный датчик.

Преимущества такого прибора перед другими заключается в том, что не требуется его точная фиксация в вертикальном направлении, а точность измерения не зависит от биения или отжима детали, а также от силовых и тепловых деформаций технологической системы (за исключением деформаций самой детали, вызванных нагревом).

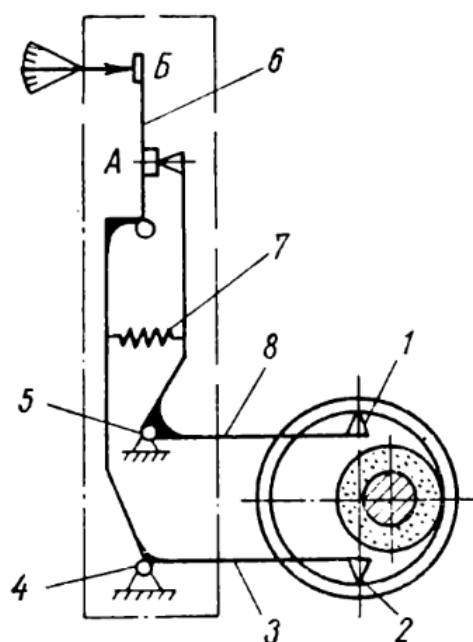


Рис. 30. Схема измерительного прибора П-53, общий вид которого показан на рис. 8

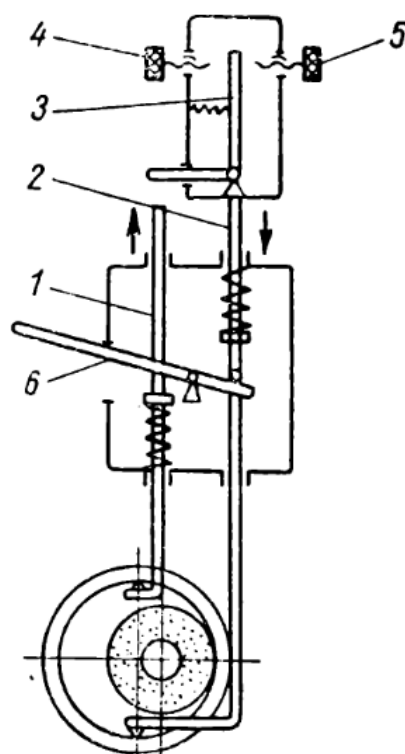


Рис. 31. Схема двухконтактного прибора с электроконтактным датчиком

Настройку прибора производят по эталонной детали, закрепленной в патроне (или в приспособлении). Правильность настройки проверяют по стабильности показаний, для этого прибор несколько раз вводят и выводят из эталонной детали, приводя ее во вращение. Нестабильность показаний допускается не более $0,002$ мм.

В практике используют также двухконтактные приборы с электроконтактным датчиком.

Схема одного из таких приборов представлена на рис. 31. Прибор состоит из стержней *1* и *2*, перемещающихся в направляющих втулках прямолинейно вверх и вниз при изменении размера шлифуемого отверстия.

Корпус датчика с электроконтактами 4 и 5 связан со стержнем 2. Контактный рычаг 3 суммирует перемещение стержней при их движении по направлениям, показанным стрелками. Измерительный наконечник рычага 3, расположенный над стержнем 1, при черновом шлифовании не касается контактного рычага, другой конец которого под действием пружины прижимается к контакту 4. По мере удаления припуска стержень 2 опускается, а стержень 1 поднимается и, соприкасаясь с контактными рычагом 3, заставляет его отойти от контакта 4, давая тем самым команду механизму станка на переключение с черновой подачи на чистовую. По мере дальнейшего снятия припуска (под чистовое шлифование) и связанного с этим перемещения стержней 1 и 2 рычаг 3 касается контакта 5 и подача выключается. Рычаг 6 служит для ручного перемещения стержней 1 и 2.

Автоматизация работы внутришлифовального станка основана на применении активного контроля. В этом случае контрольное ощупывающее устройство «наблюдает» за размером шлифуемого отверстия и по достижении заданного размера дает команду исполнительным органам станка на правку круга, его отвод и выключение станка.

Станок снабжен специальным двухступенчатым калибром-пробкой, который расположен слева в бабке изделия между обрабатываемой деталью и шпинделем и вращается вместе с ним. Калибр входит в отверстие со стороны, противоположной кругу.

