

**ПРОФЕССИЯ**

**С.А.ПОПОВ**

**ШЛИФОВАЛЬНЫЕ  
РАБОТЫ**

УДК 621.923.6

ББК 34.637.3

П58

Рецензенты:

канд. техн. наук *Т.А. Альперович*,

канд. техн. наук *В.Ф. Романов*

Попов С.А.

П58 Шлифовальные работы: Учеб. для проф. учеб. заведений. — 2-е изд., испр. — М.: Высшая школа; Издательский центр «Академия», 1999. — 383 с.: ил.

ISBN 5-06-003607-3 (Высшая школа)

ISBN 5-7695-0366-8 (Изд. центр «Академия»)

Изложены основные сведения о современной технологии шлифования заготовок на различных шлифовальных станках, заточке и доводке металлорежущего инструмента, наладке, устройстве и конструктивных особенностях шлифовального и заточного оборудования, об автоматизации операций шлифования и заточки, о программном управлении станками.

Учебник может быть использован при профессиональном обучении рабочих на производстве.

УДК 621.923.6

ББК 34.637.3

ISBN 5-06-003607-3

ISBN 5-7695-0366-8

© Издательство «Высшая школа», 1999

© Оформление. Издательский центр «Академия», 1999

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Прогресс металлообработки играет определяющую роль в машиностроении, уровень которого характеризует научно-технический и производственный потенциал народного хозяйства. Технология металлообработки, степень ее автоматизации и показатели точности в значительной степени определяют качество и объемы выпуска оборудования для всех отраслей народного хозяйства, оказывают решающее влияние на производительность труда, экономичное использование материалов и энергии в машиностроении.

Шлифование является одним из производительных методов обработки разнообразных поверхностей, особенно тел вращения, резьбовых, шлицевых, зубчатых и др. В шлифовальной обработке абразивный инструмент оказывает большое влияние на качество обработки и производительность процесса. Квалификация шлифовщика начинается с умения выбрать характеристику абразивного инструмента, подготовить его к работе и придать ему необходимый профиль и режущие свойства.

Настоящий учебник написан для подготовки квалифицированных рабочих по совмещенным профессиям: шлифовщик, заточник и наладчик шлифовальных станков в профессиональных учебных заведениях.

Цель учебника — изложить научные основы учебной дисциплины «Специальная технология шлифовальных работ» в соответствии с утвержденной учебной программой. В профессиональных учебных заведениях процесс обучения соединяется с производственным трудом учащихся в учебных мастерских и на предприятии. В процессе производственного обучения учащиеся последовательно осваивают приемы и способы работы на шлифовальных и заточных станках.

Квалификационные характеристики шлифовщика, заточника и наладчика шлифовальных станков предусматривают требования в

отношении навыков и умения выполнять конкретные виды работ в зависимости от профессии и разряда, а также в отношении знания устройства, назначения, правил подналадки и проверки на точность обслуживаемых универсальных и специальных станков приспособлений, контрольно-измерительных инструментов и приборов, свойств абразивных инструментов и условий их применения, основ учения о допусках и посадках, параметрах шероховатости, о надежности, долговечности и качестве продукции, требованиях безопасности труда.

При подготовке рабочих по профессиям шлифовщик, заточник и наладчик учащиеся изучают научные основы учебной дисциплины, изложенные в главах 1, 2, 3, 4, 11, 12, 13, 15, 16, 19, 20, и специальные вопросы, связанные непосредственно с будущей специальностью: для шлифовщика — главы 5, 6, 7, 8, 9, 10, 18; для заточника — глава 14, а также главы 5, 6, 7, 8; для наладчика шлифовальных станков — главы 17, 18, а также главы 5, 6, 7, 8, 9, 10.

Объем знаний по каждой профессии определен квалификационной характеристикой и учебными программами по каждой профессии.

*Автор*

## ВВЕДЕНИЕ

Основными направлениями в станкостроительной промышленности предусмотрено обеспечить опережающий выпуск металлообрабатывающих станков с числовым программным управлением, станков типа «обрабатывающий центр», тяжелых и уникальных станков и прессов, оборудования для автоматизации сборки массовых изделий в машиностроении, роторных, роторно-конвейерных и других автоматических линий для машиностроения и металлообработки.

Для металлообрабатывающего оборудования характерно быстрое расширение сферы применения числового программного управления (ЧПУ) с использованием ЭВМ. Особые преимущества такое управление имеет в быстропереключаемых (гибких) автоматических комплексах оборудования благодаря неограниченным возможностям выполнения без участия оператора всех функций управления технологическими процессами, самоподналадки для поддержания регламентированных характеристик процессов обработки, управления контрольно-измерительными, загрузочно-разгрузочными, транспортными и другими вспомогательными операциями.

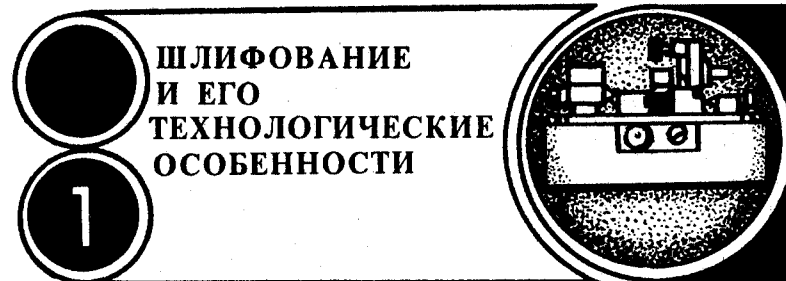
Построение материально-технической базы общества основано на устойчивом ускорении научно-технического прогресса, интенсивном развитии экономики, более рациональном использовании производственного потенциала страны, всемерной экономии всех видов ресурсов, улучшении качества работы, повышении производительности труда.

Одним из главных условий научно-технического прогресса является постоянное обновление выпускаемой продукции при минимальных затратах и потерях путем внедрения гибкой технологии, позволяющей быстро и эффективно перестраивать производство. Гибкость производства органически сочетается с комплексной его автоматизацией, всемерной экономией трудовых ресурсов, широчайшим применением роботов и манипуляторов, управляющих устройств на базе мини- и микроЭВМ.

Повышение требований к точности размеров, формы и расположения поверхностей, качеству поверхностных слоев рабочих элементов деталей машин, к надежности и долговечности работы

машин и механизмов вызвало значительное расширение области применения абразивной обработки, наиболее распространенными видами которой являются шлифование и заточка. Эти процессы выполняются на универсальных и специальных станках. Эксплуатация шлифовальных и заточных станков требует глубоких и прочных знаний и навыков, овладения основными приемами и методами работы на современных станках. Эффективность работы оборудования зависит от уровня подготовки персонала, его квалификации и творческого отношения к труду.

В обществе усиливается внимание к трудовому и профессиональному обучению, к формированию разносторонней гармонически развитой личности, так как учащимся придется работать на производстве с быстроменяющейся технологией, совмещать профессии. Обучение в профессиональных учебных заведениях позволяет получать необходимую теоретическую подготовку, приобрести практические навыки работы на современном оборудовании, развивать стремление к коллективному сотрудничеству в учебе и трудовой деятельности.



### 1.1. ВИДЫ ШЛИФОВАНИЯ

*Шлифованием* называют обработку резанием, при которой рабочая поверхность инструмента  $1$  состоит из множества абразивных зерен и совершает главное движение резания  $D_1$  с высокой скоростью (обычно 20–60 м/с), а заготовке  $2$  сообщают движения подачи  $D_S$ , необходимые для образования поверхности с требуемыми размерами, геометрической формой и относительным расположением (рис. 1.1).

*Обработка резанием* заключается в проникновении лезвия  $2$  с режущей кромкой  $1$  инструмента в материал заготовки  $4$  с последующим отделением определенного слоя материала в виде стружки  $3$  (рис. 1.2). Лезвие инструмента представляет собой клинообразный элемент. На рабочей части инструмента может содержаться или заданное число лезвий установленной формы, или множество лезвий разнообразной формы. Режущий инструмент с заданным числом (1, 2, 3 и т. д.) лезвий установленной формы называют *лезвийным инструментом*, а обработку таким инструментом — *лезвийной обработкой* (рис. 1.3, а, б, в), в отличие от абразивной обработки (рис. 1, 3, г), осуществляемой множеством лезвий абразивных зерен.

Слой материала заготовки, деформированный и отделенный в результате обработки резанием, называется *стружкой*. Поверхность, образованная на заготовке в результате обработки, называется *обработанной поверхностью*. Поверхность заготовки, которая частично или полностью удаляется при обработке, называется *обрабатываемой поверхностью*. На лезвии инструмента выделяют переднюю поверхность  $A_γ$ , контактирующую в процессе резания со срезаемым слоем и стружкой, и заднюю поверхность  $A_α$ , контактирующую с поверхностями обрабатываемой заготовки (рис. 1.3). Характеристикой лезвия являются его углы: передний  $γ$ , задний  $α$  и заострения  $β$ . Снятие стружки и образование обработанной поверхности происходит в процессе движения лезвия (или лезвий) относительно заготовки. Различают главное движение резания  $D_r$ , движение подачи  $D_S$  и касательное движение  $D_k$ .

Движение подачи  $D_S$  предназначено для перемещения лезвия или заготовки, обеспечивающего отделение стружки по всей обрабатываемой поверхности. В зависимости от направления движения

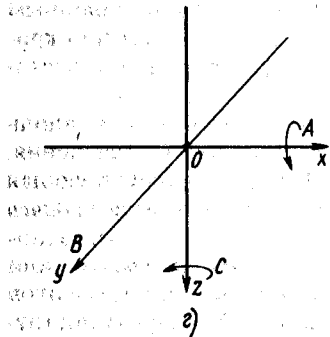
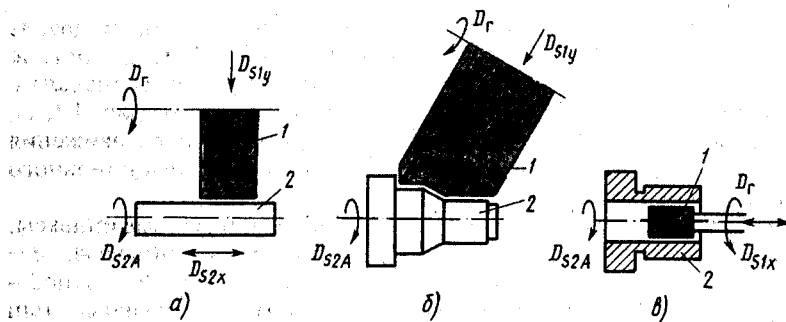
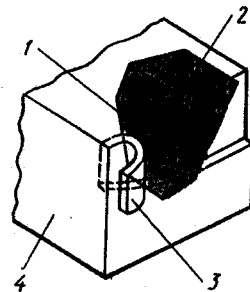


Рис. 1.1. Элементы движений круга (1) и заготовки (2) при шлифовании:  $D_r$  — главное движение резания;  $D_{S1y}$ ,  $D_{S2A}$ ,  $D_{S2x}$ ,  $D_{S1x}$  — движения подачи при наружном (а, б) и внутреннем (в) шлифовании в системе координат (з)

Рис. 1.2. Схема обработки резанием



подачи различают продольное, поперечное, вертикальное и другие движения подачи. Движения рассматривают в принятой системе координат  $Oxuz$ , которую располагают так, чтобы ось  $Oz$  совпадала с направлением скорости главного движения резания (см. рис. 1.1, з), ось  $Ox$  была бы параллельна оси главного вращательного движения резания, а ось  $Oy$  — направлена по радиусу главного вращательного движения резания.

При обозначении движения подачи используют цифровые индексы: 1 — для круга, 2 — для заготовки, а также буквенные индексы:  $A$  — вращение относительно оси  $Ox$ ,  $B$  — относительно оси  $Oy$ ,  $C$  — относительно оси  $Oz$ . Движение подачи может быть непрерывным или прерывистым (дискретным), последнее осуществляется в перерывах процесса резания. Движение подачи может быть прямолинейным поступательным ( $D_{S1y}$ ,  $D_{S2x}$ ,  $D_{S1x}$ ), вращательным ( $D_{S2A}$ ) или криволинейным. Характеристикой всех видов вращения является частота  $n$ . Скорость движения подачи обозначают  $v_s$ .

Расстояние, пройденное рассматриваемой точкой лезвия вдоль траектории движения подачи  $D_s$  за определенный цикл движения, называют *подачей* и обозначают буквой  $S$ . Подача, соответствующая циклу в один оборот инструмента или заготовки, называется *подачей на оборот*  $S_o$ . Подача, соответствующая циклу в один ход возвратно-поступательного движения подачи, называется *подачей на ход*  $S_x$  или *подачей на двойной ход*  $S_{2x}$ . Для многолезвийных инструментов пользуются также *подачей на зуб*  $S_z$ , соответствующей повороту инструмента или заготовки на один угловой шаг зубьев режущего инструмента.

Главное движение резания  $D_r$  происходит с наибольшей скоростью. Оно может сообщаться режущему инструменту или заготовке, быть прямолинейным поступательным, вращательным, винтовым или криволинейным, плоским или пространственным формообразующим движением. Скорость рассматриваемой точки режущего лезвия относительно заготовки при главном движении резания обозначают  $v$  и называют *скоростью главного движения резания*.

*Абразивным инструментом* называется режущий инструмент, на рабочей поверхности которого расположено неопределенное число частиц абразивного материала высокой твердости (абразивных зерен). Обработка резанием, которая осуществляется множеством абразивных зерен, называется *абразивной обработкой* (рис. 1.3, з).

Наиболее распространенным видом абразивной обработки является *шлифование*, при котором главное движение резания совершает инструмент и оно бывает только вращательным (см. рис. 1.1 и 1.3, з). Движения подачи (см. рис. 1.1, а, б, в) могут быть различными и сообщаются заготовке ( $D_{S2}$ ) или инструменту ( $D_{S1}$ ).

На рис. 1.4 показаны схемы шлифования поверхностей вращения и плоскостей. На схемах главное движение резания  $D_r$  совершает шлифовальный круг 1, вращающийся вокруг горизонтальной или вертикальной оси. В зависимости от того, какая поверхность шлифовального круга является режущей, выделяют два вида шлифования. Если режущей частью круга является наружная поверхность, обра-

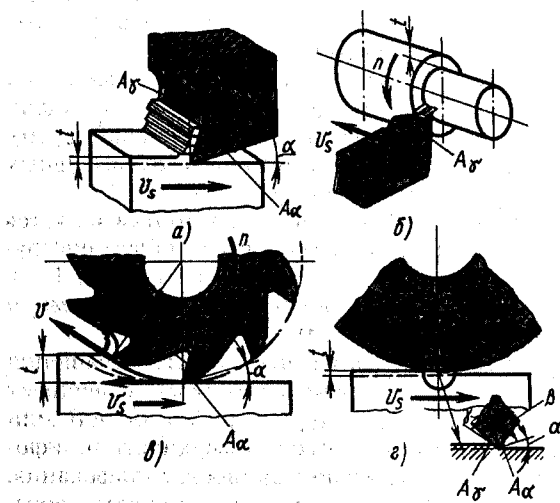


Рис. 1.3. Рабочая часть режущего инструмента и движения в процессе обработки резанием: а — строгание, б — обтачивание, в — фрезерование, з — шлифование;  $A_\gamma$  и  $A_\alpha$  — передняя и задняя поверхности,  $v$  и  $v_s$  — скорости главного движения резания и движения подачи,  $n$  — частота вращения заготовки или инструмента;  $t$  — глубина резания,  $\gamma$  — передний угол,  $\alpha$  — задний угол,  $\beta$  — угол заострения

зующая которой параллельна оси его вращения, то такой вид обработки называется *шлифованием периферией круга* (рис. 1.4, а, б, в, г, е). Если при шлифовании режущей частью является торцовая поверхность шлифовального круга, то такой вид обработки называется *шлифованием торцом круга* (рис. 1.4, д, ж).

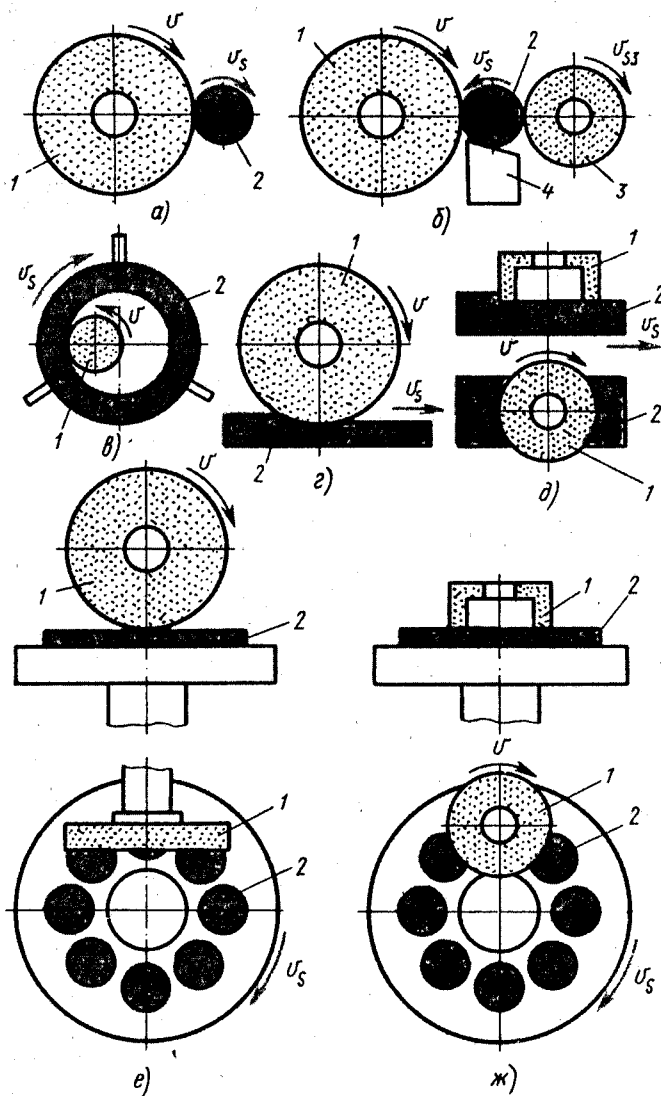


Рис. 1.4. Схемы расположения круга и заготовки и направления движения подачи при шлифовании периферией круга (а, б, в, г, е) и торцом круга (д, ж):

1 — круг шлифовальный, 2 — заготовка, 3 — круг ведущий, 4 — нож опорный

В зависимости от расположения и формы обрабатываемой поверхности заготовки 2 шлифование подразделяет на следующие виды. Если на заготовке 2 обрабатывается наружная поверхность, то шлифование называется *наружным* (см. рис. 1.1, а, б). При *внутреннем шлифовании* (см. рис. 1.1, в) производится обработка внутренней поверхности, при *плоском* (рис. 1.4, е, ж) — шлифование плоской поверхности, при *профильном* — шлифование поверхности, образующая которой кривая или ломаная линия (рис. 1.4, б). Шлифование поверхности вращения называется *круглым шлифованием*, шлифование сферической поверхности — *сферошлифованием*, шлифование боковых поверхностей на зубчатых колесах — *зубошлифованием*, шлифование боковых сторон и впадин профиля резьбы — *резьбошлифованием*, шлифование боковых поверхностей шлицев — *шлицешлифованием*. Заготовка 2 совершает при шлифовании движение подачи  $D_s$  и может иметь разные технологические базы при установке на станке.

Шлифование, при котором технологической базой является наружная и внутренняя поверхности заготовки, а базирование и закрепление заготовки производится с помощью патрона, называется *шлифованием в патроне* (рис. 1.4, в).

Шлифование, при котором в качестве технологической базы используются центровые отверстия или наружные центровые поверхности заготовки или центральной оправки, а базирование и закрепление заготовки производятся в центрах станка или на оправке, называется *шлифованием в центрах* (рис. 1.1, а, б).

Круглое шлифование, при котором технологической базой является обрабатываемая поверхность или ранее обработанная цилиндрическая поверхность, называется *бесцентровым шлифованием* (рис. 1.4, б). При бесцентровом шлифовании движение подачи  $D_s$  заготовке 2 сообщает ведущий круг 3 при вращении  $D_{S3}$  за счет сил трения между поверхностью ведущего круга и заготовки. Заготовка поддерживается специальным устройством — ножом 4.

Движение подачи  $D_s$  при плоском шлифовании может быть возвратно-поступательным (рис. 1.4, г) на станках с прямоугольным столом либо вращательным — на станках с круглым столом (рис. 1.4, е, ж).

Шлифование, при котором движение подачи  $D_s$  осуществляется в направлении, перпендикулярном обрабатываемой поверхности, называется *врезным*.

Скорость главного движения резания при шлифовании достаточно высокая по сравнению с лезвийной обработкой. Обычно скорость шлифования находится в пределах 25–35 м/с. Для повышения эффективности обработки скорость резания увеличивают. Шлифование с рабочей скоростью абразивного инструмента в пределах 35–60 м/с называют *скоростным шлифованием*, а свыше 60 м/с — *высокоскоростным шлифованием*.

На заготовках после литья,ковки,штамповки,прокатки и сварки образуется слой материала, поверхность и свойства которого не соответствуют заданным требованиям и поэтому называется дефектным. Шлифование, предназначенное для удаления с заготовок дефектного

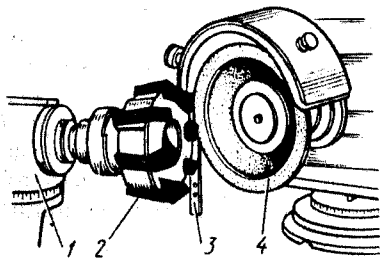


Рис. 1.5. Заточка торцовой фрезы алмазным кругом:  
1 — головка заточного станка, 2 — торцовая фреза, 3 — упорка, 4 — алмазный круг

вращательное, возвратно-поступательное, осциллирующее или другое сложное движение со скоростями одного и того же порядка. Такая абразивная обработка называется *доводкой*. Основными видами доводки являются притирка, хонингование и суперфиниширование. При притирке абразивным инструментом является притир, осуществляющий перемещение относительно заготовки абразивных зерен, находящихся в суспензии, пасте или внедрившихся (шаржированных) в рабочую поверхность притира. При хонинговании и суперфинишировании абразивный инструмент (обычно в форме брусков) закрепляют в специальных крепежных устройствах (хонах, головках) и он совершает сложное движение относительно заготовки, состоящее из простых движений: вращения и возвратно-поступательного перемещения.

Абразивная обработка, предназначенная только для уменьшения шероховатости и увеличения зеркального отражения обрабатываемой поверхности, называется *абразивным полированием*.

Шлифование рабочей части лезвийного режущего инструмента называется *заточкой*. На рис. 1.5 показано относительное расположение круга 4 и торцовой фрезы 2 на заточном станке.

Наряду с такими распространенными видами абразивной обработки, как шлифование, заточка и доводка, применяются и другие виды абразивной обработки: струйно-абразивная, жидкостно-абразивная, виброабразивная, а также специальные виды абразивной обработки с использованием электрохимического растворения металлов, электроэрозионного разрушения металлов, вибраций с ультразвуковой частотой, магнитного поля и других физических и химических явлений.

## 1.2. ПЕРВОНАЧАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ШЛИФОВАЛЬНОМ СТАНКЕ

Подробное описание устройства шлифовальных станков приводится в соответствующих главах учебника. Здесь ограничимся сведениями, необходимыми для обучения в учебной мастерской.

На рис. 1.6 показаны основные сборочные единицы (узлы) шлифовального станка. Шлифовальный круг 1 закрепляется на шпинделе

слоя, называется *обдирочным шлифованием*.

Шлифование одной или нескольких поверхностей одной и той же заготовки или нескольких заготовок одновременно несколькими шлифовальными кругами называется *многокруговым шлифованием*.

В отличие от шлифования, при котором скорость главного движения резания значительно больше скорости подачи, используется также абразивная обработка, при которой инструмент и заготовка совершают

шлифовальной бабки 3, которая перемещается относительно неподвижного основания станка — станины 6 в продольном или поперечном направлении с помощью стола 5 или суппорта. Заготовка 2 закрепляется по-разному, например в центрах 10 шпиндельной бабки 8 и задней бабки 4 (рис. 1.6, а) или в патроне 9 бабки 8 (рис. 1.6, б). Круг 1 и заготовка 2 приводятся в движения электрическими или гидравлическими приводами, управление которыми производится оператором с помощью пульта или панели 7, имеющими соответствующие надписи или графические символы.

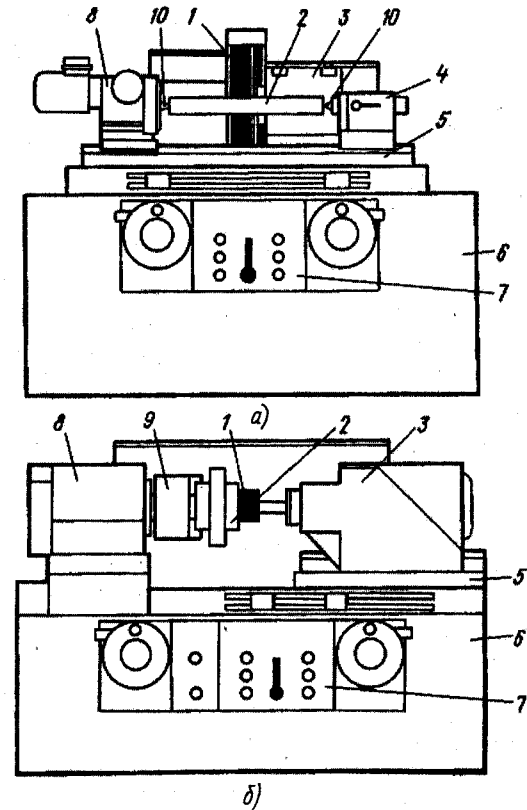


Рис. 1.6. Основные узлы круглошлифовального (а) и внутришлифовального (б) станка

Шлифовальный круг 1 и заготовка 2 приводятся во вращение относительно своих осей электродвигателями через шпиндели, установленные на подшипниках. На рис. 1.7 схематично представлены шпиндель шлифовального круга (рис. 1.7, а) и шпиндель заготовки или передней бабки (рис. 1.7, б).

Поступательное перемещение стола 1, на котором обычно крепится заготовка, относительно шлифовального круга осуществляется по

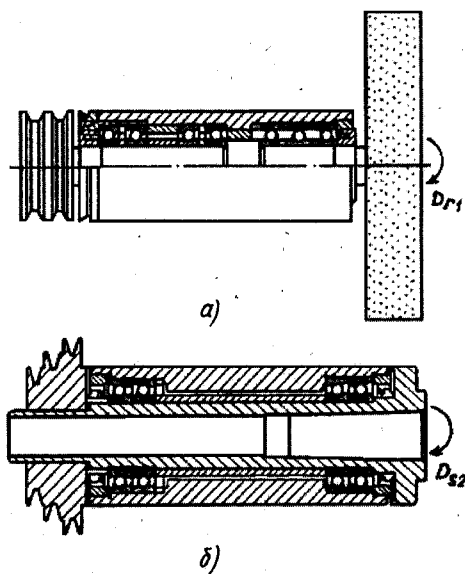


Рис. 1.7. Шпиндель шлифовальной бабки (а) и передней бабки (б)

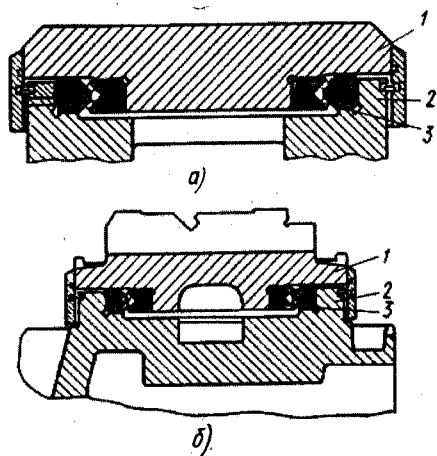


Рис. 1.8. Направляющие круглошлифовального (а) и внутришлифовального (б) станка

значению: 1 — токарные; 2 — сверлильно-расточные; 3 — шлифовальные; 4 — комбинированные; 5 — зубообрабатывающие; 6 — фрезерные; 7 — строгальные, долбежные и протяжные; 8 — станки для электрофизических и электрохимических методов обработки; 9 — отрезные, балансировочные и разные. Каждая группа станков подразделяется на типы, число которых в группе не превышает 9. Тип станка

направляющим станины 2 (рис. 1.8). От точности и плавности перемещения стола зависит шероховатость обработанной поверхности, поэтому для повышения качества детали стремятся к уменьшению сил трения в направляющих. Взамен направляющих скольжения в шлифовальных станках часто используют направляющие качения (роликовые 3 или шариковые) или гидростатические направляющие.

С помощью органов управления станком (рукояток, кнопок и пр.) оператор производит включение или изменение состояния различных механизмов, элементов и устройств станка, например осуществляет подвод (или отвод) круга к заготовке (рис. 1.9, б, д) из исходного положения (рис. 1.9, а) или обратно в исходное положение (рис. 1.9, в), включает вращение заготовки (рис. 1.9, е) или вращение заготовки с одновременным продольным перемещением стола (рис. 1.9, з), задает продолжительность шлифования по прибору (рис. 1.9, е) или число прерывистых подач на один ход стола (рис. 1.9, ж). Расположение органов управления зависит от типа станка.

Все станки, серийно выпускаемые предприятиями Минстанкопрома СССР, подразделяют на группы по виду выполняемой обработки или назначению: 1 — токарные; 2 — сверлильно-расточные; 3 — шлифовальные; 4 — комбинированные; 5 — зубообрабатывающие; 6 — фрезерные; 7 — строгальные, долбежные и протяжные; 8 — станки для электрофизических и электрохимических методов обработки; 9 — отрезные, балансировочные и разные. Каждая группа станков подразделяется на типы, число которых в группе не превышает 9. Тип станка

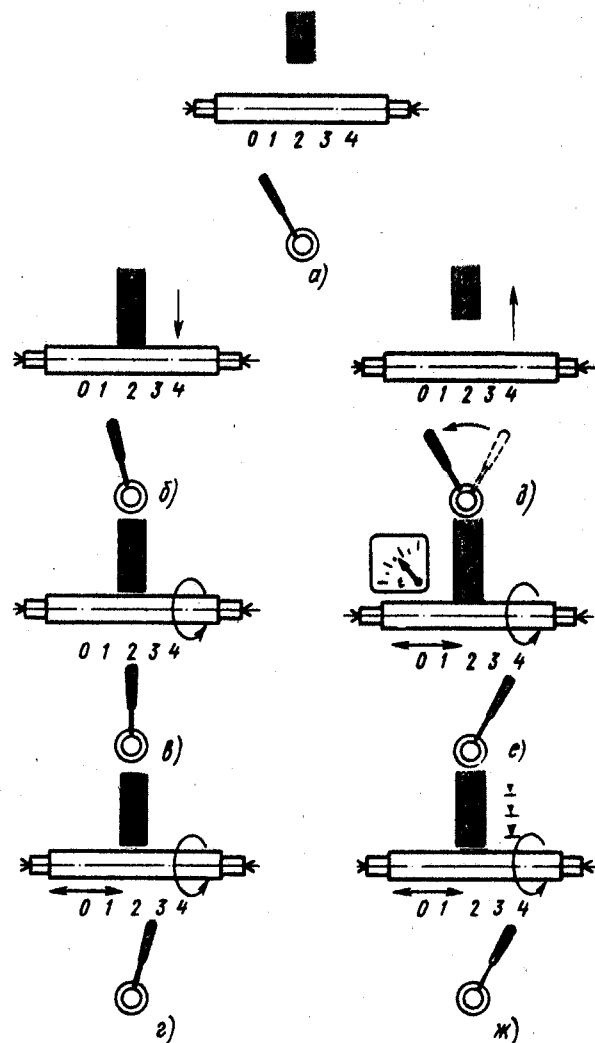


Рис. 1.9. Разные положения рукоятки управления движением подачи круглошлифовального станка

учитывает назначение, универсальность, конструктивные особенности, степень автоматизации, вид применяемого инструмента. Внутри третьей группы шлифовальных станков выделены следующие типы: 31 — круглошлифовальные и бесцентрово-шлифовальные; 32 — внутришлифовальные; 33 — обдирочно-шлифовальные; 34 — специализированные шлифовальные (например, шлицешлифовальные); 35 — резервный шифр; 36 — заточные; 37 — плоскостношлифовальные; 38 — притирочные, полировальные, хонинговальные и другие доводочные; 39 — разные, использующие абразивный инструмент.



Для каждой модели станка принято цифровое или цифробуквенное обозначение — шифр. Он состоит из сочетания трех-четырех цифр и одной-двух букв. Первая цифра обозначает номер группы, вторая — тип и т. д. Последующие цифры, характеризуют какой-либо важнейший параметр станка, например наибольший диаметр обработки, размеры стола и т. п. При улучшении или изменении конструкции станка ему присваивается новое обозначение с использованием в шифре букв после первой, второй цифр и в конце шифра. Например, круглошлифовальный полуавтомат для врезного и продольного шлифования после видоизменения (модификации) базовой модели имеет шифр 3М153, а после оснащения числовым программным управлением — шифр 3М153Ф2. Буква Ф в шифре указывает на наличие числового программного управления (ЧПУ), а последующая цифра обозначает принятую систему управления; Ф1 — с цифровой индикацией и преднабором координат, Ф2 — с позиционной системой, Ф3 — с контурной системой, Ф4 — с универсальной системой для позиционной и контурной обработки. Особенности систем управления будут рассмотрены в гл. 19.

По точности станки делят на классы: Н — станки нормальной точности, П — повышенной, В — высокой, А — особо высокой точности, С — станки особо точные (мастер-станки). Станки классов В, А и С эксплуатируют в специальных термоконстантных помещениях (с постоянной автоматически регулируемой температурой и влажностью).

### 1.3. ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ОСНОВНЫМИ УЗЛАМИ СТАНКА

Более детальное знакомство с конструкцией станков предусмотрено при изучении технологии обработки на станках для разных видов шлифования. Однако для освоения навыков работы на станке учащемуся требуется иметь достаточное представление о его составных узлах и механизмах, что удобнее дать на примере конкретного станка. Плоскошлифовальный станок высокой точности с горизонтальным шпинделем и прямоугольным столом предназначен для шлифования периферией круга плоских поверхностей заготовок, установленных на магнитной плите или с применением специальных приспособлений для крепления заготовок.

Основные узлы станка показаны на рис. 1.10. Станина 2 выполнена в виде отливки коробчатой формы. На верхней задней части станины закреплена колонна 10 с редуктором вертикальной подачи шлифовальной бабки. С передней стороны колонны 10 имеются плоские направляющие, по которым на роликах перемещается шлифовальная бабка со шлифовальным кругом 8. На корпусе головки установлено ограждение (кожух 9) сварной конструкции и устройство для подачи охлаждающей жидкости в зону шлифования от агрегата 1.

На станине 2 установлен суппорт 5 — отливка с взаимно перпендикулярными направляющими. Рабочей поверхностью станка для крепления заготовок является стол 7 с тремя Т-образными пазами. Внизу стол имеет две направляющие: плоскую и V-образную. Стол перемещается вручную от маховика 6 механизма продольного пере-

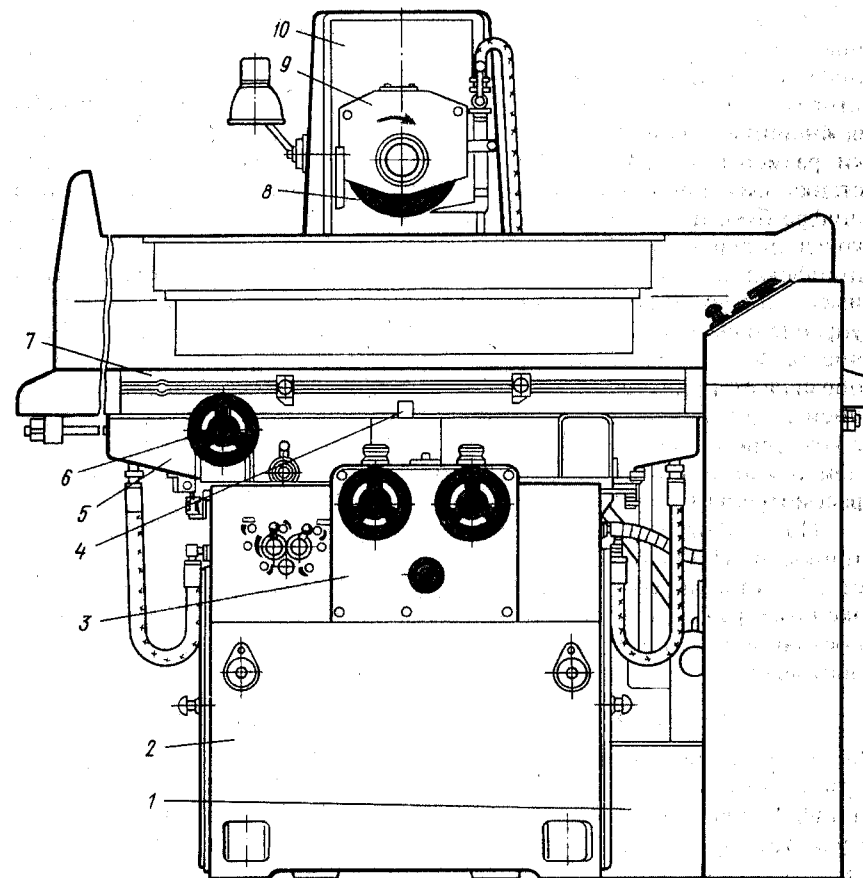


Рис. 1.10. Общий вид плоскошлифовального станка с горизонтальным шпинделем и прямоугольным столом

мещения и с регулируемой скоростью от гидропривода станка. Механизм подачи 3 обеспечивает автоматическую поперечную подачу суппорта; ручную поперечную подачу; ускоренное перемещение суппорта; автоматическую вертикальную подачу шлифовальной головки на каждый продольный или поперечный ход стола; ускоренное перемещение шлифовальной головки. Автоматическое и ручное реверсирование поперечного хода стола осуществляется механизмом поперечного реверса стола. Продольный реверс стола осуществляется механизмом 4. На столе установлены упоры, которые можно перемещать в пазу в зависимости от требуемой величины хода. Редуктор находится в нише станины. Электрооборудование станка содержит электродвигатели, путевые переключатели и микропереключатели реле и аппаратуру сигнализации, освещения и защиты. Станция управления смонтирована совместно с блоком питания электромагнитной плиты, блоком поперечной подачи, вертикальной подачи,

электрошкафом, замком, блоком торможения. Перед работой на станке надо хорошо ознакомиться с устройством и назначением составных частей станка, расположением органов управления, ознакомиться с графическими символами, указанными на табличках, и запомнить их связь с органами управления станком.

На станках с прямоугольным столом и горизонтальным шпинделем обработка ведется периферией шлифовального круга, профиль которого полностью копируется на детали, что позволяет обрабатывать на этих станках не только плоскости, но и фасонные поверхности. На станках с прямоугольным столом и вертикальным шпинделем работают торцом круга (см. рис. 1.4, д), диаметр которого обычно превышает ширину детали, что позволяет обрабатывать плоскости за счет подачи стола. Производительность таких станков выше, чем у станков, работающих периферией круга, а точность — ниже.

На плоскошлифовальных станках с круглым столом продольная подача осуществляется вращением стола. Такие станки бывают с горизонтальным шпинделем, работающие периферией круга (см. рис. 1.4, е), и с вертикальным шпинделем, работающие торцом круга (см. рис. 1.4, ж).

Станки с круглым столом и вертикальным шпинделем могут иметь две или три шлифовальные бабки, поочередно снимающие припуск с деталей. Полная обработка детали производится за один оборот стола.

Круглошлифовальный центровой станок (рис. 1.11) состоит из следующих основных узлов: шлифовальной бабки 7, обеспечивающей закрепление шлифовального круга и придание ему вращения; передней 4 и задней 8 бабок, предназначенных для установки и закрепления заготовки, а также придания ей вращения

вокруг своей оси; стола 9, на котором установлены передняя и задняя бабки, предназначенного для их перемещения вместе с заготовкой вдоль ее оси со скоростью продольной подачи; салазок поперечной подачи, на которых установлена шлифовальная бабка, предназначенных для подвода шлифовального круга к заготовке и его подачи на глубину шлифования; станины 1, являющейся основанием станка, на котором монтируют

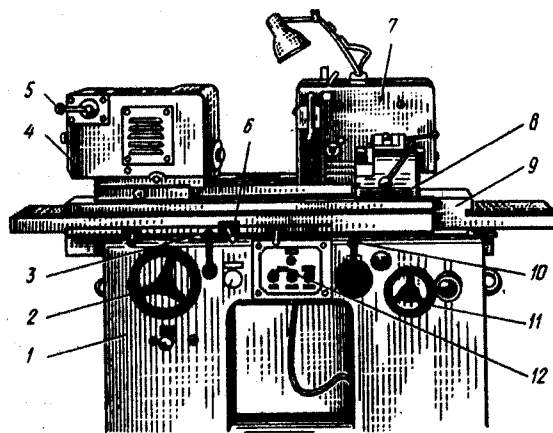


Рис. 1.11. Основные узлы круглошлифовального станка

все его узлы; гидрооборудования, с помощью которого осуществляет автоматическое перемещение стола и салазок; электрооборудования, посредством которого осуществляется привод вращения шлифовального круга и детали, а также привод и управление гидрооборудованием; панели 12, на которой сосредоточены кнопки пуска и отключения электродвигателей станка; системы подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ).

На передней стенке станины помимо панели находятся все основные механизмы управления станком: маховики продольной 2 и поперечной 11 подач; рычаг 3 реверсирования (изменения направления движения) стола; упоры 6, переключающие этот рычаг для того, чтобы стол автоматически совершал возвратно-поступательное движение; рычаг 10 для регулирования скорости движения стола. Рукоятка 5 изменения скорости вращения заготовки расположена на передней бабке.

Бесцентрово-шлифовальные станки (см. рис. 1.4, б) имеют два круга: шлифовальный 1 и ведущий 3, между которыми находится неподвижная опора заготовки — нож 4, сделанный из закаленной стали или армированный твердым сплавом. Скос ножа обращен к ведущему кругу. Заготовка 2 располагается на ноже и касается ведущего круга, который при вращении увлекает ее за собой. Назначение этих станков то же, что и круглошлифовальных.

Внутришлифовальные станки предназначены для обработки внутренних цилиндрических, конических и других поверхностей вращения (см. рис. 1.4, в). Обработка ведется в патроне или цанге. Диаметр шлифовального круга должен быть меньше диаметра шлифуемого отверстия.

Точильно-шлифовальные станки (точила) — это наиболее простые заточные станки, применяемые для заточки инструмента вручную, а также для обдирочного шлифования литых, кованных, штампованных и сварных заготовок. Для качественного выполнения этих операций используют несложные приспособления. Эти станки в зависимости от размера шлифовальных кругов можно разбить на три группы: малые станки с кругами диаметром 100—175 мм, применяемые для заточки мелкого инструмента в часовой и приборостроительной промышленности; средние станки с кругами диаметром 200—350 мм, применяемые в машиностроении для заточки основных типов резцов; крупные станки с кругами диаметром 400 мм и более, используемые главным образом для ручного шлифования заготовок и как обдирочно-зачистные.

У точношлифовального станка (рис. 1.12) с диаметром круга 300 мм шлифовальная головка 1 представляет собой двухскоростной встроенный электродвигатель, вал которого является шпинделем станка, установленным на двух опорах из стальных шариковых радиально-упорных подшипников. Станина 4 чугунная литая со встроенным электрошкафом и пультом управления 5.

Возле левого круга, имеющего в осевом сечении прямоугольный профиль, устанавливают подручник 6, который имеет с одной стороны плоскую площадку для обработки плоских деталей, а с другой — при-

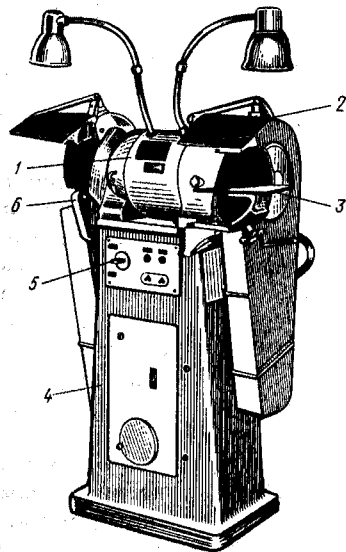


Рис. 1.12. Точильно-шлифовальный станок

зматическую поверхность для обработки криволинейных поверхностей деталей. Наличие паза в кронштейне и паза в подручнике позволяет регулировать положение подручника по высоте и по отношению к шлифовальному кругу.

На правом конце шпинделя устанавливают круг прямоугольного профиля, имеющий выточку. Рядом монтируют торцовый столик 3 для заточки резцов и защитный экран 2. Столик можно поворачивать на величину заднего угла до  $20^\circ$ . Конструкция кронштейна допускает перемещение столика к шлифовальному кругу как по торцу, так и по периферии.

Среди заточных станков различают станки общего назначения (универсальные) и специализированные для заточки резцов, сверл, фрез, протяжек, пил и т. п. Все заточные станки относятся к одному типу и имеют в шифре

модели первые две цифры 36, например 3601, 3626, 365B2 и т. д.

Третья цифра характеризует разновидность станков внутри типа: 0 — для протяжек, 2 — для резцов, 4 — универсальные, 5 — для сверл, 6 — для фрез.

Четвертая цифра характеризует размер заготовок или инструментов, для обработки которых предназначена та или иная модель станка. Чем больше размеры заготовки или инструментов, которые можно обработать на станке, тем больше четвертая цифра в шифре модели. Например, заточной полуавтомат для заточки сверл диаметром от 0,1 до 2 мм имеет шифр 3Б650, от 0,4 до 6 мм — 3Е651, от 3 до 32 мм — 3Г653, от 12 до 80 мм — 3В659.

#### 1.4. АБРАЗИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

Рабочая часть любого абразивного инструмента содержит классифицированные частицы абразивного материала, который по твердости превышает твердость обрабатываемого материала и способен в измельченном состоянии осуществлять обработку резанием. Такой абразивный материал после его измельчения, обогащения и классификации называют *шлифовальным материалом*. Для инструментов используют природные и искусственные абразивные материалы, различающиеся по химическому составу, физическим свойствам и технологии их получения. К ним относятся электрокорунды разных марок, карбид кремния, алмаз и кубический нитрид бора (эльбор). Шлифовальные материалы изготавливают следующих зернистостей: шлифзерно с размерами от 2000 до 160 мкм — 200; 160; 125; 100; 80; 63; 50; 40; 32; 25; 20; 16;

шлифпорошки с размерами от 125 до 40 мкм — 12; 10; 8; 6,5; 4;

микropорошки с размерами от 63 до 14 мкм — М63; М50; М40; М28; М20; М14;

тонкие микрошлифпорошки с размерами от 10 до 5 мкм — М10; М7; М5.

Зернистость является характеристикой конкретной совокупности зерен, выраженной размерами основной фракции. Фракция, преобладающая по массе, объему или числу зерен, называется *основной*. Зернистость шлифпорошка и шлифзерна обозначают условно как одну десятую (0,1) размера (в мкм) стороны ячейки сита в свету, на которой задерживаются зерна основной фракции.

Размер зерен устанавливают по определенным методикам путем отсева материала на специальных установках, оснащенных набором проволочных или капроновых сеток с разными размерами отверстий квадратной формы.

Для алмазных и эльборовых шлифпорошков зернистость обозначают дробью, у которой числитель соответствует размеру (в мкм) стороны верхнего сита, а знаменатель — размеру (в мкм) стороны ячейки нижнего сита для основной фракции. Например, 400/250; 400/315; 160/100; 160/125.

Процентное содержание основной фракции обозначают индексами В (высокое), П (повышенное), Н (низкое), Д (допустимое содержание основной фракции), которыми дополняют обозначение зернистости. Например, для зернистостей от 200 до 8 минимальное содержание основной фракции должно соответствовать в зависимости от индекса: П — 55%; Н — 45%; Д — 41%.

Частицы абразивного материала в виде монокристаллов, поликристаллов или их осколков называют *абразивными зёрнами*. Материал или совокупность материалов, применяемых для закрепления абразивных зерен в абразивном инструменте, называют *связкой*. Связки бывают неорганические и органические. К неорганическим относятся керамическая, силикатовая и магнезиальная, к органическим — бакелитовая, вулканитовая.

Соотношение объемов шлифовального материала, связки и пор в абразивном инструменте называют его *структурой*, которую обозначают номерами, установленными в нормативно-технической документации. Структуру абразивного инструмента обозначают номерами от 0 (объемная концентрация абразивных зерен равна 62%) до 20 (объемная концентрация абразивных зерен равна 22%). При увеличении структуры на один номер содержание зерен уменьшается на 2%. Для алмазных и эльборовых инструментов обозначают относительную концентрацию в процентах или условными индексами (указаны в скобках): 25(1); 50 (2); 75 ((3)); 100 (4); 125 (5); 150 (6).

Свойство связки оказывать сопротивление прониканию в абразивный инструмент другого тела называют *твердостью абразивного инструмента*.

В зависимости от значений показателей твердости, определяемых по установленной методике, различают восемь степеней твердости

абразивного инструмента: весьма мягкие (ВМ1, ВМ2); мягкие (М1, М2, М3); среднемягкие (СМ1, СМ2); средние (С1, С2); средне-твердые (СТ1, СТ2, СТ3); твердые (Т1, Т2); чрезвычайно твердые (ЧТ). Цифры 1, 2, 3 характеризуют возрастание твердости инструмента внутри одной степени.

Все эти значения наряду с другими параметрами составляют характеристику абразивного инструмента в состоянии поставки (статическая характеристика), условное обозначение которой четко наносится на торцевой поверхности кругов диаметром 250 мм и более, на этикетках — для кругов диаметром свыше 40 до 250 мм, на коробках или пакетах — для кругов диаметром до 40 мм.

Пример маркировки шлифовального круга ПП 500×50×305 24А 10П С2 7 К5 35 м/с А 1 кл. и ее расшифровка:

ПП 500×50×305 — тип круга и его размеры; 24А — марка шлифовального материала; 10П — зернистость и индекс зернистости; С2 — степень твердости; 7 — номер структуры; К5 — марка связки; 35 м/с — допустимая окружная скорость; А — класс точности; 1 кл. — класс неуравновешенности.

Различают следующие основные виды абразивных инструментов: шлифовальный круг — инструмент в виде твердого тела вращения, предназначенный для шлифования;

шлифовальная головка — круг с глухим отверстием для крепления;

шлифовальный сегмент — составная часть сборного или составного шлифовального круга;

шлифовальная шкурка — инструмент на гибкой основе с нанесенным на нее одним или несколькими слоями шлифовального материала, закрепленного связкой;

абразивный брусок — инструмент в виде твердого тела, предназначенный для обработки без вращения вокруг своей оси;

притир — инструмент в виде твердого тела, на поверхности которого абразивные зерна находятся в закрепленном или не закрепленном связкой состоянии; на притир обычно наносится паста, содержащая шлифовальный материал и предназначенная для абразивной обработки.