При каждом выходе круга калибр автоматически подходит к шлифуемому отверстию детали, стремясь войти в него. Когда отверстие достигает определенного размера, черновой калибр войдет в отверстие, в это время и происходят необходимые переключения, при которых круг выводится из отверстия и подводится под алмазный инструмент для правки. Далее следует чистовое шлифование, которое заканчивается в тот момент, когда чистовой калибр войдет в обрабатываемое отверстие, что соответствует достижению окончательного размера отверстия. Управление станком при автоматизации контроля — электрическое, но может быть и механическое, если применить соответствующее устройство.

При шлифовании глухих или конических отверстий применять описанный метод контроля нельзя.

На рис. 32 приведен пример наладки станка для шлифования отверстия и торца зубчатого колеса. Обрабатываемая деталь 10, установленная по упорам 11, с помощью роликов закрепляется в мембранном патроне 13, который центрируется в выточке планшайбы 7 и закрепляется винтами. После закрепления детали круг вручную подводят к обрабатываемой поверхности и включают самоход. Далее процессом управляет механизм активного контроля.

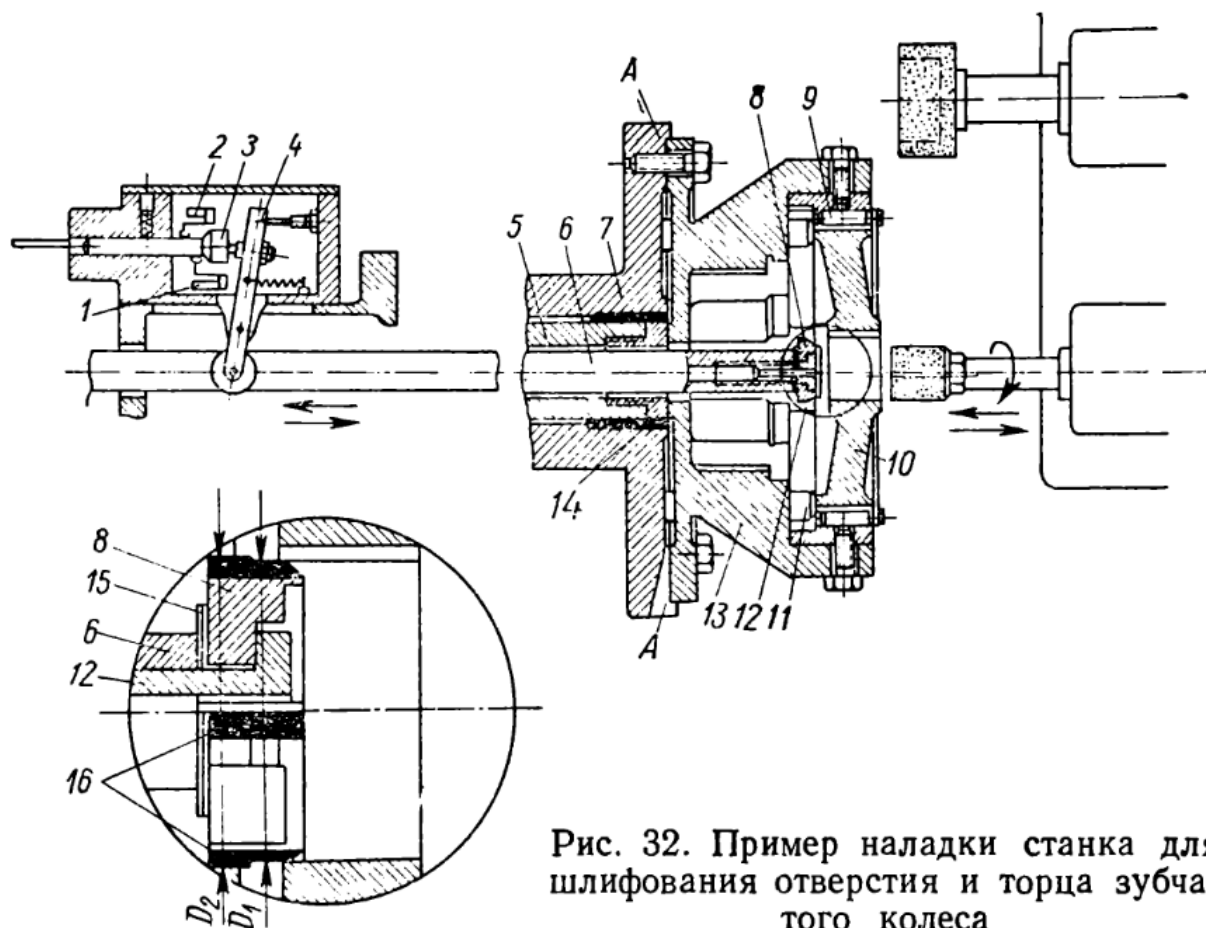


Рис. 32. Пример наладки станка для шлифования отверстия и торца зубчатого колеса

Шток 6 с установленным на нем двухступенчатым калибром 8 при своем возвратно-поступательном движении в полем шпинделе бабки изделия подводит калибр к обрабатываемому отверстию. В калибре-пробке одна ступень D_1 соответствует черновому размеру, другая ступень D_2 — чистовому. Когда при черновом шлифовании достигается размер, соответствующий ступени калибра D_1 , он входит в отверстие и через рычаг 4 и плунжер 3 размыкает с помощью микровыключателя 1 контакт в электроконтактной головке, и подает команду на правку круга. После правки шлифование продолжается до достижения окончательного размера. Когда ступень калибра с размером D_2 полностью войдет в измеряемое отверстие с помощью микровыключателя

чателя 2, размыкается контакт и дается команда на отход круга в исходное положение.