### 1.5. ПОДГОТОВКА АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА К РАБОТЕ

Перед установкой круга на станок следует убедиться, что он прошел необходимый контроль и испытания на механическую прочность. Прежде всего круг подвергают визуальному осмотру для проверки на отсутствие сколов, трещин, раковин или других дефектов. Шлифовальные круги, имеющие трещины, при простукивании в подвешенном состоянии издают дребезжащий звук. Круги, не имеющие трещин, издают при простукивании чистый звук.

Характеристика кругов должна быть отражена в его маркировке. Иногда повторно проверяют твердость круга с помощью стандартных методик на пескоструйном приборе, твердомере или по частоте собственных колебаний, измеряемой прибором «Звук».

Абразивные инструменты закрепляют на станке одним из способов,

предусмотренных ГОСТ 2270—78, в зависимости от типа станка и формы инструмента. Некоторые из способов крепления приведены на рис. 1.13. Крепление кругов на шпинделе, оправке или переходных фланцах должно быть надежным и не создавать в инструменте недопустимых напряжений. Для равномерного распределения давления на круг прижимных поверхностей фланцев между ними устанавливают прокладки из картона, резины или других материалов.

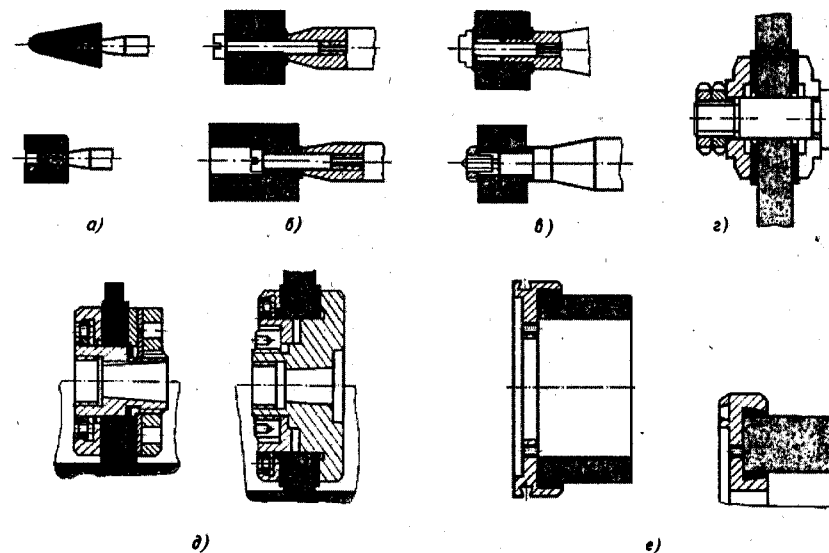


Рис. 1.13. Способы крепления абразивных инструментов:

а — на шпильке, б — на винте, в — на шпинделе винтом или гайкой, г — на шпинделе или оправке с помощью фланцев, д — на переходных фланцах, е — наклеивание на переходных фланцах

Рабочая поверхность кругов перед их эксплуатацией подвергается правке, которая приводит инструмент в работоспособное состояние, т. е. в такое состояние, при котором инструмент способен выполнять обработку в заданных условиях с установленными требованиями.

Применяют три способа правки: обтачиванием алмазными карандашами, резцами, иглами, гребенками и т. п.; обкатыванием твердосплавными, металлическими дисками и звездочками; шлифованием алмазными роликами или абразивными кругами высокой твердости.

При установке круга на станок надо обеспечить уравнивание (или балансировку) круга для устранения динамических нагрузок на подшипники шпинделя, которые возникают при вращении неуравновешенного круга (имеющего дисбаланс). Обычно ограничиваются статической балансировкой кругов (совместно с крепежными фланцами) на специальных балансировочных станках и стендах.

Наиболее часто балансировку проводят изменением положения сухарей («корректирующих масс») перемещением их в кольцевой выточке фланца. Иногда балансировку шлифовального круга проводят непосредственно на шлифовальном станке в динамическом режиме с помощью специальных устройств.

#### 1.6. ПОНЯТИЕ ОБ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОЧЕГО МЕСТА, ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ СТАНКА И ЕГО НАЛАДКЕ

Рабочее место является частью производственной площади цеха и включает в себя станок, стеллаж для приспособлений, шкафчик для заготовок и готовых деталей и прилегающую к ним территорию.

Правильная организация рабочего места означает такое содержание станка, такой порядок расположения приспособлений, инструмента, заготовок и готовых деталей, при которых достигается наивысшая производительность труда при высоком качестве продукции и наименьших затратах средств, физических сил и умственной энергии рабочего.

На рабочем месте не должно быть ничего лишнего, ненужного, не используемого в работе. Пол должен быть чистым, сухим, на нем не должно быть стружки, разбросанных деталей, приспособлений и других предметов. Несоблюдение этого правила может привести к травме. Все используемые при работе предметы должны иметь постоянные места хранения, при этом то, что используется чаще, должно располагаться ближе и в более удобных местах.

Рабочее место должно быть хорошо освещено, особенно зоны обработки и измерения.

Техническое обслуживание станка включает в себя: очистку станка от загрязнений, выполняемых обязательно по окончании смены, а при необходимости и перед началом работы; смазывание трущихся частей, которое производится регулярно в соответствии с указаниями руководства к станку;

своевременную замену быстроизнашивающихся частей (центров, сухарей, люнетов и др.) по мере износа;

очистку и промывку системы подачи СОЖ с полной заменой жидкости не реже 2 раз в месяц.

Чистка и смазывание станка должны производиться во время полной его остановки при отключении от электросети, около рубильника должен быть вывешен плакат «Не включать».

Наладка станка означает подготовку его к выполнению определенной операции на определенной заготовке. Рекомендуется следующий порядок наладки станка:

1. Внешний осмотр станка, удаление загрязнений, проверка наличия смазки. Проверка легкости хода всех ручных перемещений стола, салазок и шлифовальной бабки. Включение станка в сеть.

2. Включение вращения шлифовального шпинделя, проверка поступления смазки к его подшипникам. Включение насоса подачи СОЖ и проверка подачи жидкости.

3. Включение гидравлики. Проверка давления масла по манометру.

Предварительная установка упоров стола. Пуск стола, проверка плавности его хода. Проверка быстрого подвода и отвода шлифовальной бабки.

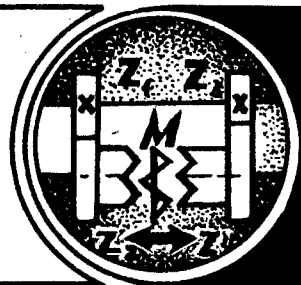
4. Ознакомление с чертежом детали, заготовкой, режимами обработки, перечнем инструмента и приспособлений. Подбор инструмента и приспособлений. При замене шлифовального круга необходима установка нового круга на запасную планшайбу, его балансировка на шпинделе станка или специальных балансировочных станках, установка на шпиндель, правка, снятие со шпинделя, в случае необходимости повторная балансировка и установка круга на шпиндель. Правка круга, настройка положения сопла и расхода охлаждающей жидкости.

5. Установка и проверка приспособлений. Установка центров или патрона на круглошлифовальном станке, магнитной плиты или тисков — на плоскошлифовальном, специальных приспособлений — на заточном; установка или замена сменных элементов приспособлений. Проверка легкости вращения шпинделя передней бабки и пробный ее пуск. Проверка подвода и отвода заднего центра. Проверка прочности крепления заготовки в приспособлении или на магнитной плите.

6. Регулировка приспособлений и пробная установка заготовки. Уточнение положения упоров стола и регулировка его скорости до значений, предусмотренных технологией. Регулировка значений поперечной подачи и подачи на глубину шлифования, подвод шлифовального круга к заготовке.

#### Контрольные вопросы

1. Расскажите об основных видах шлифования.
2. Какой формы обрабатывают заготовки на круглошлифовальных и плоскошлифовальных станках?
3. Какие основные узлы имеют круглошлифовальные и плоскошлифовальные станки? Каково их назначение?
4. Назовите основные виды абразивных инструментов.
5. Назовите основные правила организации рабочего места.
6. Какие основные правила нужно соблюдать при техническом обслуживании станка и его наладке?



2.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Устройства для преобразования энергии и информации, для изменения состояния, размеров, формы, положения и свойств материалов, выполняющие механические движения с целью замены или облегчения физического и умственного труда человека, называются *машинами*. В зависимости от основных назначений этих устройств различают энергетические, технологические, транспортные и информационные машины. В машиностроении все эти машины создаются и находят самое широкое применение. Источником движения исполнительных органов большинства технологических машин (металлорежущих станков, прокатных станов, прессов, ковочных машин и др.) являются электродвигатели, пневмо- и гидродвигатели. С помощью транспортеров, кранов, подъемников, роботов, автомобилей и других устройств производится перемещение в пространстве материала, заготовок, изделий и других объектов.

Совокупность подвижно соединенных тел (звеньев), совершающих под действием приложенных сил определенные целесообразные движения, называется *механизмом*. Основой любой машины является тот или иной механизм. Машина обычно имеет дополнительные устройства, обеспечивающие пуск в ход, регулирование режима движения, управление движением, контроль параметров движения и другие функции.

Твердое тело, входящее в состав механизмов и состоящее из одной детали или совокупности деталей, не имеющих между собой относительного движения, называется *звеном механизма*. Подвижное соединение двух звеньев, соприкасающихся между собой с помощью элементов поверхностей, линий или точек, называется *кинематической парой* (например, *A, B, C* на рис. 2.1). Движение подвижных звеньев (например, *1, 2, 3*) в механизме рассматривают относительно стойки (например, *4, 5*) — звена, принимаемого за неподвижное.

Схему механизма, на которой указывают подвижные звенья и стойки, а также характер взаимосвязей между ними (вид кинематических пар), называют *структурной схемой*. Структурная схема определяет число и геометрию звеньев, их взаимное расположение и вид кинематических пар. Графическое изображение последовательности соединения звеньев в кинематические пары с указанием размеров звеньев называется *кинематической схемой*.

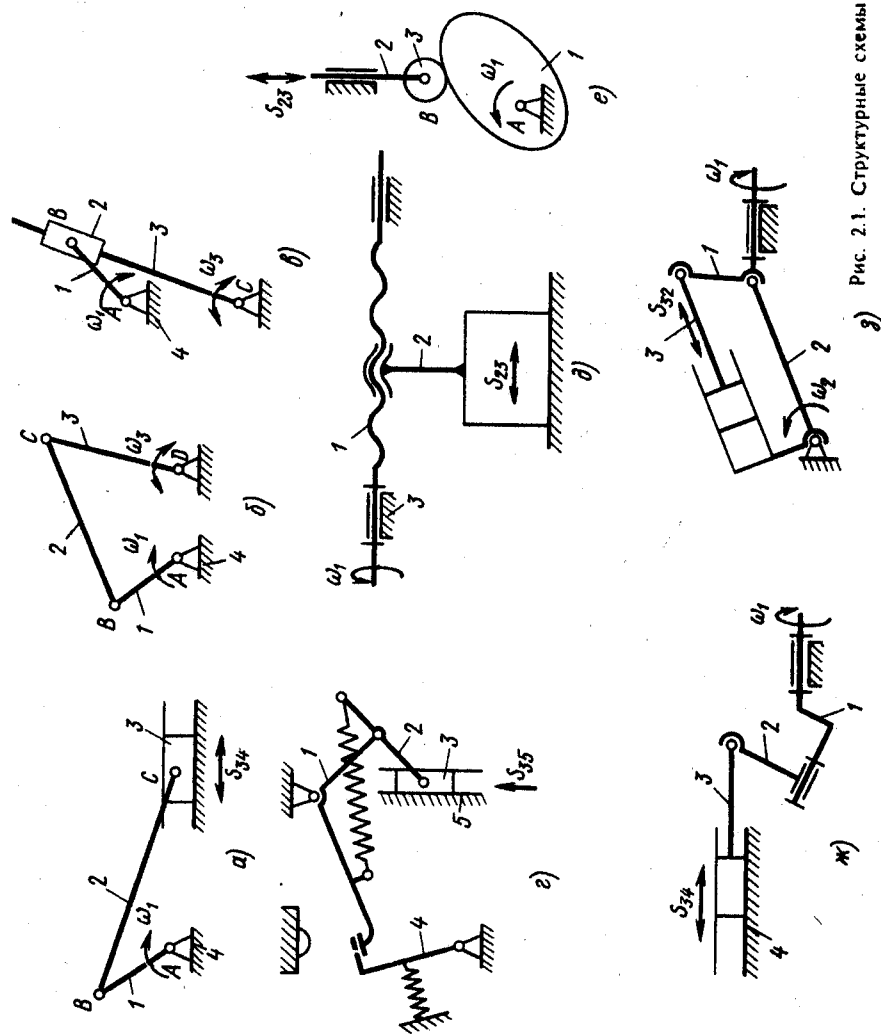


Рис. 2.1. Структурные схемы механизмов

Звено, которому сообщается движение, преобразуемое механизмом в требуемые движения других звеньев, называется *входным* звеном (например, звену 1 (рис. 2.1, а, б, в) сообщается вращение с угловой скоростью  $\omega_1$ ). Входное звено обычно соединяется с двигателем или выходным звеном другого механизма. Звено, совершающее движение, для выполнения которого предназначен механизм, называется *выходным звеном* (например, звено 3, рис. 2.1, а, б, в). Выходное звено обычно соединено с исполнительным устройством, рабочим органом, инструментом, указателем прибора или входным звеном другого механизма и совершает поступательное движение (например,  $S_{34}$ , рис. 2.1, а) или вращательное (например,  $\omega_3$ , рис. 2.1, б, в). В технологических машинах выходное звено обычно является *исполнительным звеном* (органом), выполняющим заданные перемещения (например,  $S_{23}$ , рис. 2.1, д, е) с целью изменения или контроля размеров, формы и свойств обрабатываемой заготовки или материала.

По структурным признакам и характеру взаимодействия звеньев различают рычажные, винтовые, зубчатые, кулачковые, планетарные, волновые, фрикционные механизмы и механизмы с гибкими звеньями.

В рычажных механизмах звенья соединяются только парами, которые являются вращательными, поступательными, цилиндрическими или сферическими. Примерами рычажных механизмов являются кривошипно-ползунный (рис. 2.1, а), кулисный (рис. 2.1, в), кулисно-ползунный, четырехзвенный шарнирный (рис. 2.1, б) и др. (например, механизм включения — выключения электрической цепи, рис. 2.1, г).

Винтовой механизм содержит пару гайка — винт и его иногда называют винтовой передачей (рис. 2.1, д). Звено, имеющее рабочую поверхность переменной кривизны, называется *кулачком*. Механизм, в состав которого входит кулачок, называется *кулачковым механизмом* (рис. 2.1, е).

Выступ на звене для передачи движения посредством взаимодействия с соответствующими выступами другого звена называется *зубом*. Звено с замкнутой системой зубьев, обеспечивающих непрерывное движение другого звена, называется *зубчатым колесом*. Передаточный механизм, в котором подвижными звеньями являются зубчатые колеса, называется *зубчатой передачей* или зубчатым механизмом. Если в зубчатом механизме ось вращения хотя бы одного из колес перемещается, то такой механизм называют *планетарным зубчатым*.

Если одно из колес является гибким звеном, то передачу называют *волновой*. Гибкие звенья используются также в ременных передачах. Устройство, в котором передачу движения осуществляют благодаря силам трения между прижимаемыми один к другому телами, называют *фрикционным механизмом*.

По расположению звеньев в пространстве и структуре различают плоские, сферические и пространственные механизмы. В плоском механизме точки звеньев перемещаются по траекториям, лежащим в параллельных (или в одной) плоскостях. В сферическом механизме оси вращения (постоянные и мгновенные) пересекаются в

одной точке. В пространственном механизме точки звеньев описывают неплоские траектории или плоские траектории, расположенные в пересекающихся плоскостях. На рис. 2.1, ж, з приведены схемы пространственных рычажных механизмов гидромоторов.

Отдельные составные части машин и их простейшие соединения называются *детальями машин*.

Конструктивное обеспечение соприкосновения деталей для образования из них частей машин и приборов называется *соединением* деталей. Различают подвижное и неподвижное соединения деталей. При неподвижном соединении деталь образуется путем скрепления более простых деталей. Это скрепление может быть разъемным (например, болтовые, винтовые, шлицевые соединения) или неразъемным (например, заклепочное, сварное соединения).

По функциональным признакам различают механизмы для получения заданных положений и траекторий, воспроизведения заданного движения и математических операций, шаговые механизмы с прерывистым движением, зажимные, компенсирующие и предохранительные механизмы, механизмы соединительных и сцепных муфт, многоскоростные передачи, редукторы, трансмиссии, дифференциальные механизмы, вариаторы скорости, вибрационные механизмы и др.

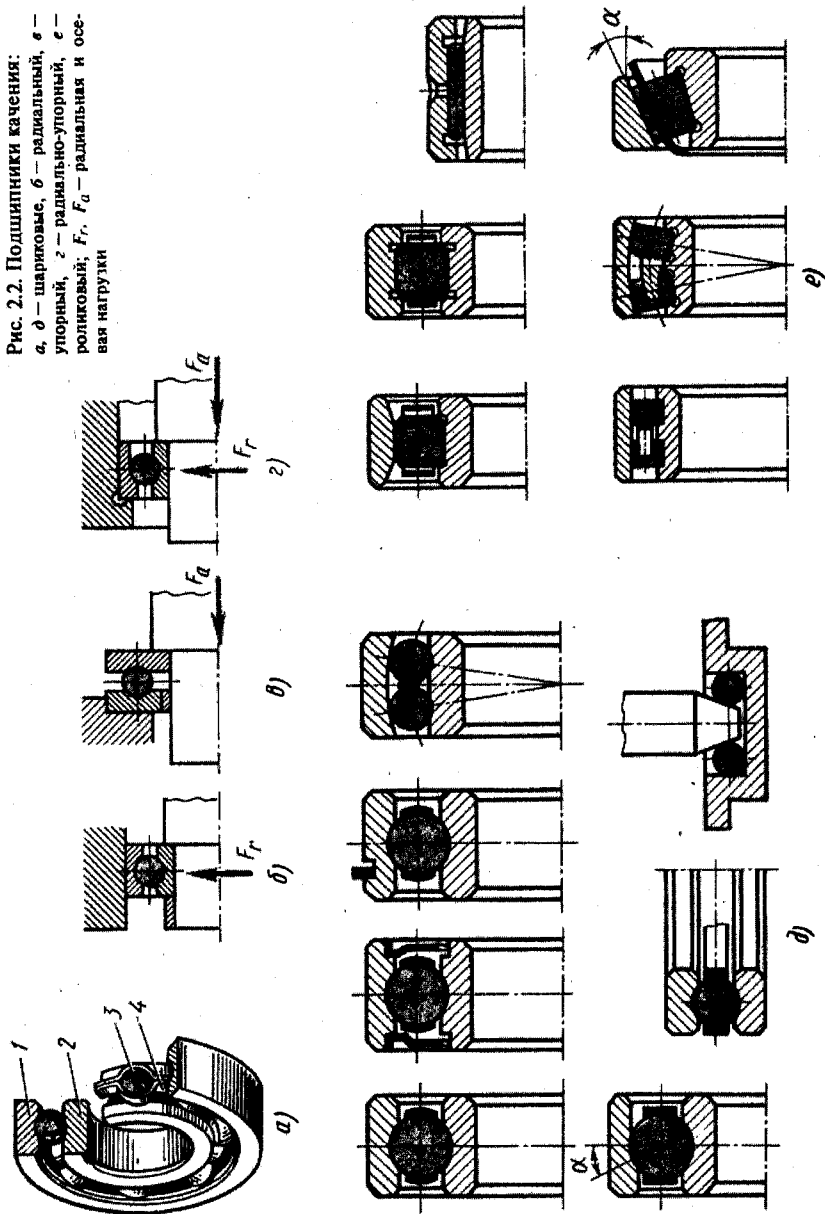
Функциональный признак для механизмов заключается в их способности осуществлять определенные действия или находиться в определенном состоянии, в способности реализовать определенный закон изменения траектории, перемещения, скорости и ускорения, например преобразование вращательного движения в поступательное или качательное, равномерного вращения в прерывистое уменьшение или увеличение частоты вращения или скорости и др.

## 2.2. ПОДШИПНИКИ СКОЛЬЖЕНИЯ И КАЧЕНИЯ

При соединении двух звеньев во вращательную кинематическую пару необходимо обеспечить определенный режим вращения и передачу нагрузки от одного звена к другому. Для этого служат устройства, называемые *подшипниками*.

В подшипнике качения между поверхностями наружного 1 и внутреннего кольца 2 расположены шарики 3 или ролики, удерживаемые друг относительно друга на определенном расстоянии с помощью сепаратора 4 (рис. 2.2, а). В зависимости от направления воспринимаемой нагрузки различают подшипники радиальные (рис. 2.2, б), упорные (рис. 2.2, в) и радиально-упорные (рис. 2.2, г). Они соответственно могут воспринимать преимущественно радиальную, радиальную и осевую или только осевую нагрузки. По форме тел качения различают подшипники шариковые (рис. 2.2, д), роликовые с цилиндрическими роликами, сферические с бочкообразными роликами, роликовые с коническими роликами, иглообразные (рис. 2.2, е), сферические шариковые, роликовые с витыми роликами и др. Подшипники бывают однорядные, двухрядные и многорядные в зависимости от числа рядов тел качения.

Рис. 2.2. Подшипники качения:  
 а — шариковые, б — радиальный, в —  
 упорный, г — радиально-упорный, е —  
 роликовый;  $F_r$ ,  $F_a$  — радиальная и осе-  
 вая нагрузки



Подшипник скольжения состоит обычно из втулки, изготовленной из антифрикционного материала, и корпуса (рис. 2.3, а). Эти детали могут выполняться разъемными или неразъемными в радиальном направлении, а также накладными в зависимости от условий изготовления и сборки подшипника.

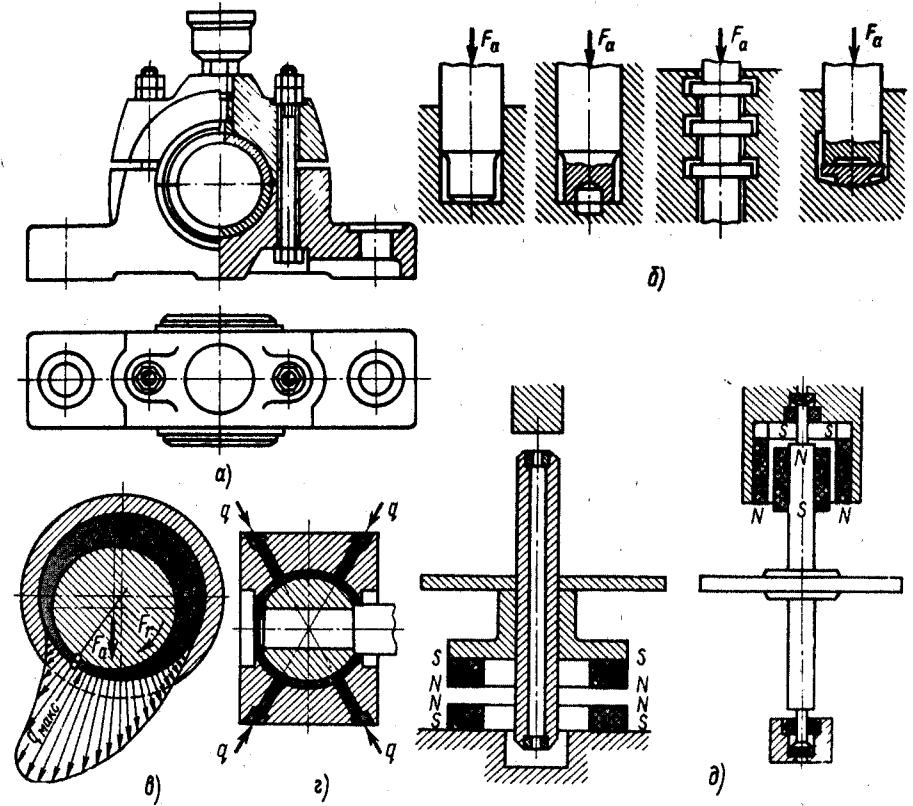


Рис. 2.3. Подшипники скольжения:  
 а, б — с граничным и сухим трением, в — гидродинамические, г — гидростатические, д — магнитные опоры

Рабочие поверхности в подшипнике могут иметь непосредственный контакт (сухое трение, рис. 2.3, б); быть разделенными жидкостью или газом — гидродинамические (рис. 2.3, в) и гидростатические (рис. 2.3, г) жидкостные, аэродинамические и аэростатические газовой; быть разделенными магнитными силами — магнитные опоры (рис. 2.3, д). В жидкостных подшипниках давление  $q$  смазки определяют с учетом нагрузки  $F_r$  (радиальной) или  $F_a$  (осевой).