На станках, снабженных автоматизированными загрузочными механизмами, вхождение чистовой ступени калибра в отверстие вызывает также команду на автоматическое удаление обработанной детали с последующей загрузкой и закреплением очередной детали в зажимном устройстве станка. Для повышения точности измерения калибр выполняется «плавающим», благодаря чему он сам направляется в шлифуемом отверстии.

Возможность самоустанавливаться калибр получает благодаря зазору ($\sim 0,5$ мм) между штоком 6 и направляющей втулкой 14, а также зазору (0,05 мм) между диаметром болта 12 и посадочным отверстием в калибре 8. Резиновая прокладка 15 предохраняет соединение от проникновения абразивной пыли. Калибр снабжен конусной заборной частью для направления при входе, а твердосплавные вставки 16, связанные с кольцом калибра 8, служат для уменьшения износа.

Передвижением штока 5 пневмоцилиндра вправо диск мембранного патрона прогибается, вызывая перемещение кулачков с роликами 9, вследствие чего обрабатываемая деталь легко снимается. Скос А предусмотрен для очистки патрона от абразивной пыли.

По опыту автомобильного завода им. Лихачева применение двухступенчатого калибра надежно обеспечивает точность контроля отверстий 2-го класса при шлифовании как гладких отверстий, так и со шпоночными канавками.

При модернизации внутришлифовальных станков более целесообразна система контроля размеров с применением приборов индикаторного типа, в том числе со встроенными электроконтактными, пневматическими или другими датчиками.

Применение измерительного устройства с двухступенчатым калибром при модернизации может не оправдать себя в связи с большими переделками в конструкции станка. Жесткий калибр не следует применять при автоматизации измерения отверстий диаметром 80 мм и выше, так как калибровое устройство в этом случае становится слишком массивным.

При больших диаметрах отверстий зазор между шлифовальным кругом и отверстием столь значителен, что в нем легко размещаются наконечники.

При бесцентровом внутреннем шлифовании деталей с установкой их на башмаках применение жесткого калибра может вызвать при его вводе в отверстие осевую силу, что недопустимо при данном способе крепления деталей.

К недостаткам жесткого калибра также следует отнести быстрый износ и невозможность визуального наблюдения за измеряемым диаметром отверстия.