На рис. 2.4, а показано сечение гидродинамического подшипника скольжения, применяемого в шлифовальных станках. Между валом б и втулкой 4 установлено пять вкладышей 5, опирающихся



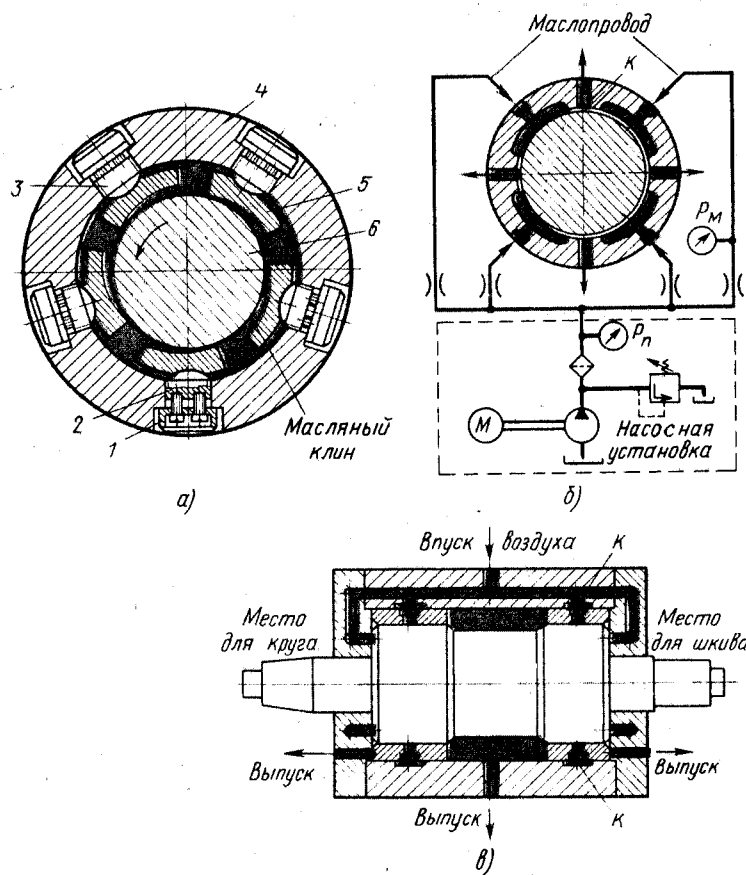


Рис. 2.4. Подшипники шлифовальных шпинделей

на сферические опоры 3, которые закреплены во втулке 4 винтами 2 и шайбой 1. При вращении вала между поверхностями вала и вкладышей образуется масляный клин, давление в котором уравнивает радиальную нагрузку. На рис. 2.4, б показана схема гидростатического, а на рис. 2.4, в аэроstaticкого подшипников прецизионных шлифовальных станков. Давление в карманах К подшипников создается специальными насосными установками, подающими жидкость или газ под требуемым давлением, контролируемым манометрами  $P_n$  и  $P_m$ .

### 2.3. ВАЛЫ, ОСИ, МУФТЫ И ПЕРЕДАЧИ

Детали в форме стержней постоянного и переменного профиля в осевом сечении, предназначенные для поддержания вращающихся деталей, называют *осями* и *валами*. Валы в отличие от осей передают

крутящие моменты. Радиальные нагрузки воспринимаются цапфами — участками валов и осей, которыми они опираются на подшипники, а осевые нагрузки — пятами и буртиками. Валы воспринимают или передают движение закрепленным на них деталям с помощью шпонок, устанавливаемых в пазах вала и детали, или шлицевых соединений с выступами и пазами прямоугольной, треугольной или криволинейной формы.

В кинематических схемах приняты следующие условные обозначения валов и подшипников (табл. 2.1).

2.1. Условные графические обозначения звеньев и подшипников на кинематических схемах

Элемент	Условное графическое обозначение
Вал, ось	—
Подшипники: вращательная пара (общее обозначение)	
скольжения	
качения: радиальные	
радиально-упорные	
упорные	
Соединение деталей с валом: неподвижное	
одноподвижное вдоль оси — поступательная пара	
двухподвижное (свободное) — цилиндрическая пара	

Устройства или механизмы для постоянного или периодического соединения валов между собой или с находящимися на них деталями называют *муфтами*. Для постоянного соединения двух валов в течение длительного времени служат постоянные муфты: жесткие,

упругие, плавающие. Для периодического соединения и разъединения валов и деталей передач во время работы предназначены сцепные муфты: кулачковые, фрикционные, электромагнитные и др. Для автоматического разъединения валов и отключения механизмов при перегрузках, возникающих в процессе работы, служат предохранительные муфты.

В кинематических схемах приняты следующие условные обозначения муфт (табл. 2.2).

2.2. Условные графические обозначения муфт на кинематических схемах

Наименование муфты	Условное графическое обозначение
Постоянная: жесткая	
упругая	
плавающая	
Сцепная: кулачковая односторонняя	
дисковая односторонняя	
Предохранительная	

Общим для всех муфт является наличие деталей, выполненных в виде дисков, фланцев, торцовых кулачков или других устройств (называемых иногда полумуфтами) и закрепленных на соответствующем валу. Между собой эти детали соединяются либо с помощью силового (за счет сил трения), либо геометрического замыкания с целью передачи крутящего момента. Передачу непрерывного вращательного движения между валами осуществляют посредством разнообразных механических устройств, называемых в общем случае *передачами*. Эти механические устройства передают движение между валами, оси которых параллельны, пересекаются или перекрещиваются.

Передача движений осуществляется с помощью гибких и жестких связей. Передачи с гибкой связью обычно используют для преобразования вращательного движения между параллельными осями, расстояние между которыми относительно велико. На рис. 2.5 по-

казаны клиноременная (рис. 2.5, а) и цепная (рис. 2.5, б) передачи. Ремни могут иметь прямоугольное или трапециевидальное сечения, а передачи соответственно называют плоскоремными или клиноременными.

Передачи с непосредственным контактом жестких элементов, которые последовательно взаимодействуют своими рабочими поверхностями, называют *зубчатыми*. В зависимости от расположения осей в пространстве различают цилиндрические, конические и гиперболоидные (винтовые, червячные, гипоидные) зубчатые передачи. В паре зубчатых колес, находящихся в зацеплении, колесо с меньшим числом зубьев  $z_1$  называют *шестерней*, а с большим числом зубьев  $z_2$  — *колесом*.

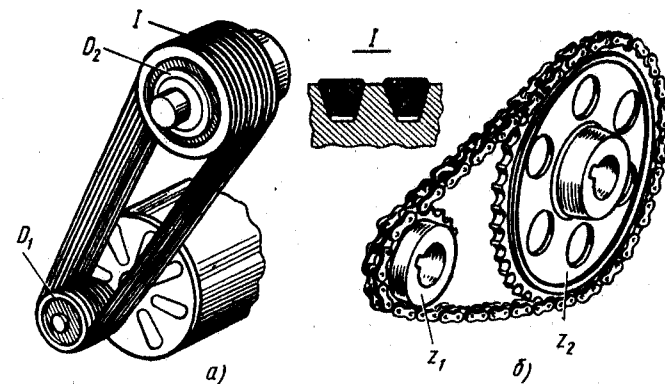


Рис. 2.5. Передачи вращательного движения с гибкой связью

При неподвижных осях зубчатых колес частота вращения колес  $n_1$  и  $n_2$  (об/с или об/мин) связана с числами зубьев соотношением:  $u_{12} = n_1/n_2 = \mp z_2/z_1$ , где  $u_{12}$  называют *передаточным отношением*. В зависимости от расположения контакта зубьев относительно межосевого расстояния передаточное отношение может быть отрицательным (внешнее зацепление, при котором колеса вращаются в разном направлении) или положительным (внутреннее зацепление, при котором колеса вращаются в одном направлении). Зубчатая передача, в которой одно из звеньев движется поступательно и прямолинейно, называется *реечной*.

При перекрещивающихся взаимно перпендикулярных осях применяют червячную передачу, в которой ведущее звено — червяк — выполнено в виде одно- или многозаходного винта. Число заходов червяка обозначают буквой  $K$ . При повороте червяка на один оборот червячное колесо с числом зубьев  $z_2$  поворачивается на угол, соответствующий числу зубьев, равных числу заходов червяка, поэтому передаточное отношение червячной передачи  $u_{12} = z_2/K$ .

Для преобразования вращательного движения в поступательное кроме реечной зубчатой передачи используют также пару винт —

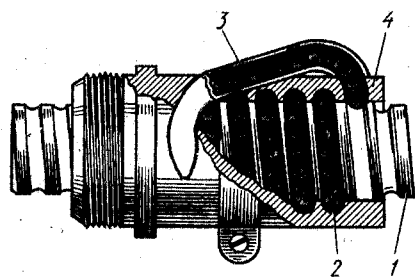


Рис. 2.6. Шариковая винтовая передача

гайка. Для устранения зазоров в такой паре и уменьшения потерь энергии на трение широко распространение получили винтовые передачи качения (рис. 2.6). Роль винта в такой передаче выполняют шарики 2, расположенные в канавках с полукруглым профилем на винте 1 и гайке 4. Непрерывность движения шариков в винтовой канавке обеспечивается специальными парами и трубкой 3, расположенной

между началом и концом гайки 4.

В кинематических схемах используют условные графические обозначения передач (табл. 2.3).

**2.3. Условные графические обозначения двигателя и передач на кинематических схемах**

Наименование	Условное графическое обозначение
Электродвигатель (общее обозначение)	
Передача: ременная	
ременная с клиновым ремнем	
зубчатая с цилиндрическими колесами	
зубчатая с коническими колесами	
червячная	

Наименование	Условное графическое обозначение
винтовая	
реечная	

Кинематическая цепь станка обычно содержит несколько простых зубчатых передач, соединенных в определенном сочетании. Если простые передачи соединяются последовательно, то передаточное отношение такой сложной передачи равно произведению передаточных отношений простых передач:

$$u_{\text{общ}} = u_{12} u_{34} u_{56} \dots (-1)^c = \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_4}{z_3} \cdot \frac{z_6}{z_5} \dots (-1)^c,$$

где  $c$  — число простых передач внешнего зацепления. Если простые передачи соединяются параллельно, то получают совокупность передаточных отношений между входным валом и выходными звеньями механизма. В станках зубчатые передачи часто используют в виде коробок перемены скоростей (коробок передач), с помощью которых получают различные варианты передаточных отношений.

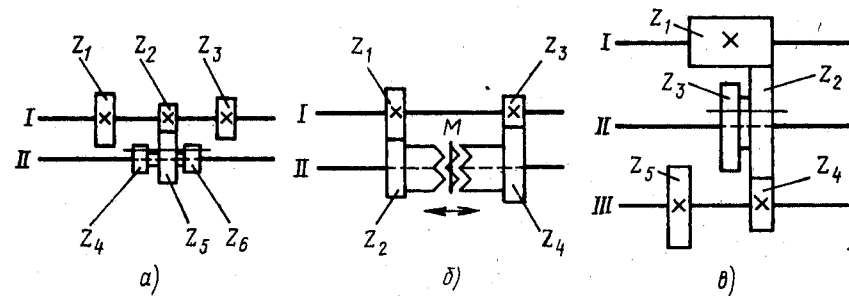


Рис. 2.7. Кинематические схемы механизмов коробок передач

На рис. 2.7 приведены схемы коробок передач. На первой схеме (рис. 2.7, а) между валами I и II установлены три простые передачи, включение которых производят перемещение блока колес вдоль оси II. При зацеплении колес  $z_1$  и  $z_4$  передаточное отношение  $u_{14} = -z_4/z_1$ , при зацеплении колес  $z_2$  и  $z_5$   $u_{25} = -z_5/z_2$ ; при зацеплении колес  $z_3$  и  $z_6$   $u = -z_6/z_3$ .

Частоты вращения  $n_{II}$  вала II при заданной частоте вращения  $n_I$  вала I находят по формуле

$$n_{II} = n_I \begin{Bmatrix} u_{14} \\ u_{25} \\ u_{36} \end{Bmatrix} = n_I \begin{Bmatrix} z_4/z_1 \\ z_5/z_2 \\ z_6/z_3 \end{Bmatrix},$$

т.е. вал II может иметь три различные частоты вращения при заданной частоте вращения входного вала I.

На второй схеме (рис. 2.7, б) на входном валу I закреплены шестерни  $z_1$  и  $z_3$ , а на выходном валу II свободно установлены колеса  $z_2$  и  $z_4$ , которые могут быть связаны с валом II двусторонней кулачковой муфтой M. При перемещении муфты M влево включается передача с колесами  $z_1$  и  $z_2$ , а при перемещении вправо — передача с колесами  $z_3$  и  $z_4$ . Следовательно, частоту вращения выходного вала определяют по соотношению

$$n_{II} = n_I \begin{Bmatrix} z_2/z_1 \\ z_4/z_3 \end{Bmatrix}.$$

На третьей схеме (рис. 2.7, в) механизм коробки перемены скоростей имеет три вала I, II и III. Возможны варианты передачи движения колесами  $z_1$ ,  $z_2$ ,  $z_3$  и  $z_5$  и колесами  $z_1$ ,  $z_2$  и  $z_4$ .

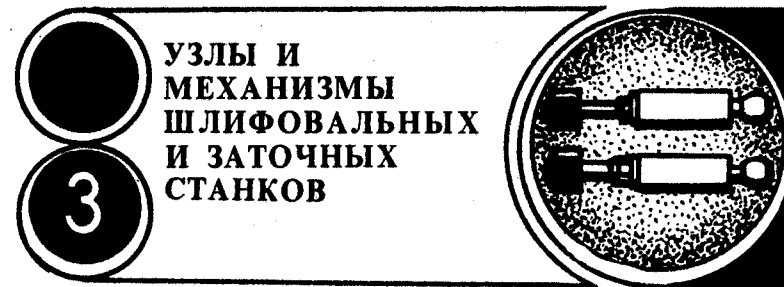
В первом варианте передаточное отношение  $u_{15} = (-z_2/z_1)(-z_5/z_3) = (z_2z_5)/(z_1z_3)$ , во втором варианте  $u_{14} = (-z_2/z_1)(-z_4/z_2) = z_4/z_1$ .

Число зубьев колеса  $z_2$  во втором варианте не изменяет числового значения передаточного отношения между валами I и III, но оказывает влияние на его знак. Иногда такие промежуточные колеса называют паразитными.

Для передачи непрерывного вращательного движения в станках используют и другие типы механизмов: рычажные, кулачковые, механизмы прерывистого движения (храповые, мальтийские), фрикционные и т. п.

#### Контрольные вопросы

1. Расскажите об основных видах машин и их назначении.
2. Расскажите о назначении механизма и его основных элементах.
3. Перечислите основные виды механизмов.
4. Расскажите о видах подшипников и их особенностях.
5. Расскажите о назначении валов и муфт.
6. Что называют передаточным отношением? Как определяют передаточное отношение зубчатой передачи? зубчатого механизма?



## УЗЛЫ И МЕХАНИЗМЫ ШЛИФОВАЛЬНЫХ И ЗАТОЧНЫХ СТАНКОВ

### 3.1. ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ И МЕХАНИЗМЫ СТАНКА

Первоначальное ознакомление с некоторыми шлифовальными станками показало, что любой станок имеет ряд узлов и механизмов, выполняющих определенные функции. В каждом станке имеется станина, на которой расположены направляющие прямоугольного или кругового движения столов и аппаратов, и другие корпусные детали, например коробки скоростей, подачи и других механизмов.

С помощью привода, состоящего из двигателя и связанных с ним передаточных механизмов, осуществляются движения исполнительных органов станка, которые необходимы для выполнения технологических операций. Требуемые перемещения инструмента и заготовки с целью изменения формы, размеров и свойств обрабатываемой заготовки выполняют шпиндели, столы, суппорты, планшайбы и другие элементы, называемые исполнительными звеньями. Большое значение имеют также целевые механизмы, осуществляющие зажим и закрепление обрабатываемых заготовок, транспортно-загрузочные устройства, поворотные-фиксирующие механизмы, механизмы и пульта управления станком, гидронивелирующее устройство станка, системы автоматического управления станками, смазочные устройства, устройства подачи смазочно-охлаждающей жидкости и ее очистки, отсоса абразивной пыли и аэрозолей из зоны обслуживания.

Ниже на примере наиболее простого универсально-заточного станка мод. 3М642Е и некоторых других шлифовальных станков рассмотрены назначение и конструкция основных узлов (сборочных единиц) станков шлифовальной группы.

### 3.2. СТАНИНА И НАПРАВЛЯЮЩИЕ

Основным требованием, предъявляемым к станине станка, является длительное обеспечение правильного взаимного положения узлов и частей, монтируемых на ней, при всех предусмотренных режимах работы станка. Это достигается неизменностью расположенных на станине базирующих поверхностей основных узлов станка. Базирующие поверхности для перемещающихся частей называются направляющими, которые могут быть направляющими движения или направляющими для установочных перемещений.

Форма станины определяется прежде всего расположением на ней направляющих для различных узлов станка, массой и рабочими перемещениями этих узлов, а также необходимостью размещения внутри станины различных механизмов, удобством их монтажа, демонтажа, смазывания, осмотра и регулирования.

Станина станка мод. 3М642Е (рис. 3.1) представляет собой чугунную отливку 1 коробчатой формы с направляющими 2 поперечного перемещения стола. На верхней части станины с трех сторон

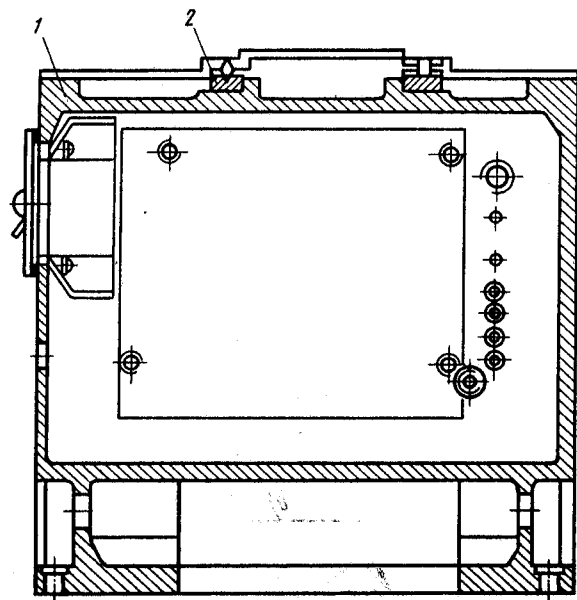


Рис. 3.1. Станина универсально-заточного станка

расположено корыто для стока смазочно-охлаждающей жидкости, которая сливается по наклонному дну корыта в бак охлаждения через отверстие в задней стенке станины. Внутри станины расположен шкаф с электрооборудованием. Корпус 2 основания стола (рис. 3.2) выполнен в виде чугунной отливки прямоугольного сечения. Направляющие 3 основания стола выполнены в виде планок, одна из которых плоская, а вторая с V-образной канавкой для перекачивания роликов. На передней стенке корпуса основания стола установлены винт поперечного перемещения и планетарный редуктор 1 продольного перемещения стола. Продольное перемещение стола может осуществляться также маховичками 6 и зубчатыми колесами 7. Внутри корпуса основания расположен гидроцилиндр 4 продольного перемещения стола, а в корпусе 5 гидроцилиндр автоматического отключения маховичков 6 и планетарного редуктора 1. Прямолинейное и круговое перемещение инструмента или обраба-

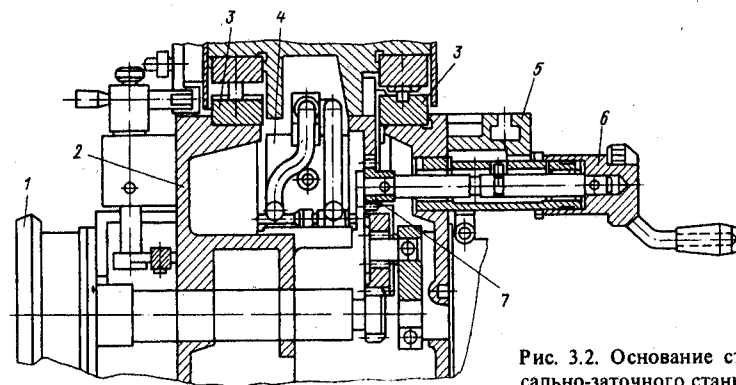


Рис. 3.2. Основание стола универсально-заточного станка

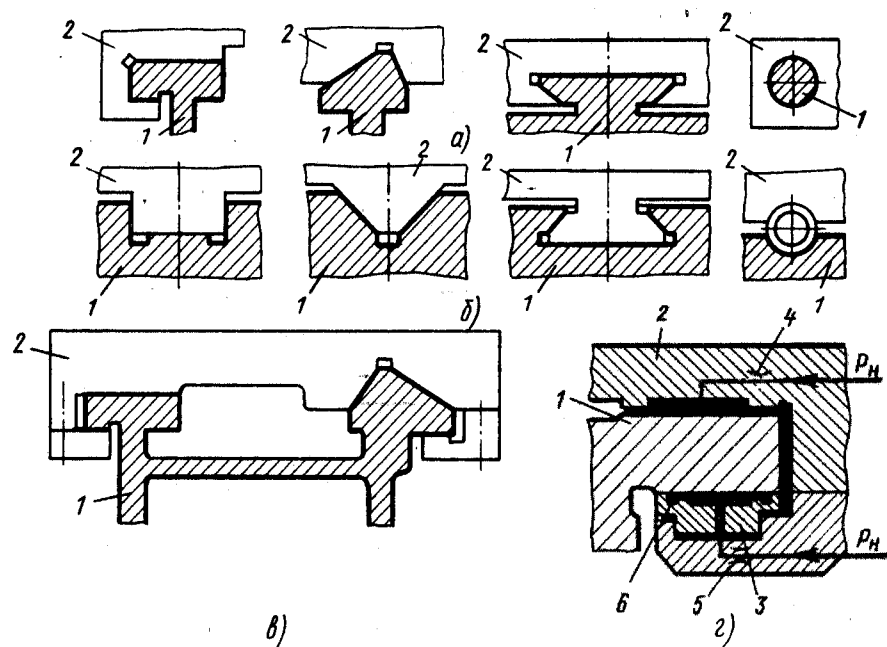


Рис. 3.3. Направляющие скольжения

тываемой заготовки и связанных с ними узлов станка обеспечивается направляющими.

В станках получили распространение два основных вида направляющих: скольжения (рис. 3.3) и качения (рис. 3.4) с использованием промежуточных тел качения 3 (шариков или роликов). Основными характеристиками направляющих являются: точность перемещения по ним; долговечность, т.е. способность сохранять перво-

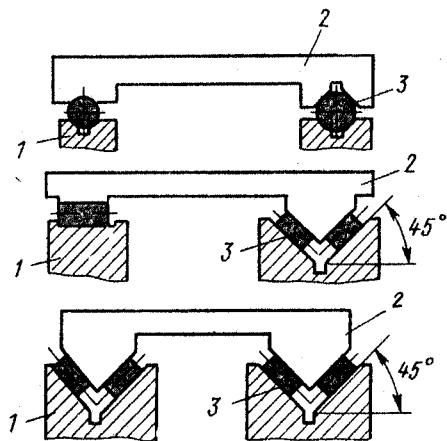


Рис. 3.4. Направляющие качения:  
1, 2 — направляющие, 3 — тела качения

являющихся, что влечет за собой потерю точности перемещения. Профиль направляющих скольжения 1 может быть прямоугольным, круглым, треугольным, V-образным или комбинированным (рис. 3.3, а—в). Направляющие 1 изготовляют за одно целое со станиной или накладными из закаленной стали, пластмасс и других материалов. Накладные направляющие привертывают к станине винтами или приваривают к стальной сварной станине. Пластмассовые направляющие иногда приклеивают к станине.

Для особо точных станков направляющие скольжения заменяют на гидростатические или аэростатические направляющие (см. рис. 3.3, г). В этом случае к сопряженным верхним 2 и нижним 1 поверхностям направляющих подают масло (или воздух) под давлением через соответствующие дроссели 4 и 5 и создают масляные (или воздушные) подушки по всей площади контакта. Нижняя опора 3 выполняется плавающей относительно планки. Буртик 6 опоры 3 может иметь постоянный контакт с направляющей 1. Зазор в направляющих очень мал (2–4 мкм). Низкий коэффициент трения в таких опорах ( $\approx 0,0005$ ) обеспечивает плавное движение узлов и устранение износа направляющих.

Основным достоинством направляющих качения (см. рис. 3.4) является малое трение, практически не зависящее от скорости движения. Это обеспечивает высокую чувствительность точных перемещений и равномерность медленных движений. Кроме того, направляющие качения обладают значительно более высокой долговечностью по сравнению с направляющими скольжения. К недостаткам направляющих качения относятся их более высокая стоимость, необходимость более точной обработки и трудности при монтаже и эксплуатации.

начальную точность перемещения узлов станка в течение заданного срока его использования; жесткость.

Эксплуатационные качества направляющих скольжения зависят как от правильного выбора материалов сопряженных поверхностей, так и от конструктивного оформления направляющих. В значительной мере от подбора материалов для направляющих станины и направляющих подвижного узла (стола, каретки, суппорта и т. д.) зависит износ направляющих. Неудачный выбор этих материалов может привести к усиленному и притом неравномерному по длине износу направляющих.

### 3.3. ШЛИФОВАЛЬНАЯ БАБКА

Шлифовальная бабка — это важнейший узел каждого шлифовального станка. Она обеспечивает главное движение резания ( $D_r$ ) — вращение шлифовального круга — и необходимую скорость главного движения резания 20–60 м/с. Шлифовальная бабка состоит из корпусной детали, шпинделя и его привода. На многих шлифовальных станках шлифовальная бабка осуществляет и движение подачи круга.