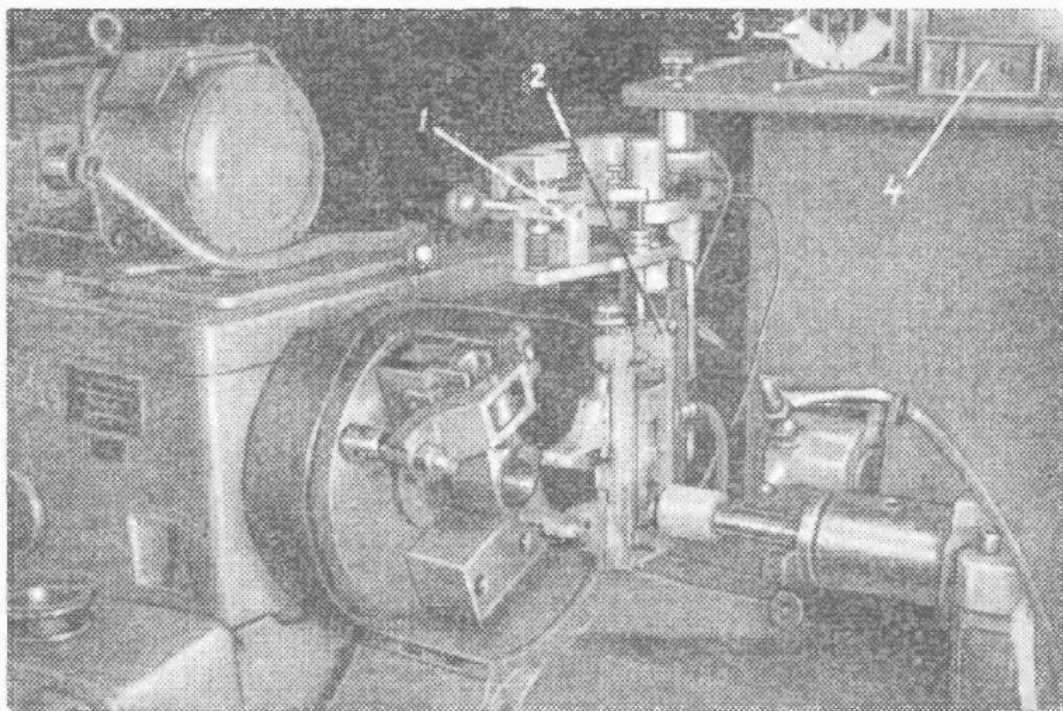


Рис. 33. Пример установки устройства БВ-4025 на станке 3А227

Измерительное устройство БВ-4025 (рис. 33) может быть применено на станке модели 3А227 для контроля отверстий в процессе обработки и для управления циклом по мере снятия припуска на шлифование отверстия.

Прибор построен по принципу пневмоэлектрического метода измерения и состоит из следующих узлов: подводящего устройства 1, измерительной скобы 2, пневмоэлектрического датчика 3, имеющего отсчетное устройство БВ-6017-4к со светофором, и электронного блока 4, а также не показанной на рисунке нормализованной аппаратуры для очистки сжатого воздуха и стабилизации его давления.

На внутришлифовальном станке 3А227 данный прибор может быть использован как показывающий (визуальный),

так и контрольный (для автоматического контроля). Визуальный контроль производится по шкале пневмоэлектродатчика с ценой деления 0,001 мм. Автоматический контроль осуществляется подачей команды исполнительным органом станка для перехода с одного режима на другой и быстрого отвода и остановки шлифовальной бабки при достижении заданного размера.

Установка на станке 3А227 подвески (устройства для подвода и отвода измерительной скобы) производится при помощи переходника, закрепленного на плите аппарата правки шлифовального круга.

В качестве подвески использован базовый механизм для внутришлифовального станка модели ЛЗ-8 производства завода «Калибр». Точность измерения во многом зависит от правильности установки на станке подвески и стабильности ее работы.

После закрепления каждой детали губки измерительной скобы, связанные с подвеской, вводятся в шлифуемое отверстие и выводятся из него по окончании обработки.

Прибор работает следующим образом. Сжатый воздух из сети под давлением 4—6 кг/см² для очистки от влаги, масла и механических примесей проходит через воздушный фильтр, блок фильтра и стабилизатор давления и поступает в пневмоэлектрический датчик БВ-6017-4к. Через сопла воздух проходит в оба сильфона. Один сильфон соединен с соплом измерительной скобы, а другой — с соплом противодавления датчика.

Таким образом, прибор представляет собой дифференциальную пневматическую систему, которая позволяет производить измерение за счет разности давления в двух пневматических сильфонах.

Изменение размера шлифуемого отверстия приводит к изменению зазора s (рис. 34) между соплом и торцом винта измерительного устройства, вследствие чего изменяется давление воздуха в сильфоне, соединенном с измерительным устройством, что вызывает перемещение каретки сильфонов, замыкающей или размыкающей соответствующие контакты. Электрические импульсы преобразуются электронным реле в соответствующие команды для управления станком. В то же время перемещение каретки сильфонов вызывает отклонение стрелки показывающего устройства для визуального контроля.

Измерительное устройство БВ-4026 (рис. 34) представляет собой скобу с двумя плавающими каретками 1 и 2, подвешенными на плоских пружинах 3, связанных с основным прибором колодками 4 и 6. В каретках закреплены регулируемые измерительные губки 9, 10 с наконечниками из твердого сплава или алмаза, входящие в процессе обработки в контакт с измеряемой поверхностью. Измерительное усилие создается пружинами 3 и пружиной 5. В каретке 2 установлено выходное сопло 8, связанное с сильфоном, а в каретке 1 — регулируемый винт 7. При шлифовании отверстия изменяется его диаметр, что вызывает изменение зазора s между соплом 8 и винтом 7. Установка скобы на размер производится по эталонной детали при ее вращении путем перемещения губок 9 и 10 по направляющим кареток. Тонкая регулировка зазора s осуществляется винтом 7.

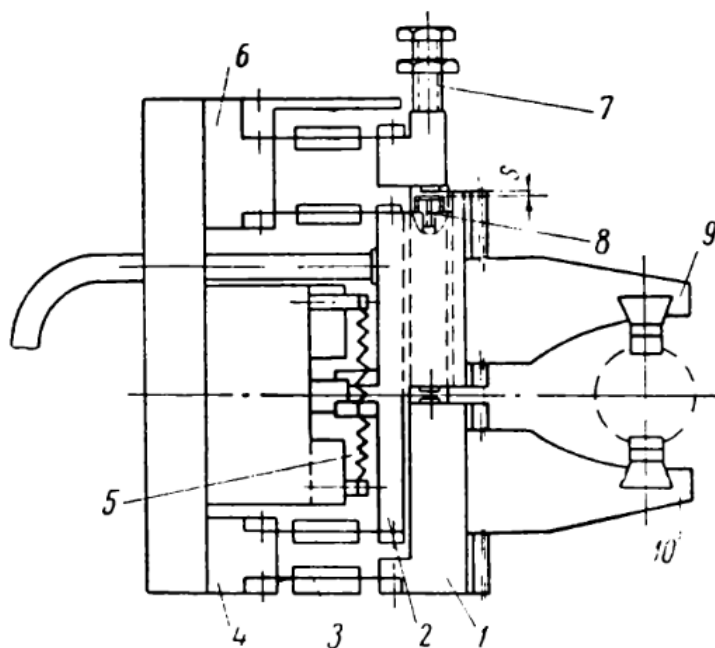


Рис. 34. Схема измерительного устройства БВ-4026

Электронный блок предназначен для преобразования слабого импульса, получаемого от измерительных контактов, в мощный сигнал, обеспечивающий управление электросхемой станка.

При настройке прибора устанавливают измерительные губки на размер проверяемого диаметра отверстия. Измерительные наконечники должны быть выставлены так, чтобы располагались в одной диаметральной плоскости.

Измерительное устройство БВ-4026 проверено в работе на кафедре технологии машиностроения Ленинградского политехнического института им. М. И. Калинина * на внутришлифовальном станке модели 3А227 с визуальным и автоматическим контролем.

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. И. С. Амосова.

При визуальном контроле шлифование производилось с автоматической поперечной подачей бабки изделия. Подача прекращалась при достижении необходимого припуска на выхаживание, определяемого по показаниям отсчетного устройства, а быстрый отвод осуществлялся вручную при совмещении стрелки прибора с нулем, что соответствовало заданному размеру. Рассеивание размеров отверстия (диаметр 60 мм) в партии обработанных колец составило 15 мкм, что соответствует полю допуска A_1 .