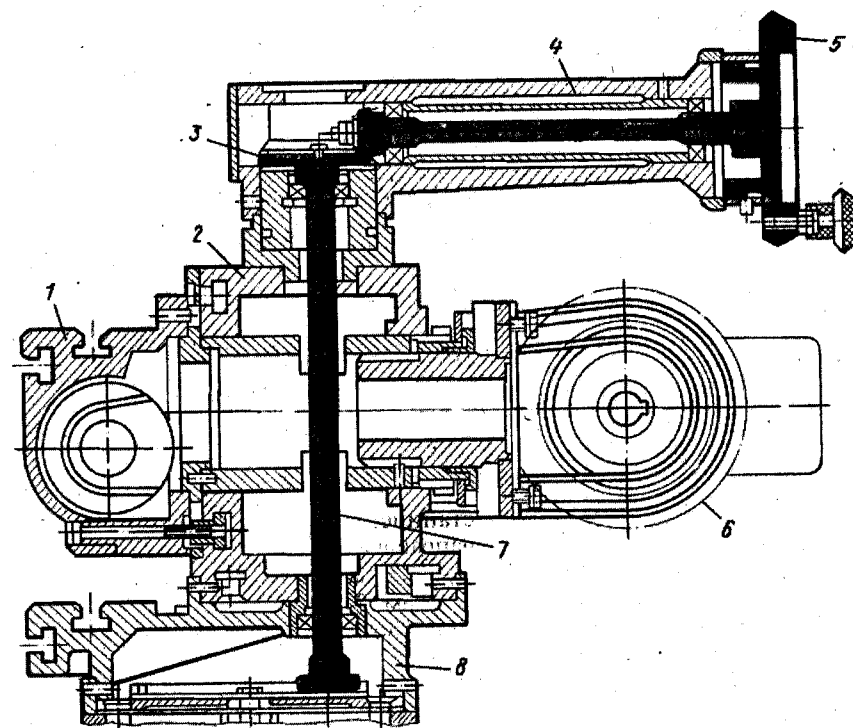


Рис. 3.5. Шлифовальная бабка универсально-заточного станка

Шлифовальная бабка (рис. 3.5) состоит из корпуса 1 шлифовальной бабки и корпуса 2 вала 7 механизма подъема колонны. На корпусе шлифовальной бабки установлен электродвигатель 6, передающий вращение ротора с помощью ременной передачи шлифовальному кругу. Перемещение колонны вручную осуществляют с помощью маховичка 5, установленного на поворотном кронштейне 4, конической зубчатой передачи 3 и вала 7. Корпус вала 7 механизма подъема установлен на плите 8.

Шлифовальная головка (рис. 3.6) состоит из шпинделя 1, установленного в гильзе 2 на высокоточных подшипниках качения 4. В задней части шпинделя на наружный конус закрепляется шкив 3

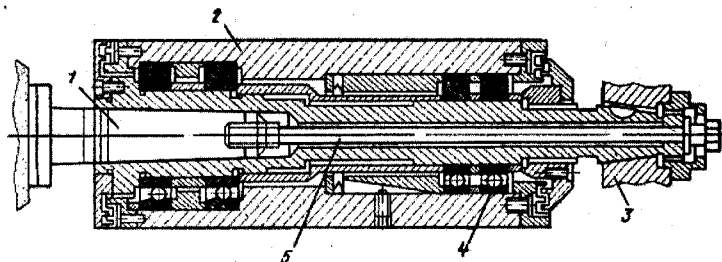


Рис. 3.6. Шлифовальная головка универсально-заточного станка

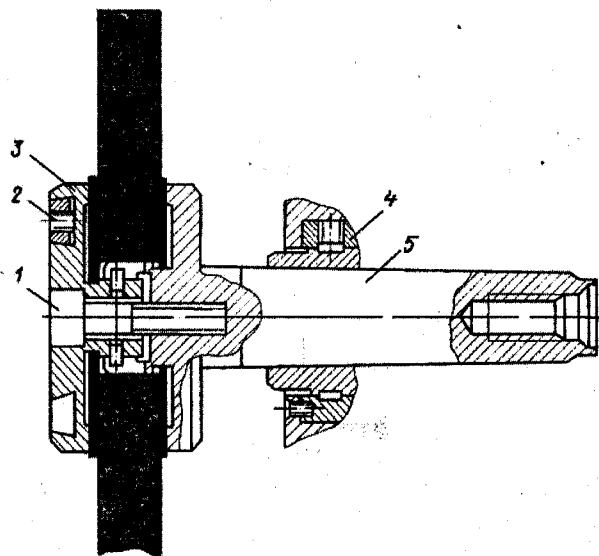


Рис. 3.7. Оправка для крепления шлифовального круга на универсально-заточном станке

привода шлифовальной бабки. Оправка закрепляется в коническом отверстии шпинделя с помощью шомпола 5.

На заточном станке 3М642Е обработку можно осуществлять абразивными, алмазными и эльборовыми шлифовальными кругами, которые устанавливают на оправке 5 и закрепляют фланцем 3 с помощью центрального винта 1 (рис. 3.7). Во фланце 3 имеется кольцевой паз, в котором перемещаются сухари 2 при балансировке кругов на балансировочном приспособлении. Оправка 5 вставляется в коническое отверстие шпинделя 4 шлифовальной головки.

Шлифовальный круг устанавливается на шпинделе шлифовальной бабки. Чем выше точность вращения шпинделя, тем точнее можно

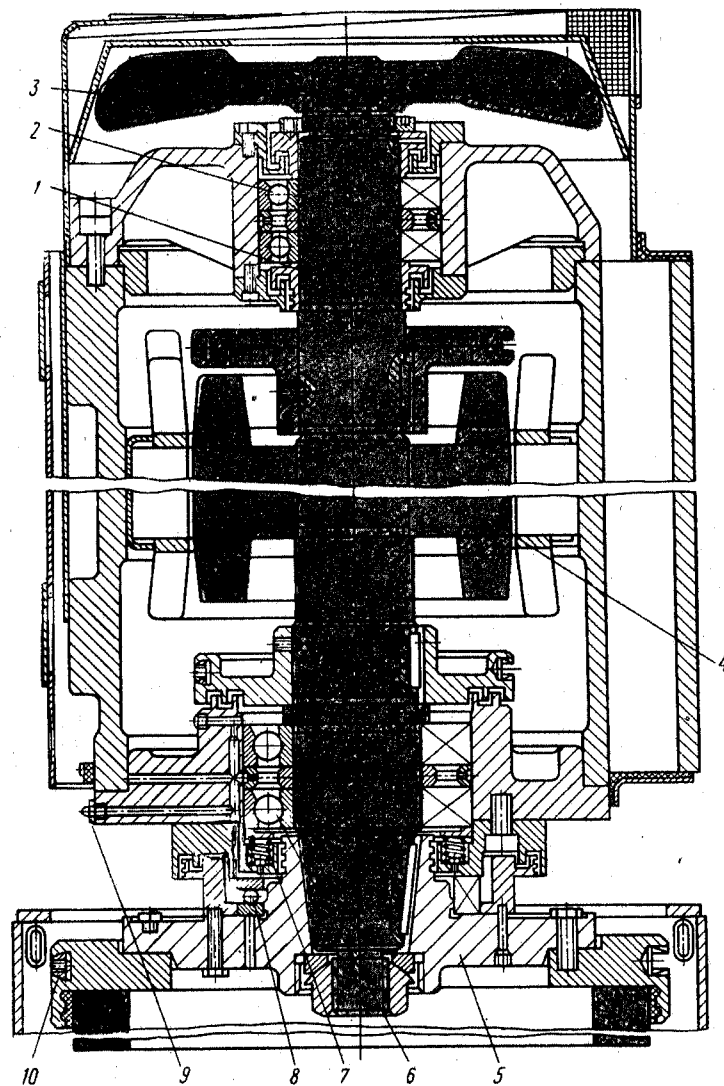


Рис. 3.8. Шпиндель плоскошлифовального станка

выполнить требуемые размеры, форму и расположение шлифуемых поверхностей на заготовке, получить малую шероховатость поверхности, поэтому шпиндель при вращении должен иметь минимальное биение, а его деформация и вибрация под действием переменной силы резания не должны превышать допустимых значений.

Конструкции шпинделей и их опор разнообразны. На рис. 3.8 показана шлифовальная бабка плоскошлифовального станка, на котором шпиндель 1 имеет вертикальную ось, а шлифовальный круг,

закрепленный на планшайбе 5, работает торцом. Шлифовальная бабка перемещается по вертикальной колонне с прямоугольными направляющими с помощью шариковой винтовой передачи. Шпиндель 1 приводится во вращение от встроенного электродвигателя, ротор 4 которого расположен на шпинделе, а статор смонтирован в корпусе

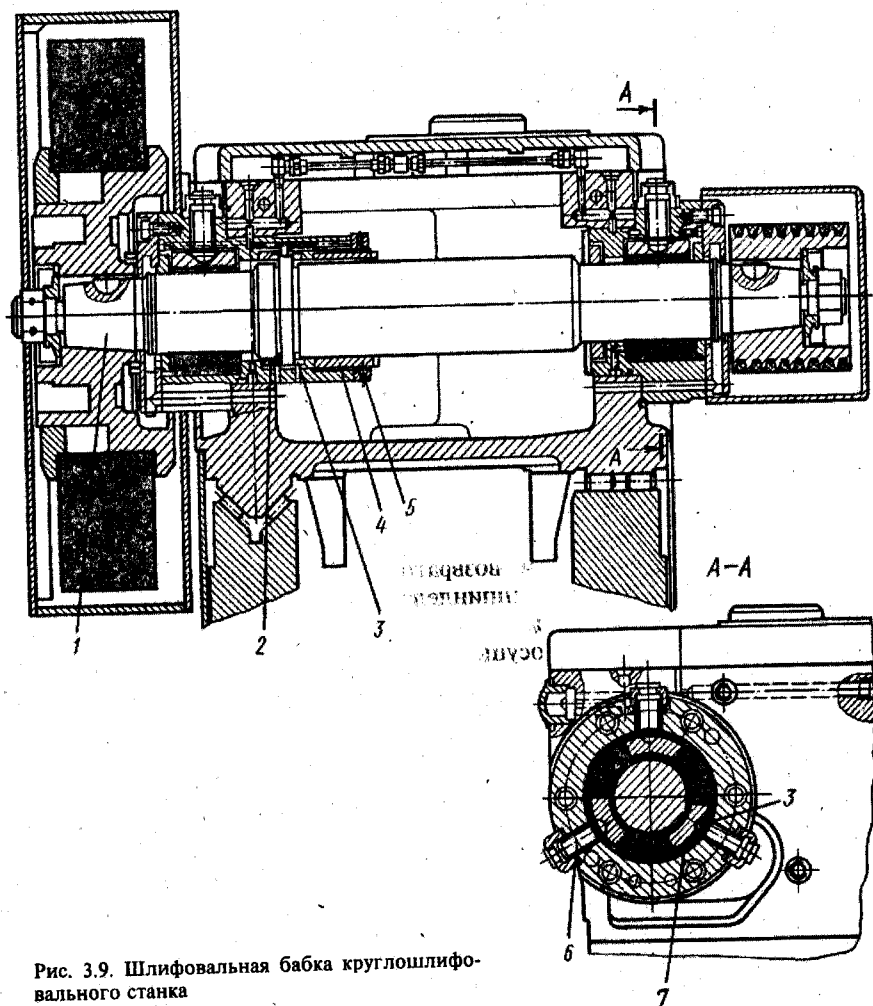


Рис. 3.9. Шлифовальная бабка круглошлифовального станка

шлифовальной бабки. Охлаждение двигателя воздушное от вентилятора 3. Шпиндель установлен на подшипниках качения. Радиальные нагрузки воспринимаются подшипниками 6 и 2, натяг которых создается пружиной 7, а осевые нагрузки и сила тяжести шпинделя — подшипником 8. Подшипниковые узлы имеют уплотнения и смазываются консистентной смазкой через масленку 9. Для устранения

неуравновешенности масс деталей шпинделя с установленным на нем кругом производится балансировка шпинделя, при которой перемещают корректирующие массы (сухари) 10 по кольцевому пазу на планшайбе.

На рис. 3.9 показана шлифовальная бабка круглошлифовального станка. Шпиндель 1 вращается от электродвигателя с помощью клиноременной передачи. Опорами шпинделя являются два гидродинамических подшипника. Между шейками шпинделя 1 при его вращении и бронзовыми вкладышами 7 подшипника образуются масляные клинья. Регулировка зазора между шейками шпинделя и вкладышами осуществляется винтами 6. Наличие сферической опорной поверхности на винтах 6 позволяет вкладышам 7 самоустанавливаться при работе узла. Осевые нагрузки воспринимаются от буртика на шпинделе бронзовыми кольцами 2 и 3 и корончатой гайкой 4, фиксируемой контргайкой 5.

#### 3.4. МЕХАНИЗМЫ ДВИЖЕНИЯ ПОДАЧ

Движение подачи предназначено для распространения отделения слоя материала на всю обрабатываемую поверхность и может быть поступательным или вращательным. Это движение выполняется абразивным инструментом или заготовкой со скоростью, значительно меньшей скорости главного движения резания.

В шлифовальных станках разнообразные движения подачи могут обеспечиваться перемещением как шлифовальной бабки, суппорта шлифовального круга, так и возвратно-поступательным или вращательным движением стола, шпинделя бабки изделия с закрепленными заготовками. Приводами движения подачи служат электро- или гидродвигатели. Для осуществления движений подачи служат механизмы подачи.

В связи с тем что от выполнения движения подачи на шлифовальном станке зависят производительность обработки, точность детали и шероховатость ее поверхности, к механизмам подачи предъявляются различные требования в отношении: диапазона подач и способа регулирования скорости (ступенчатое или бесступенчатое), вида привода (электрический или гидравлический), характера движения (непрерывное или периодическое), точности и чувствительности перемещения узлов и т. д. Например, на круглошлифовальном станке мод. 3М151 поперечную подачу врезанием, перпендикулярную образующей заготовки, осуществляет бабка шлифовального круга (см. рис. 3.9). Подача бабки производится периодически в момент реверса стола и осуществляется автоматически от гидродвигателя. Для повышения чувствительности механизма подач шлифовальная бабка устанавливается на направляющих качения, в самом механизме подач применяется винтовая пара качения со специальным устройством для регулирования натяга. Движение продольной подачи, также автоматическое, выполняется столом с закрепленной на нем заготовкой. Скорости поперечной подачи шлифовальной бабки и продольной



закрепленный на планшайбе 5, работает торцом. Шлифовальная бабка перемещается по вертикальной колонне с прямоугольными направляющими с помощью шариковой винтовой передачи. Шпиндель 1 приводится во вращение от встроенного электродвигателя, ротор 4 которого расположен на шпинделе, а статор смонтирован в корпусе

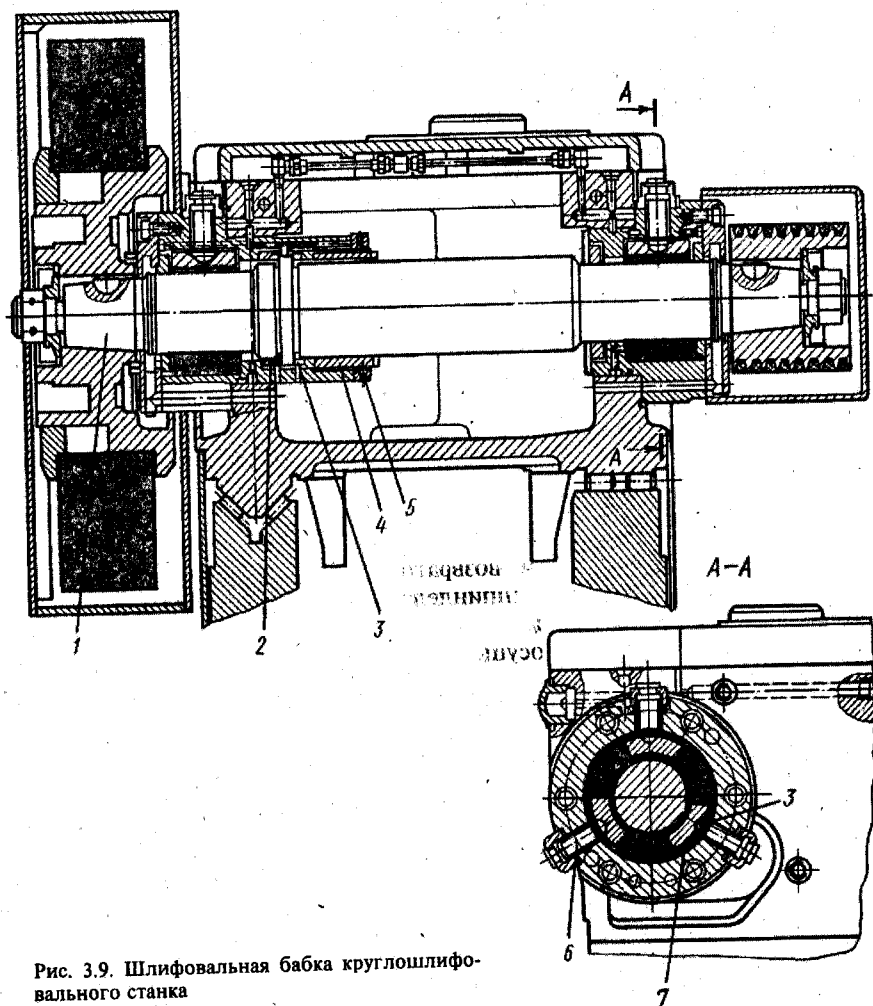


Рис. 3.9. Шлифовальная бабка круглошлифовального станка

шлифовальной бабки. Охлаждение двигателя воздушное от вентилятора 3. Шпиндель установлен на подшипниках качения. Радиальные нагрузки воспринимаются подшипниками 6 и 2, натяг которых создается пружиной 7, а осевые нагрузки и сила тяжести шпинделя — подшипником 8. Подшипниковые узлы имеют уплотнения и смазываются консистентной смазкой через масленку 9. Для устранения

неуравновешенности масс деталей шпинделя с установленным на нем кругом производится балансировка шпинделя, при которой перемещают корректирующие массы (сухари) 10 по кольцевому пазу на планшайбе.

На рис. 3.9 показана шлифовальная бабка круглошлифовального станка. Шпиндель 1 вращается от электродвигателя с помощью клиноременной передачи. Опорами шпинделя являются два гидродинамических подшипника. Между шейками шпинделя 1 при его вращении и бронзовыми вкладышами 7 подшипника образуются масляные клинья. Регулировка зазора между шейками шпинделя и вкладышами осуществляется винтами 6. Наличие сферической опорной поверхности на винтах 6 позволяет вкладышам 7 самоустанавливаться при работе узла. Осевые нагрузки воспринимаются от буртика на шпинделе бронзовыми кольцами 2 и 3 и корончатой гайкой 4, фиксируемой контргайкой 5.

#### 3.4. МЕХАНИЗМЫ ДВИЖЕНИЯ ПОДАЧ

Движение подачи предназначено для распространения отделения слоя материала на всю обрабатываемую поверхность и может быть поступательным или вращательным. Это движение выполняется абразивным инструментом или заготовкой со скоростью, значительно меньшей скорости главного движения резания.

В шлифовальных станках разнообразные движения подачи могут обеспечиваться перемещением как шлифовальной бабки, суппорта шлифовального круга, так и возвратно-поступательным или вращательным движением стола, шпинделя бабки изделия с закрепленными заготовками. Приводами движения подачи служат электро- или гидродвигатели. Для осуществления движений подачи служат механизмы подачи.

В связи с тем что от выполнения движения подачи на шлифовальном станке зависят производительность обработки, точность детали и шероховатость ее поверхности, к механизмам подачи предъявляются различные требования в отношении: диапазона подач и способа регулирования скорости (ступенчатое или бесступенчатое), вида привода (электрический или гидравлический), характера движения (непрерывное или периодическое), точности и чувствительности перемещения узлов и т. д. Например, на круглошлифовальном станке мод. 3М151 поперечную подачу врезанием, перпендикулярную образующей заготовки, осуществляет бабка шлифовального круга (см. рис. 3.9). Подача бабки производится периодически от гидродвигателя. Для повышения чувствительности механизма подач шлифовальная бабка устанавливается на направляющих качения, в самом механизме подач применяется винтовая пара качения со специальным устройством для регулирования натяга. Движение продольной подачи, также автоматическое, выполняется столом с закрепленной на нем заготовкой. Скорости поперечной подачи шлифовальной бабки и продольной

поддачи стола регулируются бесступенчато, что позволяет шлифовать заготовки с оптимальными режимами.

Основные узлы шлифовального станка (шлифовальные бабки, столы, суппорты) кроме движений подачи совершают и другие перемещения, необходимые для обеспечения работы станка. Это движения позиционирования шлифовальной бабки и стола; движения быстрого подвода или отвода (отскока) шлифовальной бабки после окончания шлифования; движения, обеспечивающие компенсацию износа шлифовального круга, его правку и другие установочные и наладочные движения. Указанные движения могут совершаться от индивидуальных приводов или для этой цели может быть использован привод механизма подачи. При работе станка в автоматическом цикле вспомогательные движения также выполняются автоматически, а при наладке и настройке станка — вручную. В зависимости от конструкции станка и характера вспомогательного движения для его выполнения создаются самостоятельные механизмы или частично используются механизмы подачи.

### 3.5. ПЕРЕДНЯЯ И ЗАДНЯЯ БАБКИ

**Передняя бабка** (рис. 3.10) станка мод. 3М151 расположена на столе станка и предназначена для установки и закрепления заготовки, передачи ей вращательного движения круговой подачи. Шпиндель передней бабки (рис. 3.10, а) круглошлифовального станка неподвижен, а вращение заготовка получает от электродвигателя 1 через две

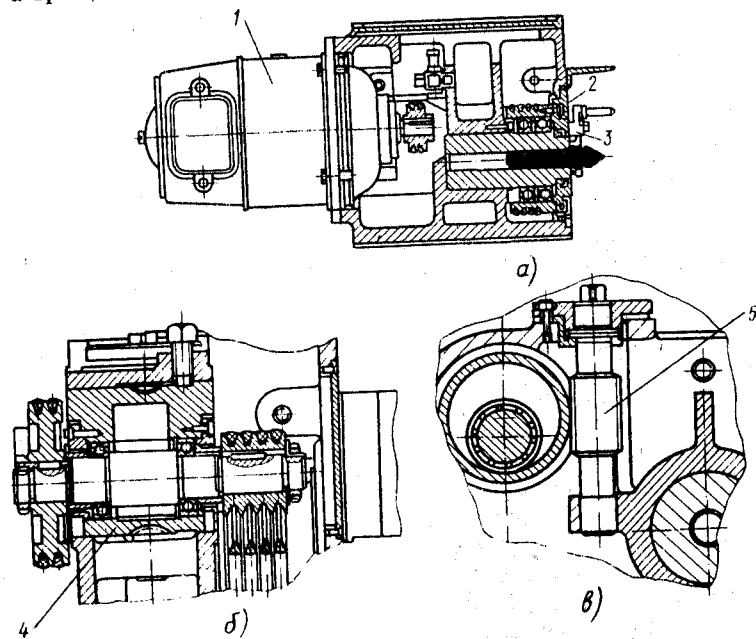


Рис. 3.10. Передняя бабка круглошлифовального станка

клиноременные передачи, планшайбу 2 и поводок 3. Частота вращения планшайбы регулируется. Натяжение ремней в передаче поддерживается с помощью натяжного ролика (рис. 3.10, б), эксцентриковой втулки 4, поворачиваемой червяком 5 (рис. 3.10, в).

**Задняя бабка** (рис. 3.11) имеет пиноль, в отверстии которой установлен задний центр 1, поддерживающий второй конец заготовки при ее установке в центрах (передний центр установлен в передней бабке). Осевое усилие при закреплении заготовки обеспечивается пружиной 2. Отвод пиноли производится рукояткой 3 или плунжером 4 с помощью реечной передачи.

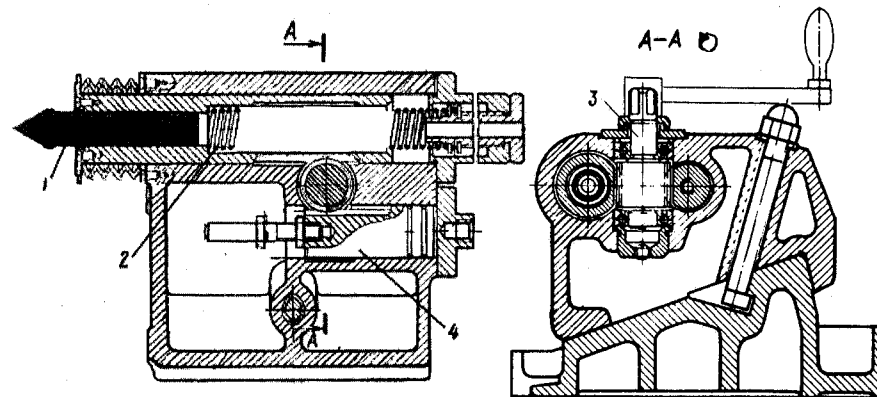


Рис. 3.11. Задняя бабка круглошлифовального станка

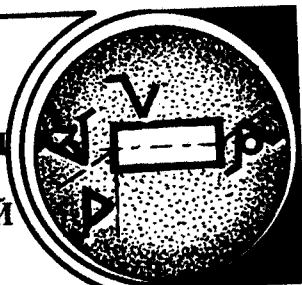
Устройство других узлов, назначение и принцип работы различных механизмов станков, электрооборудования, гидрооборудования, системы управления и другие технологические вопросы будут раскрываться последовательно в процессе изучения курса.

### Контрольные вопросы

1. Перечислите составные части шлифовального станка и расскажите о их назначении.
2. Как уменьшают трение в направляющих станка?
3. Как осуществляется главное движение резания в шлифовальных станках?
4. Проанализируйте передачу движения с помощью механизмов подачи.
5. Расскажите о назначении и устройстве передней и задней бабок круглошлифовального станка.

# ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

4



## 4.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА

Процесс создания материальных благ называется *производством*. Оно представляет собой естественное условие человеческой жизни и материальную основу всех видов деятельности. Совокупность взаимосвязанных процессов, обеспечивающих технологическую готовность предприятия к выпуску изделий заданного уровня качества при установленных сроках, объеме выпуска и затратах, называется *технологической подготовкой производства*. Количество изделий определенных наименований, типоразмера и исполнения, изготавливаемых или ремонтируемых в течение планируемого интервала времени, называют *объемом выпуска*. Перечень наименований изготавливаемых или ремонтируемых изделий с указанием объема выпуска и срока выполнения по каждому наименованию называют *программой выпуска*.

Потребность народного хозяйства в различных изделиях неодинакова. Например, некоторые машины требуются в очень большом количестве (автомобили, тракторы и т. п.), а других достаточно иметь в малых количествах, их изготавливают по несколько единиц в партии или даже в единственном числе. Поэтому различают три типа производства: *единичное, серийное и массовое*, которые количественно можно характеризовать *коэффициентом закрепления операций*, т.е. отношением числа технологических операций к числу рабочих мест. Часть пространства, приспособленная для выполнения работником или группой работников производственного задания, называется *рабочим местом*. Законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте, называется *технологической операцией*.

*Массовое* производство характеризуется узкой номенклатурой и большим объемом выпуска изделий, изготавливаемых или ремонтируемых в течение продолжительного времени.

*Серийное* производство характеризуется ограниченной номенклатурой изделий, изготавливаемых или ремонтируемых периодически повторяющимися партиями, и сравнительно большим объемом выпуска. В зависимости от количества изделий в партии или серии различают крупносерийное, среднесерийное и мелкосерийное производство. В *мелкосерийном* производстве коэффициент закрепления операций — отношение числа различных операций, выполняемых в течение ме-

сяца, к числу рабочих мест — колеблется в диапазоне 20–40, в *среднесерийном* — в диапазоне 10–20, в *крупносерийном* — равен 1, как и в массовом производстве.

*Единичное* производство характеризуется широкой номенклатурой изготавливаемых или ремонтируемых изделий и малым объемом выпуска изделий, коэффициент закрепления операций больше 40.

На одном и том же предприятии и даже в одном и том же цехе могут быть различные виды производства.

Производство образцов, партий или серий изделий для проведения исследовательских работ или для разработки конструкций и технологической документации для установившегося процесса называют *опытным производством*. Форма организации производства, характеризующая совместным изготовлением или ремонтом изделий различной конфигурации на специализированных рабочих местах, называется *групповой организацией производства*. Если средства технологического оснащения расположены в последовательности выполнения операций технологического процесса и специализации рабочих мест, то такую форму называют *поточной организацией производства*. При поточном производстве заготовки или сборочные единицы последовательно перемещаются с одного рабочего места на другое.

## 4.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда, называют *технологическим процессом*. По методу выполнения различают следующие составные части технологических процессов: формообразование (литье, формование, гальваноластика); обработку (резанием, давлением, термическую, электрофизическую, электрохимическую, нанесение покрытия); сборку (сварку, пайку, склеивание, узловую и общую сборку); контроль качества продукции и ремонт.

Технологический процесс может быть проектным, рабочим, единичным, типовым, стандартным, временным, перспективным, маршрутным, операционным, маршрутно-операционным. Определение этих терминов дано в ГОСТ 3.1109–82.

На производстве рабочему чаще всего приходится сталкиваться со следующими технологическими процессами: 1) *типовой технологический процесс*, характеризуемый единством содержания и последовательности большинства технологических операций и переходов для группы изделий с общими конструктивными признаками; 2) *временный технологический процесс*, применяемый на предприятии в течение ограниченного периода времени из-за отсутствия надлежащего оборудования или в связи с аварией до замены на более современный; 3) *маршрутный технологический процесс*, выполняемый по документации, в которой содержание операций излагается без указания переходов и режимов обработки.

Технологический процесс, выполняемый по документации, в которой содержание операций излагается с указанием переходов и режимов обработки, называется *операционным технологическим про-*

цессом. Существует также комбинированный вид *маршрутно-операционного технологического процесса*, когда в документации содержание отдельных операций излагается без указания переходов и режимов резания. Описание технологических операций изготовления или ремонта изделия в их технологической последовательности приводят с соблюдением правил записи этих операций и их кодирования. Например, операции обработки резанием разбиты на группы операций. Каждой группе присвоены определенные номера, например: 06 — отделочная (операции на хонинговальных, притирочных, полировальных, суперфинишных станках); 08 — программная (операции на станках с программным управлением); 12 — сверлильная; 14 — токарная; 16 — шлифовальная.

При записи содержания операций используют установленные ключевые слова технологических переходов и их условные коды, например: 05 — довести; 08 — заточить; 18 — полировать; 19 — притирать; 29 — суперфинишировать; 30 — точить; 31 — хонинговать; 33 — шлифовать; 36 — фрезеровать; 81 — закрепить; 82 — настроить; 83 — переустановить; 90 — снять; 91 — установить.

Часть технологической операции, осуществляемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой сборочной единицы, называется *установом*.

Фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой (или собираемой сборочной единицей) совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования для выполнения определенной части операции, называют *позицией*.

К основным элементам технологической операции относятся также переходы. *Технологическим переходом* называется законченная часть технологической операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах и установке. *Вспомогательным переходом* называется законченная часть технологической операции, состоящая из действия человека и (или) оборудования, которые не сопровождаются изменением свойств предметов труда, но необходимы для выполнения технологического перехода.

Законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, шероховатости поверхности или свойств заготовки, называется *рабочим ходом*. *Вспомогательным ходом* называется законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, но сопровождаемого изменением формы, размера, шероховатости поверхности или свойств заготовки, но необходимого для выполнения рабочего хода.

**Примеры записи операций и переходов.** Операция — шлифовальная; основной (технологический) переход — шлифовать поверхность, выдерживая размеры 1—3 (указываются порядковые номера размеров, выдерживаемых на данном переходе). Вспомогательные переходы:

установить заготовку; закрепить заготовку. В конце перечня переходов операции следует написать: снять заготовку.

Вспомогательные переходы обозначают заглавными буквами русского алфавита. Они записываются с использованием ключевых слов: выверить, закрепить, настроить, переустановить, переместить, проверить, смазать, снять, установить. Основные переходы на данной операции при записи их содержания нумеруются арабскими цифрами и начинаются с ключевого слова, характеризующего метод обработки.

Дополнительная и основная информация после названия технологического перехода (ключевого слова) приводится в определенной последовательности. Вначале указывают количество последовательно или одновременно обрабатываемых поверхностей (2, 3, 4,...), затем характеристику поверхности, например: коническая наружная, фасонная (... поверхность), глухое, сквозное (... отверстие) и т. д. После второй дополнительной информации в записи содержания операции указывают наименование предмета производства, обрабатываемых поверхностей и конструктивных элементов (например, заготовка, поверхность, сфера, торец, конус, контур, фаска, отверстие, выточка, галтель, буртик, резьба и т. д.). После наименования предметов производства, обрабатываемых поверхностей или конструктивных элементов приводят условные обозначения размеров и конструктивных элементов с числовыми значениями, но без указания единиц измерения (мм). Запись начинают со слов «выдерживая...» или «выдерживая размеры...» и принимают следующие обозначения:  $d(D)$  — диаметр;  $l$  — длина;  $b$  — ширина;  $\angle$  — угол;  $h$  — глубина, высота;  $R$  — радиус поверхности. Дополнительно указывают характер обработки или качество одновременно (последовательно) обрабатываемых поверхностей (например, окончательно, предварительно, одновременно, последовательно, по копиру, по программе, согласно чертежу, согласно эскизу и т. д.).

Любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии, называется *изделием*. Изделие, выполненное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций, называется *деталью*. Изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на сборочных операциях, производимых на предприятии-изготовителе, называют *сборочной единицей*.

Предмет производства, из которого изменением формы, размеров, шероховатости поверхности и свойств материала изготовляют деталь или неразъемную сборочную единицу, называется *заготовкой*. Заготовка перед первой технологической операцией называется *исходной заготовкой*. Материал исходной заготовки называют *основным материалом*. Материал, расходуемый при выполнении технологического процесса дополнительно к основному материалу, называют *вспомогательным материалом*. *Полуфабрикатом* называется изделие предприятия-поставщика, подлежащее дополнительной обработке или сборке. Совокупность свойств изделий (продукции), обуславливающих их пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением, называется *качеством продукции*.

#### 4.3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ

При оформлении технологических процессов создается технологическая документация. Единой системой технологической документации (ЕСТД) предусмотрены следующие документы: маршрутная карта, карта эскизов, операционная карта, ведомость оснастки, ведомость материалов и т. д. Описание содержания технологических операций, т.е. маршрутного технологического процесса, приводят в маршрутных картах — основном технологическом документе в условиях единичного и опытного производства, с помощью которого технологический процесс доводится до рабочего места. В маршрутной

карте в соответствии с установленными формами указываются данные об оборудовании, оснастке, материальных и трудовых затратах. Изложение операционного технологического процесса проводится на операционных картах, составляемых совместно с картами эскизов. Составление комплекта операционных карт, карт эскизов, различных ведомостей применяют в серийном и массовом производствах.

Графический технологический документ, который по своему назначению и содержанию заменяет на данной операции рабочий чертеж детали, называется *операционным эскизом*. Главная проекция на операционном эскизе изображает заготовку в том виде, который она имеет со стороны рабочего места у станка после выполнения операции. Обрабатываемые поверхности заготовки на операционном эскизе показываются утолщенной сплошной линией, толщина которой в 2–3 раза больше толщины основных линий на эскизе. На операционном эскизе указываются только те числовые значения размеров, которые определяют обрабатываемые на данной операции поверхности и их положение относительно баз. Можно приводить также справочные данные с указанием «размеры для справок». На операционном эскизе указываются предельные отклонения в виде чисел или условных обозначений полей допусков и посадок согласно стандартам. Указывается также шероховатость обрабатываемых поверхностей, которая должна быть обеспечена данной операцией.

Подготовка технологического оборудования и оснастки к выполнению определенной технологической операции называется *наладкой*. Для выполнения переходов и операций технологического процесса, осуществляемого способом автоматического получения размеров детали, разрабатывают *схему наладок*, которая для данной операции содержит упрощенное изображение инструментов, державок, суппортов, головок и т. п. и поверхностей заготовки для каждого перехода. Заготовку на схеме изображают в виде, который она должна иметь после осуществления перехода и с теми размерами и отклонениями, которые требуется при этом обеспечить. Правила записи операций и переходов, их кодирования и заполнения карт данными определены стандартами и методическими материалами головной организации по разработке Единой системы технологической документации (ЕСТД).

#### 4.4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ БАЗЫ

Число возможных перемещений твердого тела в пространстве равно шести: трем возможным перемещениям вдоль неподвижных координатных осей и трем возможным поворотам вокруг этих осей или параллельных им. Придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат называется *базированием*. Процесс базирования заготовки или изделия называется *установкой*. Приложение сил и пар сил к заготовке или изделию для обеспечения постоянства их положения, достигнутого при базировании, называется *закреплением*. Следовательно, для обеспечения неподвижности заготовки или изделия в выбранной системе координат

необходимо иметь шесть опорных точек, обозначаемых специальными знаками, которые обеспечивают шесть двусторонних геометрических связей. Три точки (рис. 4.1) определяют установочную плоскость (накладывают связь на одно поступательное перемещение вдоль оси Z и поворот вокруг осей X и Y), две точки определяют направляющую плоскость (накладывают связь на перемещение вдоль осей X и Y и поворот вокруг оси Z) и одна точка находится в опорной плоскости (накладывает связь на перемещение вдоль оси Y).

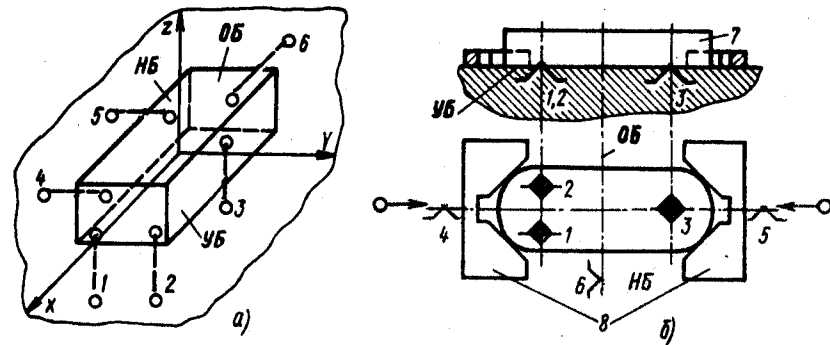


Рис. 4.1. Схема базирования (а) и установки (б) заготовки на шесть опорных точек: 1–6 – двусторонние связи по опорным точкам, 7 – заготовка, 8 – губки тисков; УБ – установочная база, НБ – направляющая база, ОБ – опорная база

Поверхность (или выполняющее ту же функцию сочетание поверхностей, осей, точек), принадлежащая заготовке или изделию и используемая для базирования, называется *базой*. База, лишающая заготовку или изделие трех степеней свободы – перемещения вдоль координатной оси и поворота вокруг двух осей, называется *установочной*. База, лишающая заготовку или изделие двух степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси, называется *направляющей*. База, лишающая заготовку или изделие одной степени свободы – перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси, называется *опорной*. База, лишающая заготовку или изделие четырех степеней свободы – перемещений вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей, называется *двойной направляющей*, а лишающая заготовку или изделие двух степеней свободы – перемещений вдоль двух координатных осей, *двойной опорной*.

База заготовки или изделия в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисок называется *явной*, а в виде воображаемой плоскости, оси или точки – *скрытой*. Точка, символизирующая одну из связей заготовки или изделие с выбранной системой координат, называется *опорной точкой*. Схема расположения опорных точек на базах заготовки или изделия называется *схемой базирования*. Все многообразие поверхностей деталей сводят к четырем видам: 1) исполнительные поверхности, с помощью которых деталь выполняет свое служебное назначение; 2) основные

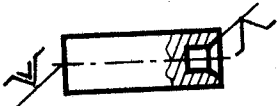
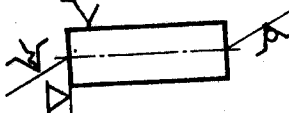
базы, с помощью которых определяется положение детали в изделии; 3) вспомогательные базы, с помощью которых определяется положение присоединяемых деталей относительно данной; 4) свободные поверхности, не соприкасающиеся с поверхностями других деталей. База, выбранная при проектировании изделия, технологического процесса изготовления или ремонта этого изделия, называется *проектной базой*, а фактически используемая в конструкции при изготовлении или ремонте изделия, *действительной*. Отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при базировании от требуемого называется *погрешностью базирования*. Отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при установке от требуемого называется *погрешностью установки*.

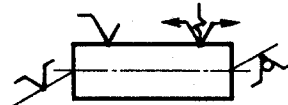
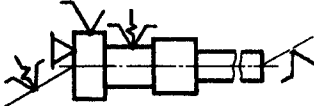
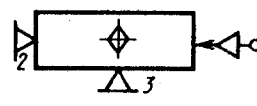
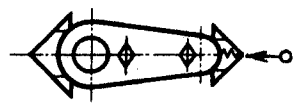
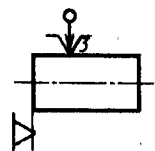
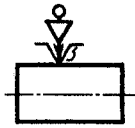
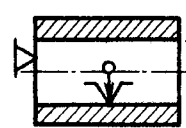
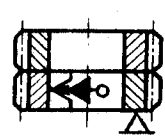
По назначению различают несколько видов баз: *конструкторскую*, используемую для определения положения детали (или сборочной единицы) в изделии; *вспомогательную* — конструкторскую базу, принадлежащую данной детали (или сборочной единице) и используемую для определения положения присоединяемого к ним изделия; *технологическую*, используемую для определения положения заготовки (или изделия) в процессе изготовления или ремонта; *измерительную*, используемую для определения относительного положения заготовки (или изделия) и средства измерения.

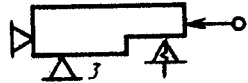
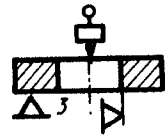
Для обеспечения контакта между поверхностями заготовки и опорными точками необходимо приложить зажимные усилия, которые рекомендуется располагать против опорных точек.

Приняты условные графические обозначения технологических баз, опор и зажимных устройств, которые позволяют на операционных эскизах технологических процессов изображать вид установки заготовки на каждой операции. В табл. 4.1 приведены некоторые примеры выполнения схем установки заготовок на станках.

4.1. Схемы установок заготовок

Установка	Условное графическое изображение
В центрах, на рифленом и гладком центрах	
В центрах, с плавающим и вращающимся центрами и поводковым патроном с упором в торец	

Установка	Условное графическое изображение
В центрах, на гладком и вращающемся центрах, в поводковом патроне и в подвижном люнете	
В центрах, с плавающим и гладким центрами, в поводковом патроне с упором в торец; в неподвижном люнете	
В приспособлении с опорой на плоскость, с пневматическим зажимом	
В неподвижной и подвижной призмах с опорой на плоскость, с механическим зажимом	
В трехкулачковом механическом патроне с упором в торец	
В трехкулачковом пневматическом патроне без упора в торец	
На разжимной цилиндрической оправке механического типа с упором в торец	
На цилиндрической оправке с гидравлическим зажимом с упором в торец	

Установка	Условное графическое изображение
В приспособлении с механическим зажимом с опорой на плоскость и с одной подвижной опорой	
В приспособлении с электромагнитным зажимом, с опорой на плоскость и с базированием на отверстие	

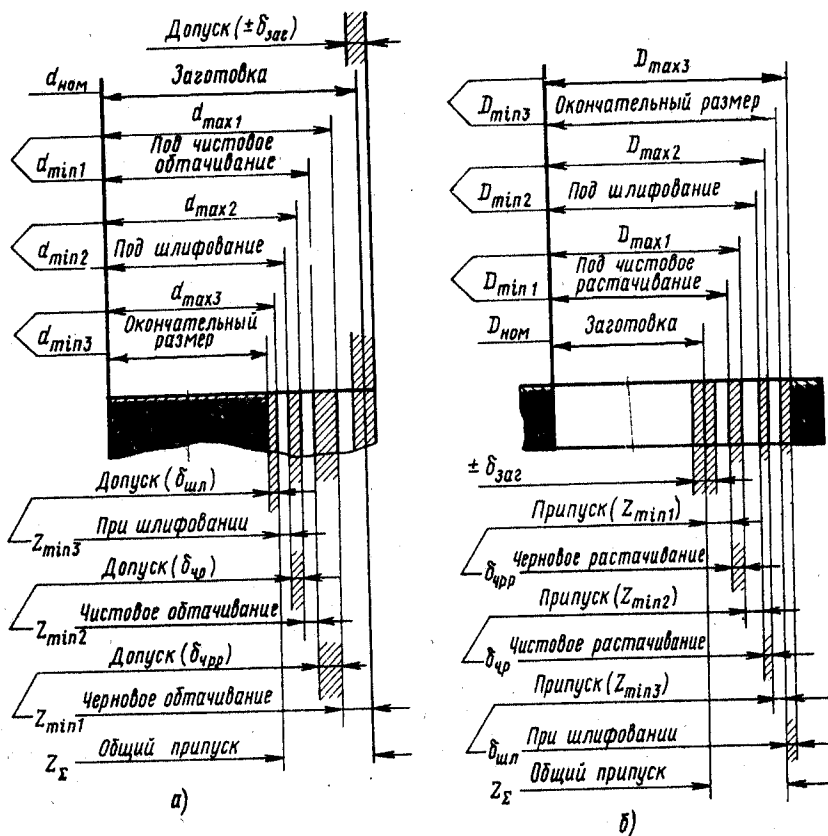


Рис. 4.2. Схема расположения припусков в различных стадиях обработки вала (а) и отверстия (б)

#### 4.5. ПРИПУСКИ НА ОБРАБОТКУ РЕЗАНИЕМ

Слой металла или материала, удаляемый в процессе выполнения всех операций обработки данной поверхности детали, называется *общим припуском*. От величины припуска зависят продолжительность обработки, затраты на нее, расход электроэнергии и количество стружки. Чрезмерно большие припуски снижают производительность обработки, повышают расход металла на единицу изделия. Во избежание этого размеры и форму заготовки приближают к размерам и форме готовой детали. Это учитывают при изготовлении отливок, поковок, штамповок, стремясь снизить припуск на обработку резанием. Однако многие поверхности приходится обрабатывать резанием, чтобы обеспечить заданные требования по точности размеров, формы и расположения поверхностей. Обработка обычно проводится в несколько операций и переходов.

*Межпереходным припуском* на обработку называется слой металла или материала, оставленного после данного перехода для выполнения последующего перехода обработки. Припуски на обработку резанием для элементарных поверхностей заготовок назначают по справочным таблицам или определяют расчетным методом.

При расчете общего припуска  $Z_{\Sigma}$  учитывают допуски  $\delta$  на размеры заготовки и после выполнения переходов, погрешности установки заготовки, пространственные отклонения поверхностей, толщину дефектного поверхностного слоя и высоту микронеровностей, оставшихся от предшествующей обработки. Схема расположения припусков в различных стадиях обработки вала и отверстия показана на рис. 4.2.

#### 4.6. ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ

При изготовлении деталей из заготовок необходимо выдерживать определенные геометрические параметры поверхностей: их размеры, форму и относительное расположение. Степень приближения истинного значения рассматриваемого параметра к его теоретическому значению называется *точностью*. Различают точность отдельной детали и точность партии деталей.

На рис. 4.3 показаны отклонения геометрических параметров отдельной детали различных порядков. Действительная поверхность отдельной детали может иметь следующие отклонения от ее номинальной поверхности (рис. 4.3, а): размера ( $\Delta D$ ); расположения поверхностей ( $e$ ); формы поверхности ( $\Delta \Phi$ ); волнистость; шероховатость.

Отклонения могут иметь разные числовые значения, некоторые из них могут зависеть от какой-либо координаты (например, от осевой координаты  $X$ , т. е. от положения поперечного сечения детали). Мерой точности параметра является допускаемое отклонение числовой характеристики от его номинального или расчетного значения в соответствии с заданными единичными рядами допусков, называемыми *качествами*.

Числовое значение линейной величины (длины, диаметра, ширины) в выбранных единицах измерения называется *размером*. Размер, уста-

новленный измерением с допустимой погрешностью, называется **действительным**, который может находиться между наибольшим и наименьшим предельными размерами. Разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами называется **допуском**. В СССР в настоящее время введена Единая система допусков и посадок, в которой ряды допусков представлены в 19 качествах, обозначаемых латинскими буквами *IT* и номером качества, возрастающим с увеличением допуска: 01, 0, 1, 2, 3, ..., 17, т. е. *IT01*, *IT0*, *IT1*, ..., *IT17*. Допуски по качествам от *IT01* до *IT7* назначаются на калибры и измерительные средства; *IT8*—*IT11*—на сопрягаемые размеры; *IT12*—*IT17*—на ответственные несопрягаемые размеры или размеры в грубых соединениях.

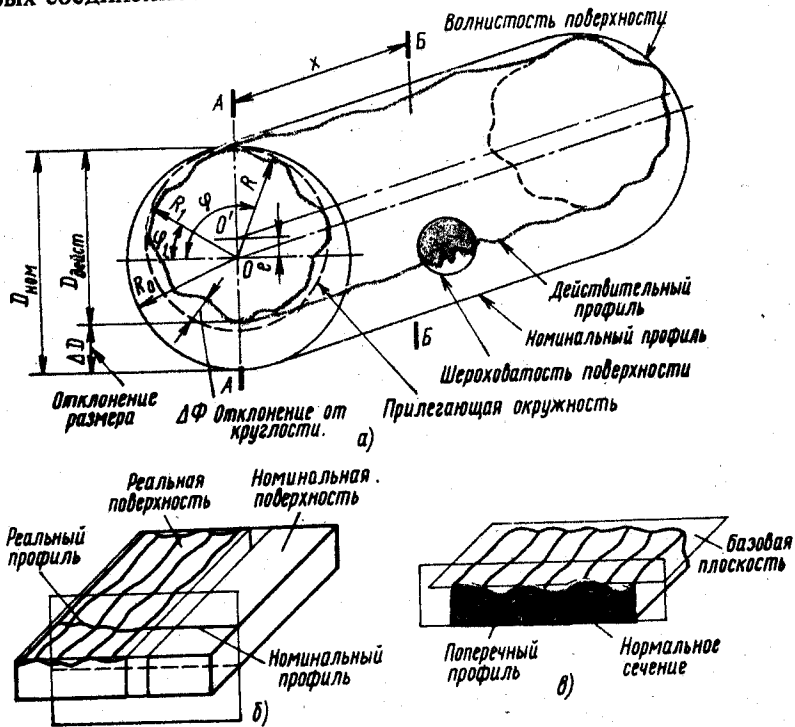


Рис. 4.3. Поверхности детали и отклонения геометрических параметров различных порядков

Ряды допусков строятся по такой закономерности: при переходе от качества к качеству допуски равномерно увеличиваются на 60%; начиная с 6-го качества через каждые пять качеств допуски увеличиваются в 10 раз. В качестве единицы точности, с помощью которой устанавливают зависимость изменения допуска от изменения номинального размера *D*, применяют единицу допуска *i*.

Для качеств с 5-го по 17-й единицу допуска *i* определяют по формуле  $i = 0,45 \sqrt[3]{D} + 0,001D$ .

Числовые значения допусков для качеств с 5-го по 17-й определяют в виде произведения единицы допуска *i* на безразмерный коэффициент *a*, установленный для данного качества, т. е.  $T = ai$ , где *a*—коэффициент, значения которого в зависимости от качества приведены ниже.

Квалитет	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>a</i>	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600

Для определения расположения поля допуска установлены ряды основных отклонений. Основное отклонение—одно из двух отклонений (верхнее или нижнее), используемое для определения положения поля допуска относительно нулевой линии. Основным является отклонение, ближайшее к нулевой линии. Условное обозначение основных отклонений состоит из одной или двух букв латинского алфавита. Прописными буквами обозначены основные отклонения отверстий, а строчными—валов.

Основное отверстие—отверстие, нижнее отклонение которого равно нулю ( $EI = 0$ ). Основной вал—вал, верхнее отклонение которого равно нулю ( $es = 0$ ). Основное отверстие и вал обозначаются соответственно буквами *H* и *h*. Набор входящих в единую систему основных отклонений относительно нулевой линии с их условными обозначениями показан на рис. 4.4.

Ряды основных отклонений от *A* (*a*) до *H* (*h*) предназначены для образования посадок с зазором; от *J* (*j*) до *N* (*n*)—переходных и от

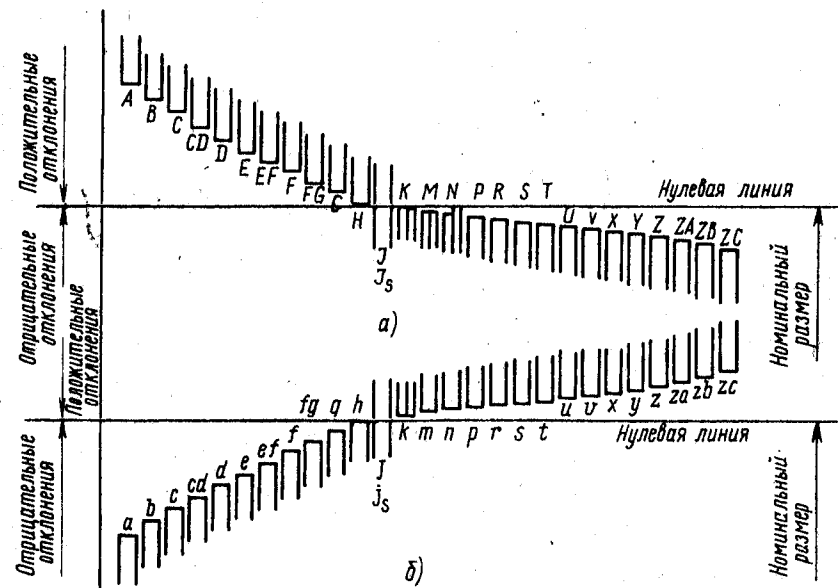


Рис. 4.4. Основные отклонения отверстий (а) и валов (б)



$P(p)$  до  $ZC(zc)$  — с гарантированным натягом. Сочетание основного отклонения с номером квалитета представляет собой поле допуска, которое проставляется в технической документации после номинального размера. Условное обозначение поля допуска состоит из обозначений основного отклонения и квалитета. Например, поля допусков для валов —  $h6, d11$ ; для отверстий  $H6, D11$ .

Пример в обозначении:  $\phi 40H10$  номинальный размер 40 мм относится к основному отверстию  $H$ , квалитет 10-й; в обозначении  $\phi 80h6$  номинальный размер 80 мм относится к основному валу с отклонением  $h$ , квалитет 6-й.

Образование различных посадок связано с понятиями: «посадки в системе отверстия» и «посадки в системе вала». Посадки в системе отверстия — это посадки, в которых различные зазоры или натяги получают соединением различных валов, имеющих различные предельные отклонения (например,  $g, m, p$  и др.), с основным отверстием  $H$ . Посадки в системе вала — это посадки, в которых различные зазоры или натяги получают соединением различных отверстий, имеющих различные предельные отклонения (например,  $F, R, N$  и др.), с основным валом  $h$ .

В обозначение посадки входит номинальный размер, общий для соединения, за которым следует дробь. В числителе дроби указывается поле допуска отверстия, а в знаменателе — поле допуска вала, например:  $\phi 60 \frac{H7}{e8}$ ;  $\phi 60 \frac{H8}{d9}$ ;  $\phi 60 \frac{H9}{f9}$  — посадки в системе отверстия;

$\phi 60 \frac{E9}{h8}$ ;  $\phi 60 \frac{F8}{h6}$ ;  $\phi 60 \frac{H8}{h7}$  — посадки в системе вала. Эти примеры показывают, что одну и ту же посадку можно получить как в системе отверстия, так и в системе вала.

Чтобы уменьшить номенклатуру калибров-пробок, оправок для приспособлений, режущих инструментов для обработки отверстий (протяжек, разверток), предпочтительнее использовать систему отверстия. В этом случае разные размеры у валов получают при их обработке на шлифовальном или токарном станке. Однако в ряде случаев, например при применении нормализованных или стандартизованных деталей, приходится применять систему вала с отклонениями под соответствующую посадку.

Система допусков зубчатых передач устанавливает 12 степеней точности, обозначаемых в порядке убывания с 1-й по 12-ю. Для каждой степени приняты независимые нормы допустимых отклонений параметров, определяющих кинематическую точность колес и передач, плавность работы и контакт зубьев. Величина гарантированного бокового зазора регламентируется шестью видами сопряжений:  $A, B, C, D, E, H$ . Установлено также шесть классов отклонений межосевого расстояния — с  $I$  по  $VI$ . Для конусов и призматических элементов деталей установлено 17 степеней точности, обозначаемых  $AT1, AT2, \dots, AT17$ . Для инструментальных конусов установлено пять степеней точности  $AT4, AT5, \dots, AT8$ .

Отклонения формы и расположения поверхностей имеют условные обозначения на чертежах по установленным требованиям. При нор-

мировании и количественной оценке отклонений формы и расположения поверхностей принят принцип прилегающих прямых, поверхностей и профилей. Вводятся следующие понятия:

реальная (действительная) поверхность — поверхность, ограничивающая деталь и отделяющая ее от окружающей среды (см. рис. 4.3, б); имеет отклонения формы, волнистость и шероховатость;

номинальная поверхность — идеальная поверхность, номинальная форма которой задана чертежом или другой технической документацией;

базовая поверхность — поверхность, имеющая форму номинальной поверхности и служащая базой для количественной оценки отклонения формы реальной поверхности (см. рис. 4.3, в);

прилегающая поверхность — поверхность, имеющая форму номинальной поверхности, соприкасающаяся с реальной поверхностью и расположенная вне материала детали так, чтобы отклонение от нее наиболее удаленной точки реальной поверхности имело минимальное значение (см. рис. 4.3, а);

отклонение формы — отклонение формы реальной поверхности или реального профиля от формы номинальной поверхности или номинального профиля; количественно отклонение формы оценивается наибольшим расстоянием ( $\Delta$ ) от точек реальной поверхности (профиля) до прилегающей поверхности (профиля) по нормали к прилегающей поверхности (профилю, см. рис. 4.3, а);

отклонение расположения — отклонение реального расположения рассматриваемого элемента (поверхности, оси или плоскости симметрии) от номинального;

суммарное отклонение формы и расположения — отклонение, являющееся результатом совместного проявления отклонения формы и отклонения расположения рассматриваемого элемента относительно заданных баз.

Стандартом установлены следующие виды отклонений формы: отклонение от прямолинейности — наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек реального профиля  $1$  до прилегающей прямой  $2$  в пределах нормируемого участка  $L$  или  $L_1$  и  $L_2$  (рис. 4.5, а — д); частными случаями являются выпуклость и вогнутость, отклонение от прямолинейности оси (или линии  $3, 4$ ) в пространстве или в заданном направлении  $5$ ;

отклонение от плоскостности — наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек реальной поверхности  $6$  до прилегающей плоскости  $7$  в пределах нормируемого участка (рис. 4.5, е — з); частными видами являются выпуклость и вогнутость;

отклонение от круглости — наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек реального профиля  $2$  до прилегающей окружности  $1$  (рис. 4.6, а — в); частными видами являются овальность (рис. 4.6, б) и огранка (рис. 4.6, в).

отклонение от цилиндричности — наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек реальной поверхности  $4$  до прилегающего цилиндра  $3$  в пределах нормируемого участка  $L$  (рис. 4.6, г);

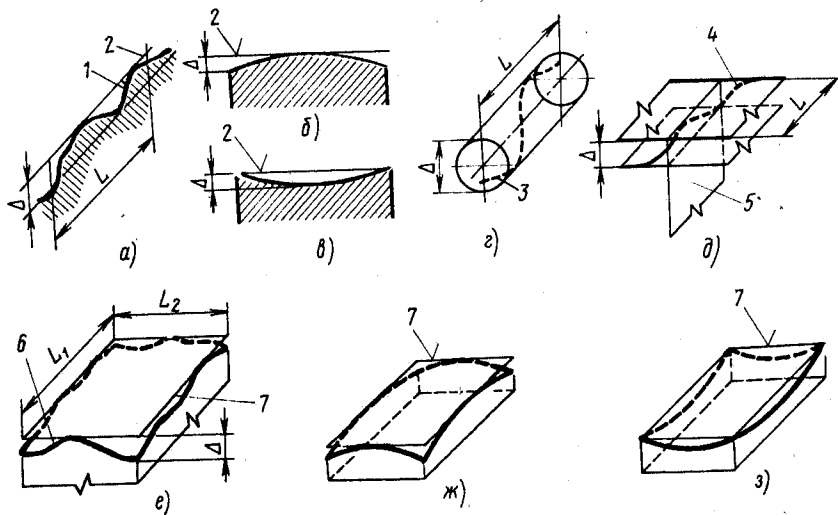


Рис. 4.5. Отклонения от прямолинейности (а - д) и плоскостности (е - з)

отклонение профиля продольного сечения — наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек образующих реального профиля 2, лежащих в плоскости, проходящей через ось цилиндрической поверхности до соответствующей стороны прилегающего профиля 1 в пределах нормируемого участка  $L$  (рис. 4.7, а); частными видами являются конусообразность (рис. 4.7, б), бочкообразность (рис. 4.7, в) и седлообразность (рис. 4.7, з).

Стандартом установлены следующие основные виды отклонений расположения поверхностей и элементов деталей машин и приборов: отклонение от параллельности плоскостей; оси и плоскости; прямой и плоскости; прямых в плоскости; осей (или прямых) в пространстве, перекос осей;

отклонение от перпендикулярности плоскостей; плоскости или оси (прямой) относительно оси (прямой); оси (или прямой) относительно плоскости;

отклонение наклона плоскости относительно плоскости или оси (прямой) и наоборот;

отклонение от соосности (относительно оси базовой поверхности; относительно общей оси);

отклонение от концентричности — расстояние между центрами номинальных окружностей;

отклонение от симметричности (относительно базового элемента, относительно общей плоскости симметрии);

позиционное отклонение — наибольшее расстояние  $\Delta$  между реальным расположением элементов (его центра, оси или плоскости симметрии) и его номинальным расположением в пределах нормируемого участка;

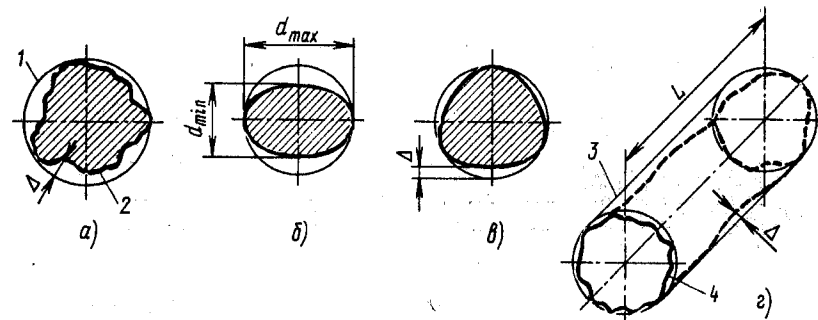


Рис. 4.6. Отклонения от круглости (а - е) и цилиндричности (з)

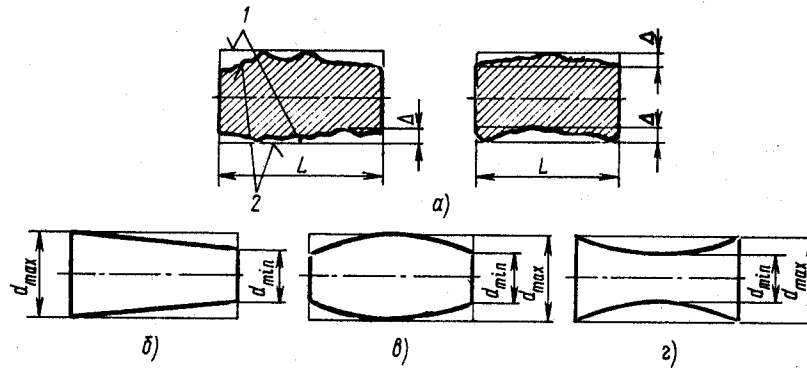


Рис. 4.7. Отклонения профиля продольного сечения цилиндрической поверхности:

а — отклонение профиля продольного сечения, б — конусообразность, в — бочкообразность, з — седлообразность

отклонение от пересечения осей — наименьшее расстояние между осями, номинально пересекающимися.

Стандарт устанавливает семь основных видов суммарных отклонений формы и расположения поверхностей: 1) радиальное биение (относительно базовой оси); 2) торцовое биение (относительно плоскости, перпендикулярной базовой оси); 3) биение в заданном направлении; 4) полное радиальное биение; 5) полное торцовое биение; 6) отклонение формы заданного профиля; 7) отклонение формы заданной поверхности.

Кроме перечисленных видов отклонений могут нормироваться и другие суммарные отклонения формы и расположения поверхностей, например суммарное отклонение параллельности и плоскостности.

Для обозначения на чертежах вида допуска формы или расположения графическим символом установлены определенные графические знаки. Эти знаки содержат информацию о виде допуска, буквенное или иное обозначение поверхности или другого элемента, для которых задается допуск; числовое значение допуска в мм; обозначение или наименование баз, относительно которых задается допуск, указание зависимых допусков формы и расположения (в необходимых случаях).

#### 4.7. ШЕРОХОВАТОСТЬ И ВОЛНИСТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

Элементарные отклонения геометрии реальной поверхности от номинальной поверхности в виде неровностей с относительно малыми шагами оценивают в виде шероховатости, а с относительно большими и периодически повторяющимися шагами — в виде волнистости поверхности.

Шероховатость и волнистость поверхности образуются при обработке заготовок и оказывают влияние на эксплуатационные показатели изделий, механизмов и машин. Поэтому, исходя из функционального назначения поверхности для обеспечения заданного качества изделий, устанавливают определенные требования к шероховатости поверхности

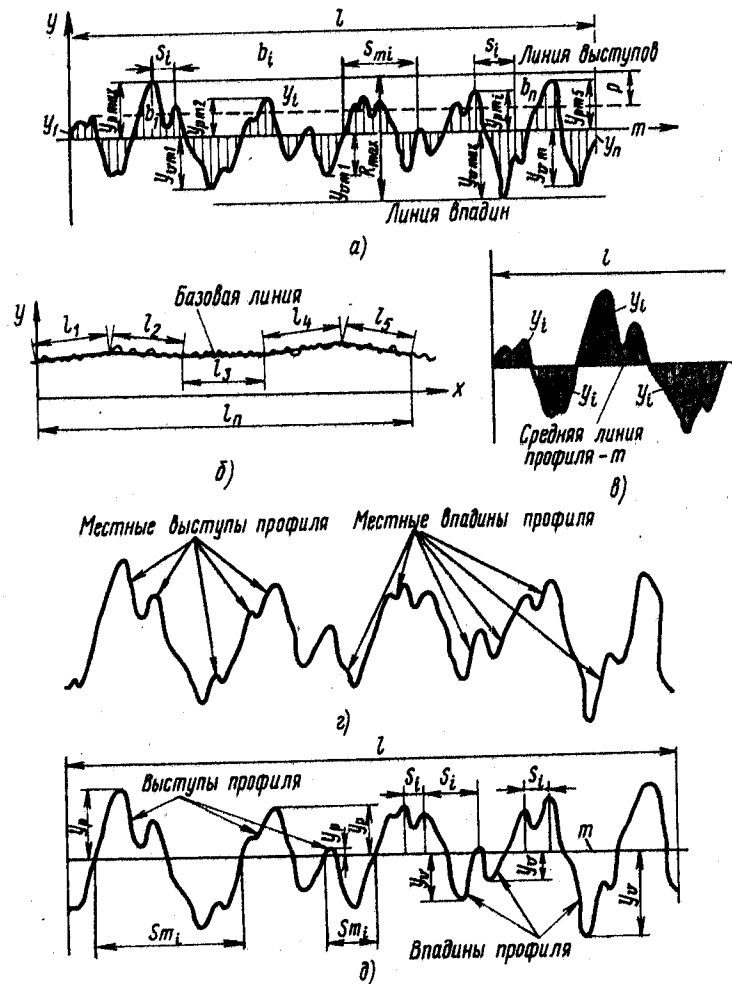


Рис. 4.8. Профиль шероховатости, его характеристики и параметры

независимо от способа ее получения или обработки. Для количественной оценки и нормирования шероховатости поверхности стандартом установлено шесть параметров: три высотных ( $Ra$ ,  $Rz$ ,  $R_{max}$ ), два шаговых ( $S_m$ ,  $S$ ) и параметр относительной опорной длины профиля ( $t_p$ ).

Для отличия шероховатости от других неровностей с относительно большими шагами используют линию заданной геометрической формы с установленной базовой длиной  $l$  в пределах 0,08–8,0 мм (рис. 4.8, а, б). Чем больше размеры высотных параметров шероховатости, тем больше назначают базовую длину. Стандартный ряд базовой длины: 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8,0 мм.

Длина оценки  $L$  — это длина линии, на которой оцениваются значения параметров шероховатости. Она может содержать одну или несколько базовых длин  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$  и т. д. (рис. 4.8, б).

Параметры шероховатости реальной поверхности оценивают по профилю поверхности (рис. 4.8, а, в). По отношению к направлению неровностей профиль может быть поперечным или продольным. Базовая линия, служащая для оценки геометрических параметров поверхности, проводится по отношению к профилю определенным образом. Обычно в качестве базовой принимают среднюю линию профиля  $m$  до этой линии является минимальным (рис. 4.8, в).

Между двумя соседними минимумами (или максимумами) профиля расположен местный выступ (местная впадина) профиля (рис. 4.8, г).

Часть профиля, соединяющая две соседние точки пересечения его со средней линией профиля, образует либо выступ профиля (если направлена из тела), либо впадину профиля (если направлена в тело). Выступ профиля и сопряженная с ним впадина образуют неровность поверхности (рис. 4.8, д). На профиле поверхности различают линию выступов профиля, линию впадин профиля и уровень сечения профиля  $p$  (рис. 4.8, а).

Расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины называют *наибольшей высотой неровностей профиля*  $R_{max}$  в пределах базовой длины. Она равна сумме высоты  $y_{pmax}$  наибольшего выступа профиля и глубины  $y_{vmax}$  — наибольшей впадины профиля. Расстояние между точкой профиля и базовой линией называют *отклонением профиля*  $y$ .

Сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины называется *высотой неровностей профиля по десяти точкам*  $Rz$ :

$$Rz = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pmi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vmi}|}{5}$$

Среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины называется *средним арифметическим отклонением профиля*  $Ra$ :

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$$

где  $n$  — число выбранных точек профиля на базовой длине. Свойства неровностей в направлении длины профиля оценивают по среднему шагу  $S_m$  неровностей профиля в пределах базовой длины (по средней линии профиля) и по среднему шагу  $S$  местных выступов профиля (по вершинам), находящихся в пределах базовой длины (рис. 4.8, д).

Свойства шероховатости, связанные с формой неровностей профиля, оценивают по наклону профиля и по опорной длине. Количественно их нормируют по относительной опорной длине профиля  $t_p$ , равной отношению суммы длин отрезков  $b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_n$ , отсекаемых на заданном уровне сечения  $p$  в материале профиля линией, эквидистантной (равноотстоящей) средней линии, к базовой длине  $l$ , т. е.  $t_p = \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{l}$ . С параметром  $t_p$  связана фактическая площадь контакта сопрягаемых поверхностей. С его возрастанием требуются более трудоемкие процессы обработки. Например, при  $t_p = 25\%$  можно ограничиться чистовым точением, а при  $t_p = 40\%$  необходимо применить хонингование.

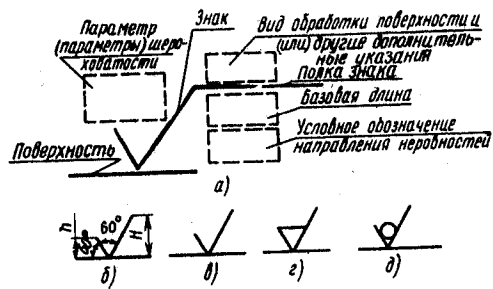


Рис. 4.9. Структура (а) и знаки обозначения шероховатости поверхности (б — д)

Стандартом установлены пределы числовых значений параметров шероховатости. Ряд числовых значений для среднего арифметического отклонения профиля  $Ra$  (мкм) установлен следующим (предпочтительные значения подчеркнуты): 400; 320; 250; 200; 160; 125; 100; 80; 63; 50; 40; 32; 25; 20; 16,0; 12,5; 10; 8,0; 6,3; 5,0; 4,0; 3,2; 2,5; 2,0; 1,60; 1,25; 1,0; 0,80; 0,63; 0,50; 0,40; 0,32; 0,25; 0,20; 0,160; 0,125; 0,100; 0,080; 0,063; 0,050; 0,040; 0,032; 0,025; 0,020; 0,0160; 0,012; 0,010; 0,008.

Для высоты неровностей профиля по десяти точкам  $Rz$  и для наибольшей высоты неровностей профиля  $R_{max}$  (мкм) предпочтительными значениями являются следующие: 400; 200; 100; 50; 25; 12,5; 6,3; 3,2; 1,60; 0,80; 0,40; 0,20; 0,100; 0,050; 0,025.

Шероховатость поверхностей обозначают на чертеже для всех выполняемых по данному чертежу поверхностей изделия независимо от методов их образования, кроме поверхностей, шероховатость которых не обусловлена требованиями конструкции.

Стандартом установлена структура обозначения шероховатости поверхности (рис. 4.9, а) и знаки обозначения (рис. 4.9, б). При наличии в

обозначении шероховатости только значения параметров применяют знак без полки (рис. 4.9, в — д). Знак, изображенный на рис. 4.9, в, является предпочтительным, его применяют для обозначения шероховатости поверхности, метод образования которой не устанавливается; знак, показанный на рис. 4.9, з, применяют для обозначения поверхности, которая должна быть образована удалением поверхностного слоя материала, например точением, шлифованием и т. п.; знак, показанный на рис. 4.9, д, применяют для обозначения поверхности, образуемой без удаления материала, например литьем, ковкой и т. п.

Символ  $Ra$  параметра шероховатости в отличие от символов остальных параметров не указывается перед его числовым значением.  $Ra, Rz, R_{max}$  задаются в мкм,  $S_m, S$  — в мм;  $t_p$  — в %; уровень  $p$  для параметра  $t_p$  — в % от  $R_{max}$ , т. е. отношением  $p/R_{max}$ .

Нормирование числовых значений параметров шероховатости проводят либо по наибольшим предельным значениям, либо с указанием диапазона значений параметра шероховатости  $Ra, Rz, R_{max}$ .

Для волнистости установлены три параметра: высота волнистости  $W_z$ , наибольшая высота волнистости  $W_{max}$  и средний шаг  $S_w$ . При плоском шлифовании  $W_z = 1,1 \div 3,8$  мкм,  $S_w = 1,1 \div 4,8$  мм; при притирке:  $W_z = 0,75 \div 2,0$  мм,  $S_w = 0,8 \div 4,0$  мм; при точении  $W_w = 1,0 \div 10,7$  мкм;  $S_w = 1,4 \div 9,0$  мм.

#### 4.8. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ

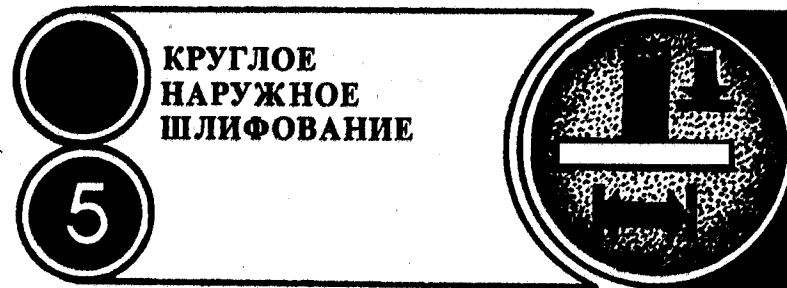
Для оценки качества продукции всех видов используют восемь видов показателей качества, которые можно разделить на две категории: 1) показатели экономического характера, характеризующие уровень материальных, трудовых и финансовых затрат, связанных с обеспечением качества изделия при его создании, производстве и эксплуатации; 2) показатели технического характера, отражающие степень пригодности изделия к использованию его по прямому назначению.