При автоматическом контроле шлифование производилось также с автоматической поперечной подачей бабки изделия. Электрические цепи окончательных команд приборов соединялись с электромагнитом быстрого отвода шлифовальной бабки. Точность размеров отверстия при этом повышалась и составила в среднем 13 мкм. Кроме того, при автоматическом контроле квалификация шлифовщика может быть более низкая, чем при визуальном, и рабочий может обслуживать одновременно несколько станков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев И. А. и Дворецкий Е. Р. Контроль размеров в машиностроении. М., Машгиз, 1959.
 2. Высокоскоростные шлифовальные шпиндели. М., 1960. (ЦИНТИмаш).
 3. Модернизация внутришлифовальных станков. Под ред А. П. Прокоповича. М., Машгиз, 1957. (ЭНИМС).
 4. Типовой проект модернизации внутришлифовального станка модели ЗА240. М., Машгиз, 1959.
 5. Берлин С. Г. и Ипполитов Г. М. Абразивные инструменты. Каталог. М., Машгиз, 1958.
 6. Несмелов А. Ф. и Авдоница Н. А. Алмазные инструменты в машиностроении. М., Машгиз, 1959.
 7. Нормы стойкости шлифовальных кругов и расхода алмазного инструмента. М., Машгиз, 1959. (НИИалмаз).
 8. Справочник технолога-машиностроителя. Т. I. Под ред. А. Г. Косиловой. М., Машгиз, 1956.
 9. Внутришлифовальные станки моделей ЗА227, ЗА227В, ЗА227П и ЗА227ВП. Руководство по эксплуатации. Саратов, 1963. (ЦБТИ).
 10. Технология и оборудование механосборочного производства. — «Экспресс-информация», 1965, № 30.
 - 11 И. И. Конов и Л. М. Макаров. Новый метод выверки положения оси шпинделя круга на внутришлифовальных станках. — «Подшипник», 1953, № 7.
-

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава I. Особенности процесса внутреннего шлифования	5
1. Шлифование отверстий абразивными кругами	—
2. Шлифование отверстий абразивными лентами	15
Глава II. Внутришлифовальные станки	16
3. Основные характеристики внутришлифовальных станков	—
4. Универсальный внутришлифовальный станок модели ЗА227	19
5. Станок для шлифования отверстий абразивной лентой	26
6. Модернизация внутришлифовального станка модели ЗА240	28
7. Электрошпиндель к внутришлифовальному станку	38
8. Проверка положения оси шпинделя шлифовальной бабки	42
Глава III. Технология шлифования отверстий	48
9. Припуски на шлифование отверстий	49
10. Выбор шлифовального круга	51
11. Правка шлифовального круга	57
12. Выбор режимов шлифования	60
13. Охлаждение	65
14. Приспособления к внутришлифовальным станкам	72
15. Механизация и автоматизация внутришлифовальных операций	90
Литература	101

Давид Борисович ВАКСЕР
ВНУТРЕННЕЕ ШЛИФОВАНИЕ

Редактор издательства *М. Ф. Бухтин*
Обложка художника *О. И. Цыплакова*
Технический редактор *Т. Н. Кондрот*
Корректор *Р. И. Беккер*

Сдано в производство 16/І 1967 г.
Подписано к печати 12/VI 1967 г.
М-40044. Формат бумаги 84 × 108/32
Бумага машинного мелования
Печ. л. 5,46. Уч.-изд. л. 5,3
Тираж 18 000 экз.
Заказ 1434
Цена 21 коп.



Ленинградское отделение издательства
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
Ленинград, Д-65, ул. Дзержинского, 10

Ленинградская типография № 6
Главполиграфпрома
Комитета по печати
при Совете Министров СССР
Ленинград, ул. Моисеенко, 10

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «МАШИНОСТРОЕНИЕ»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ**

БИБЛИОТЕЧКА ШЛИФОВЩИКА

ПЕРЕЧЕНЬ ВЫПУСКОВ

1. Кудасов Г. Ф. Абразивные материалы и инструменты.
2. Лурье Г. Б. Прогрессивные методы круглого шлифования.
3. Ваксер Д. Б. Внутреннее шлифование.
4. Муцянюк В. И. Бесцентровое шлифование.
5. Кудасов Г. Ф. Плоское шлифование.
6. Муцянюк В. И. Абразивная заточка и доводка металлорежущих инструментов.
7. Киселев С. П. Полирование металлов.
8. Коршунов Б. С. Алмазное шлифование.
9. Соколов С. П., Кремень З. И. Обработка деталей абразивными брусками.
10. Кремень З. И., Павлючук А. И. Абразивная доводка.