Совокупность свойств конструкции изделия, позволяющую сравнивать и оптимизировать затраты труда, средств, материалов и времени в принятых условиях изготовления, эксплуатации и ремонта при обеспечении установленных значений показателей качества, называют *технологичностью*. По области проявления различают два вида: производственную и эксплуатационную технологичность. По характеризующим свойствам различают также два вида: технологическую рациональность и конструктивно-технологическую преемственность. Технологическая рациональность конструкции характеризует возможность изготовления и эксплуатации данного изделия при использовании имеющихся в распоряжении общества материальных и трудовых ресурсов. В связи с этим понятие технологичности является понятием относительным. Изделие, достаточно технологичное в единичном производстве, может быть малотехнологичным в массовом производстве и совершенно нетехнологичным в поточно-автоматизированном производстве. Нетехнологичные конструкции могут стать вполне технологичными при новых

методах обработки. Показателями технологической рациональности конструкции являются показатели трудоемкости, себестоимости и материалоемкости изделия, а показателями преимущественности конструктивно-технологических решений — показатели повторяемости решений и применяемости унифицированных и стандартизованных решений.

#### Контрольные вопросы

1. Расскажите о типах производства и их особенностях.
2. Что называют технологическим процессом? Назовите составные части технологических процессов.
3. Что называют технологической операцией? Перечислите основные части технологической операции.
4. Расскажите о назначении технологических документов.
5. Расскажите о назначении базирования и перечислите основные виды баз.
6. Что называют точностью? Перечислите основные виды отклонений геометрических параметров детали.
7. Что называют припуском на обработку резанием?
8. Расскажите о параметрах шероховатости поверхности.



#### 5.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Операция круглого наружного шлифования предназначена для обработки наружных поверхностей деталей типа тел вращения с прямолинейными образующими. В качестве технологической базы используют центровые отверстия или наружные центровые поверхности. Для зажима заготовок на станке служат патроны и оправки различных видов и конструкций, поводковые и другие приспособления.

Главным движением (как и при любом виде шлифования) является вращение инструмента — шлифовального круга, а движение подачи, обеспечивающее срез металла со всей обрабатываемой поверхности, выполняется в различных видах круглого наружного шлифования по-разному. В зависимости от направления поступательного движения подачи различают несколько способов шлифования (табл. 5.1). Врезное шлифование обеспечивается движением подачи только в одном направлении, перпендикулярном обрабатываемой поверхности заготовки, которая шлифуется при ее вращательном движении. Осциллирующее шлифование, при котором шлифовальный круг или заготовка наряду с вращательным движением совершают возвратно-поступательное движение, предназначено для обработки поверхностей значительной длины, превышающей высоту шлифовального круга. Шлифование уступами (иногда такой способ называют комбинированным шлифованием) является комбинацией врезного и осциллирующего шлифования. Отдельные участки шлифуемой поверхности (уступы) обрабатывают последовательно врезанием круга, уступы при этом должны перекрывать друг друга. Затем оставшуюся часть припуска снимают, используя осциллирующее шлифование. Глубинное шлифование может быть с продольной подачей и врезным. При глубинном шлифовании с продольной подачей весь или почти весь припуск снимают за один проход инструмента. Шлифовальный круг при этом правят ступенькой или на конус. При глубинном врезном шлифовании заготовке сообщают медленное вращение. При этом шлифовальный круг с увеличенной подачей врезается в заготовку на всю или почти всю величину припуска, а за время одного оборота заготовки весь припуск снимается. Схема обработки аналогична обычному врезному шлифованию периферией круга.

Как вариант круглого наружного шлифования можно рассматривать и многокруговое шлифование — обработку одной или нескольких поверхностей одной и той же заготовки или нескольких заготовок несколькими шлифовальными кругами одновременно (см. табл. 5.1). При многокруговом шлифовании нескольких поверхностей подача круга осуществляется перпендикулярно оси заготовки или под некоторым углом к ней.

Выбор способа шлифования зависит от типа производства, особенностей конструкции деталей, величины снимаемого припуска и требований к точности и качеству обработки.

Наиболее характерным методом шлифования является осциллирующее шлифование, при котором припуск снимается постепенно: за большее количество продольных проходов стола и за большее количество оборотов заготовки. Наиболее часто заготовки шлифуют при параллельном расположении осей заготовки и шлифовального круга, реже — при пересекающихся осях.

В массовом и серийном производствах для обработки колец, втулок, ступиц зубчатых колес, цилиндрических и конических шеек на валах (коленчатые валы, распределительные кулачковые валы, ступенчатые валы и шпиндели) при длине шлифования до 100 мм обычно применяют врезное шлифование, при котором используется подача в направлении, перпендикулярном оси детали (см. табл. 5.1). При врезном шлифовании можно обрабатывать не только цилиндрические, но торцовые и конические поверхности. Этим же способом обрабатывают заготовки типа тел вращения с непрямолинейными образующими.

При врезном шлифовании с автоматической подачей до жесткого упора достигаемая точность обработки 8–9-го квалитетов, а при шлифовании с устройствами для автоматического контроля точность повышается до 5–7-го квалитетов.

При обработке заготовок длиной более 80 мм в условиях массового производства или при обработке более коротких заготовок в условиях индивидуального и мелкосерийного производств осуществляют осциллирующее шлифование с подачей в направлении, параллельном оси заготовок. После каждого продольного хода в одном направлении (одинарный ход) или в прямом и обратном направлениях (двойной ход) осуществляется подача врезанием. В зависимости от жесткости системы происходит деление припуска (по толщине удаляемого слоя) на фактическую глубину слоя, за один одинарный или двойной ход. Глубинное шлифование применяют для повышения производительности при невысоких требованиях к точности формы и шероховатости поверхности детали.

В массовом производстве многокруговое шлифование (см. табл. 5.1) позволяет резко сократить время обработки и обеспечить точность в пределах 5–8-го квалитетов (точность размеров в пределах 10–25 мкм, соосность поверхностей в пределах 5–10 мкм).

Если поверхности, подлежащие шлифованию, расположены на заготовке далеко одна от другой (коренные шейки распределительного вала, шейки на шпинделе станка и т. д.), то одновременное

шлифование несколькими кругами производится на станках, имеющих несколько шлифовальных бабок, имеющих независимые механизмы подачи. Подобные станки снабжают несколькими механизмами для правки кругов, активного контроля размеров в процессе шлифования.

## 5.2. РЕЖИМЫ ШЛИФОВАНИЯ

Все операции круглого наружного шлифования по интенсивности съема припуска делят на обдирочное, предварительное, окончательное и тонкое шлифование.

Обдирочное шлифование (без предварительной токарной обработки) предназначено для удаления с заготовок дефектного слоя материала после литья,ковки,штамповки,прокатки. Припуск на обработку составляет более 1 мм на диаметр. Такой припуск снимается на режимах скоростного шлифования со скоростью круга 35–60 м/с и высокоскоростного шлифования со скоростью свыше 60 м/с. После обдирочного шлифования точность обработки соответствует 8–9-му квалитетам, а параметр шероховатости  $Ra = 2,5 \div 5$  мкм.

Предварительное шлифование выполняют после токарной обработки, но перед термической обработкой заготовки. Предварительное шлифование производится со скоростью круга 40–60 м/с (скоростное шлифование). Точность обработки в пределах 6–9-го квалитетов, параметр шероховатости  $Ra = 1,2–2,5$  мкм.

Окончательное шлифование выполняют после термической обработки со скоростью круга 35–40 м/с. Точность окончательного шлифования соответствует 5–6-му квалитетам, параметр шероховатости  $Ra = 0,2 \div 1,2$  мкм.

Тонкое шлифование предназначено для получения малой шероховатости обрабатываемой поверхности (параметр  $Ra = 0,025 \div 0,1$  мкм). Снимается припуск при тонком шлифовании 0,05–0,10 мм на диаметр.

Для обеспечения требуемых качеств поверхности и точности деталей при круглом шлифовании заготовка перед обработкой должна иметь припуск, который удаляется в процессе обработки. Общий припуск, т.е. слой, удаляемый в процессе обработки детали от заготовки, полученной литьем,ковкойи прочими способами, до готовой детали, удаляется за несколько технологических операций.

В индивидуальном производстве шлифование обычно выполняется в одну операцию, в массовом и серийном производствах обработка ведется в одну, две и более операций в зависимости от величины припуска, требований к точности и качеству поверхности. Характеристику круга в зависимости от марки обрабатываемого материала, его термической обработки и вида шлифования выбирают по табл. 5.2.

Режим шлифования определяют интенсивностью съема  $Q$  металла (мм<sup>3</sup>/мин) в единицу времени (мин или с). Для ориентировочной оценки уровня режима шлифования и сопоставления различных случаев шлифования удобной величиной является приведенная линейная интенсивность съема металла, отнесенная к 1 мм активной части высоты круга, мм<sup>3</sup>/(мин · мм):  $Q_{уд} = Q/H$ .

5.1. Основные схемы обработки заготовок при круглом шлифовании

Название способа шлифования	Относительное расположение осей круга и заготовки	Направление движения подачи при шлифовании	Схема обработки	Характеристика способа шлифования
Врезное шлифование	Оси параллельные	Перпендикулярно оси заготовки		Врезное шлифование периферией круга
Осциллирующее шлифование	Оси параллельные	Параллельно оси заготовки		Врезное шлифование периферией и торцом круга
		Параллельное оси круга (продольная подача)		Врезное шлифование периферией и торцом нескольких кругов, установленных на одном шпинделе
Шлифование уступами	Оси параллельные	Параллельно оси заготовки		Осциллирующее шлифование периферией круга
		Параллельное оси круга (продольная подача)		Осциллирующее шлифование периферией круга конечной поверхности
Шлифование	Оси параллельные	1-й этап - перпендикулярно оси заготовки, 2-й этап - параллельно оси заготовки		Комбинированный способ врезного и осциллирующего шлифования цилиндрических поверхностей

Глубинное шлифование	Оси параллельные			Глубинное с продольной подачей (однопроходное) шлифование периферией круга
				Глубинное с продольной подачей (однопроходное) шлифование торцом и периферией круга
Многократное шлифование	Оси расположены под углом	Перпендикулярно оси заготовки (подача на врезание)		Многократное шлифование цилиндрической торцовой поверхности
				Многократное шлифование с подачей инструмента под углом к оси центров станка
				Многократное шлифование несколькими кругами

5.2. Выбор характеристики круга при круглом наружном шлифовании

Обрабатываемый материал	Термическая обработка	Характеристика круга											
		при врезном шлифовании					при шлифовании с продольной подачей						
		Абразивный материал	Зернистость	Твердость			Связка	Абразивный материал	Зернистость	Твердость			Связка
				Шлифование						Шлифование			
предела- ритель- ное	оконча- тель- ное	предела- ритель- ное	оконча- тель- ное	предела- ритель- ное	оконча- тель- ное	предела- ритель- ное	оконча- тель- ное	предела- ритель- ное	оконча- тель- ное				
Углеродистая сталь	Незакаленная Закаленная	14А, 15А, 16А, 23А, 24А, 25А	50-40 40	40-25 25	СТ2-СТ3 С1-С2	С2-СТ1 С1-С2	К	14А, 15А, 16А, 23А, 24А, 25А	50-40 40	40-25 25	С2-СТ1 СМ2-С1	С1-С2 СМ2-С1	К
		14А, 15А, 16А, 23А, 24А, 25А	50-40 40-25	40-25 40-25	СТ1-СТ2 С1-С2	С2-СТ1 СМ2-С1	К	14А, 15А, 16А, 23А, 24А, 25А	50-40 40-25	40-25	С2-СТ1 СМ1-СМ2	С1-С2 СМ1-СМ2	К
Мартанцовистая сталь	Закаленная	14А, 15А, 16А	50	25	С2-СТ1	С2-СТ1	К	14А, 15А, 16А	50	40	СТ1	С2	К
Хромистая сталь	Незакаленная Закаленная	14А, 15А, 16А, 23А, 24А, 25А	50-40 40	40-25 25	СТ1-СТ3 С2-СТ1	С2	К	14А, 15А, 16А, 23А, 24А, 25А	50-40 40	40-25 25	С2-СТ1 С1-С2	СМ2-С1 СМ2-С1	К

Никелевая сталь	Незакаленная Закаленная	14А-16А, 23А-25А	50 40	40-25 25	СТ1-СТ2 С1-С2	С2 СМ2	К	14А-16А, 23А-25А	50 40	40-25 25	СТ1-СТ2 С2-СТ1	С1-С2 СМ2-С1	К
		14А-16А, 23А-25А	50-40 40	40-25 25	СТ1-СТ3 С1-С2	С2 СМ2-С1	К	14А-16А, 23А-25А	50-40 40	40-25 25-16	СТ1-СТ2 С2-СТ1	С1-С2 С1-СТ1	К
Чугун	Серый Перлитный	52С-55С, 14А-16А	50-40 50	25	С2-СТ1 С1-С2	СМ2-С2 СМ2-С1	К	52С-55С, 14А-16А	40 50	25	С1-С2 СМ2-С1	СМ2-С1 СМ1-СМ2	К
		52С-55С, 14А-16А	80-50 40	40-25 40	С1-С2 СТ3	С1-С2 СТ1	К	52С-55С, 14А-16А	50 40	40-25 40	СМ2-С1 СТ1-СТ2	СМ2-С1 СМ2-С2	К
Алюминий и его сплавы	Медь	52С-55С	50	25	СМ1-СМ2 С1	СМ1-СМ2 С1	К	52С-55С	50	25	М3-СМ1 СМ1-СМ2	М3-СМ1 СМ1-СМ2	К
		52С-55С	50-40	25-16	С1 С1	СМ2-С1	Б	52С-55С	50-40	25-16	СМ1-СМ2 СМ2	СМ1-СМ2 СМ2	Б
Латунь	Мягкая	52С-55С	50-40	25	СМ2-С1 С1	СМ2-С1	К	52С-55С	50-40	25	СМ1-СМ2 СМ1	СМ1-СМ2 СМ1	К
		52С-55С	80-50	40-25	СМ2	СМ1-СМ2	К	52С-55С	80-50	40-25	СМ1-СМ2 СМ1	СМ1-СМ2 СМ1	К
Бронза	Твердая	52С-55С, 14А-16А	50-40	25-16	СМ2-С1	СМ2-С1	К	52С-55С, 14А-16А	50-40	25	СМ1-СМ2 СМ2	СМ1-СМ2 СМ2	К



Выбрав в зависимости от размеров детали, припуска на обработку, требований к шероховатости поверхности, точности обработки, характеристики станка и шлифовального круга определенную интенсивность съема металла, можно назначить окружную скорость заготовки  $v_1$ , продольную подачу  $S_0$  и подачу на глубину шлифования (поперечную подачу)  $t$ . Обычно режимы шлифования приводят в справочных таблицах (нормативах) режимов резания и времени обработки. По табл. 5.3 можно ориентировочно назначить режимы резания при круглом шлифовании, когда требования к точности и шероховатости поверхности не регламентированы. Последовательность выбора подач в таблице показана стрелками.

5.3. Режимы резания при круглом паружном шлифовании незакаленной стали

Продольная подача на один оборот детали (в долях высоты круга)			Скорость вращения заготовки, м/мин						
0,5			10-12,5	16	20	25	32		
0,63				10-12,5	16	20	25	32	
0,8					10-12,5	16	20	25	32
Диаметр шлифования, мм	Скорость вращения заготовки, м/мин	Частота вращения заготовки, об/мин	Поперечная подача на ход стола, мм/ход						
			0,019	0,015	0,012	0,0099	0,008	0,006	0,005
16-25	10-24	200-305	0,019	0,015	0,012	0,0099	0,008	0,006	0,005
25-40	10-26	125-210	0,022	0,017	0,014	0,011	0,009	0,007	0,005
40-63	11-28	85-140	0,026	0,021	0,016	0,013	0,010	0,008	0,006
80	20	85							
63-100	12-28	60-90	0,030	0,024	0,019	0,015	0,012	0,009	0,007
100-160	13-30	40-60	0,035	0,028	0,022	0,017	0,014	0,011	0,008
160-250	15,5-32	31-41	0,040	0,032	0,025	0,02	0,016	0,012	0,010
Св. 250	16-34	20-34	0,046	0,036	0,029	0,023	0,018	0,014	0,011

В зависимости от диаметра шлифуемой поверхности (в табл. 5.3 показано для диаметра 80 мм) выбирают скорость вращения заготовки (20 м/мин), назначают продольную подачу стола (0,63  $H$ , мм, где  $H$  — высота шлифовального круга) и определяют рекомендуемую подачу на глубину шлифования (0,015 мм/ход стола). Если поперечная подача осуществляется на двойной ход стола, то табличное значение удваивают.

Выбранные значения параметров режима шлифования следует уточнить с паспортными или фактическими значениями в зависимости от частоты вращения соответствующих шпинделей.

Скорость круга  $v_k$  рассчитывают по формуле

$$v_k = \frac{\pi D_k n_k}{1000 \cdot 60}$$

где  $D_k$  — диаметр круга, мм;  $n_k$  — частота вращения шлифовального шпинделя, об/мин.

Расчетную частоту вращения заготовки  $n_{з.р}$  определяют по формуле

$$n_{з.р} = \frac{1000 v_{з.р}}{\pi d_3}$$

где  $v_{з.р}$  — выбранная скорость заготовки, м/мин.

Уточнив это значение с возможностями станка, определяют фактическую скорость заготовки

$$v_3 = \frac{\pi d_3 n_3}{1000}$$

где  $n_3$  — принятая частота вращения заготовки по паспорту станка, об/мин.

Для разобранного примера имеем следующие паспортные данные: диаметр шлифовального круга в диапазоне 450–600 мм (фактический 550 мм), частота вращения заготовки в диапазоне 63–400 об/мин, регулирование бесступенчатое, частота вращения шпинделя шлифовальной бабки 1272 об/мин.

Подставляя в формулу фактические параметры режима резания, получим:

$$v_k = \frac{\pi D_k n_k}{1000 \cdot 60} = \frac{3,14 \cdot 550 \cdot 1272}{1000 \cdot 60} = 36,8 \text{ м/с,}$$

$$v_3 = \frac{\pi d_3 n_3}{1000} = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 85}{1000} = 21,4 \text{ м/мин.}$$

Продольная подача (при высоте круга  $H=65$  мм) на один оборот детали

$$S_0 = 0,63H = 0,63 \cdot 65 = 41 \text{ мм/об. детали.}$$

Скорость продольной подачи стола

$$S_{прод} = S_0 n_3 = 41 \cdot 85 = 3500 \text{ мм/мин} = 3,5 \text{ м/мин.}$$

Поперечная подача на глубину шлифования  $t=0,015$  мм/ход.

Интенсивность съема металла при шлифовании

$$Q_m = t S_0 v_3 = 0,015 \cdot 41 \cdot 21400 \approx 13200 \text{ мм}^3/\text{мин.}$$

Приведенная линейная интенсивность съема металла, отнесенная к 1 мм высоты круга:

$$Q_{уд} = \frac{Q_m}{H} = \frac{13200}{65} = 200 \text{ мм}^3/(\text{мин} \cdot \text{мм}).$$

Приведенная к единице длины высоты круга мощность шлифования  $N_{уд} = 0,12$  кВт/мм. Общая эффективная мощность шлифования  $N_{эф} = N_{уд} H = 0,12 \cdot 65 = 7,8$  кВт.

При выборе режимов шлифования для конкретных условий обработки приходится учитывать много факторов. Основными являются требования, предъявляемые к точности шлифования, шероховатости

обработанной поверхности, конструктивные особенности детали, механические свойства материала, тип производства. По табл. 5.4 можно ориентировочно выбрать режимы шлифования.

5.4. Режимы шлифования при круглом наружном шлифовании в центрах

Вид подачи при шлифовании	Характер обработки	Продольная подача в долях ширины круга	Окружная скорость заготовки, м/мин	Подача на глубину шлифования		
				мм/мин	мм/ход стола	мм/дв. ход стола
Врезное	Черновая	—	30—50	0,10—0,50	—	—
	Чистовая	—	20—40	0,05—0,20	—	—
С продольной подачей	Черновая	0,3—0,7	15—30	—	0,010—0,025	0,015—0,050
	Чистовая	0,2—0,4	20—60	—	0,005—0,010	0,005—0,010

### 5.3. УСТАНОВКА И КРЕПЛЕНИЕ ЗАГОТОВОК НА СТАНКЕ

При круглом наружном шлифовании заготовок используют несколько способов установки и крепления: в центрах, на оправках, в патронах различных конструкций и в специальных приспособлениях.

**Установка заготовок в центрах.** Установка заготовки 2 в центрах показана на рис. 5.1. Задний центр 3 и передний 6 не вращающиеся. Ось шлифовального круга 1 при обработке цилиндрической поверхности заготовки параллельна оси центров станка. Центр 6 установлен в шпинделе 5 передней бабки станка. Вращение от электродвигателя через

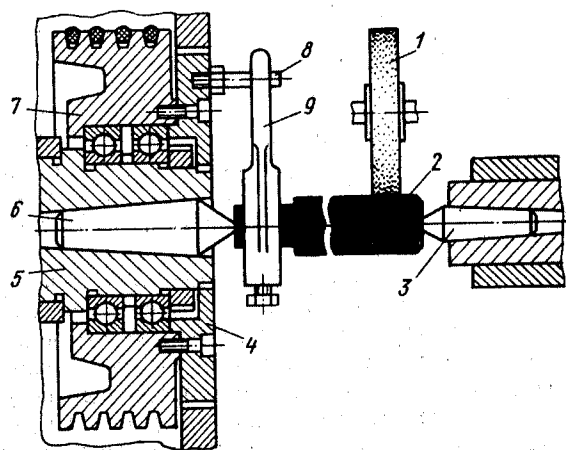


Рис. 5.1. Установка заготовки в неподвижных центрах круглошлифовального станка

шкив 7 клиноременной передачи передается заготовке 2 с помощью поводкового диска 4, пальца 8 и хомутика 9. Заготовки имеют на торцах специальные центровые отверстия, форма которых показана на рис. 5.2. Конические поверхности этих отверстий при установке заготовки совпадают с коническими поверхностями центров передней и задней бабок станка. Угол при вершине конуса центрального отверстия обычно равен  $60^\circ$  (рис. 5.2, а) и должен совпадать с углами центров станка, чтобы обеспечить плотное прилегание этих поверхностей друг к другу. Иногда центровые отверстия имеют кроме основного и предохранительный конус с углом  $120^\circ$  (рис. 5.2, б), что позволяет предохранить основную посадочную коническую поверхность центрального отверстия от повреждений случайными забоинами на торцевой поверхности детали.

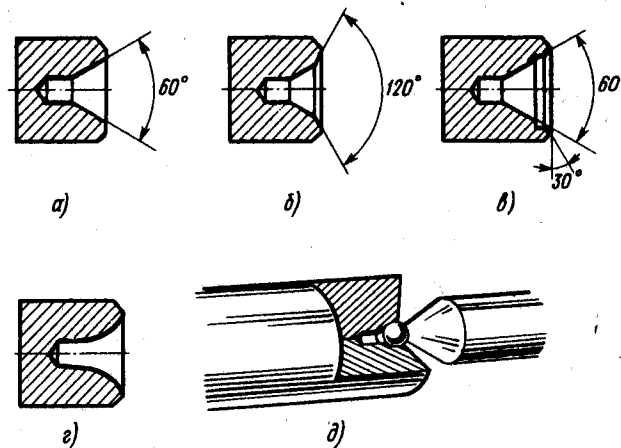


Рис. 5.2. Центровые отверстия:

а — без предохранительного конуса, б — с предохранительным конусом, в — с предохранительной выточкой, г — с криволинейной образующей, д — со сферической поверхностью центра

При повышенных требованиях к точности обработки вместо конической фаски применяют цилиндрическую предохранительную выточку (рис. 5.2, в), которая надежно предохраняет коническую посадочную поверхность отверстия от возможных забоин на торце заготовки вследствие случайных ударов.

Применяя центровые отверстия с прямолинейной образующей несущей поверхности, трудно обеспечить точное сопряжение конусов центрального отверстия заготовки с центрами станка, что ведет к снижению точности обработки. Поэтому в некоторых случаях применяют центровые отверстия с выпуклой дугообразной образующей несущего конуса (рис. 5.2, г). Преимущества центровых отверстий такой формы или сферических (рис. 5.2, д) в их нечувствительности к угловым погрешностям, лучшее удержание смазки, снижение погрешностей установки и повышение точности обработки. Заготовки, имеющие отверстия или

выточки на торце диаметром более 15 мм, обрабатывают в грибовых («гупых») центрах.

Если заготовка перед шлифованием подвергается термической обработке, то центровые отверстия перед установкой заготовки на станок должны очищаться от окалины, загрязнений путем шлифования или притирки. Для уменьшения трения между заготовкой и центрами станка необходимо вводить в центровые отверстия густую смазку или пользоваться центрами со специальными смазочными канавками. Если эффективность консистентной или жидкой смазки оказывается недостаточной, то следует применять специальные смазки для тяжелых условий работы. Можно также использовать белила, разведенные в индустриальном масле, или смесь, состоящую из 5% графита, 5% серы, 25% мела (тщательно размельченных и просеянных) и 65% солидола. Для повышения износостойкости центров их рабочие поверхности выполняют из твердого сплава или эти поверхности покрывают антифрикционными материалами.

Размеры центра задней бабки выбираются таким образом, чтобы он не препятствовал свободному выходу круга из контакта с заготовкой в момент реверсирования продольного перемещения стола: длина выступающей части центра из пиноли должна быть на 10–12 мм больше высоты шлифовального круга. Если диаметр центра окажется больше диаметра шлифуемой заготовки, то следует использовать срезанный центр, у которого боковая часть тела центра предварительно сошлифована в форме лыски. Для обеспечения более высокой точности обработки центры круглошлифовальных станков делают неподвижными. Однако тяжелые детали и детали с отверстиями, имеющие узкие центровочные фаски, приходится обрабатывать на вращающихся центрах.

**Установка заготовок на оправках.** Если заготовка имеет отверстие, то она может базироваться при обработке на оправке (рис. 5.3). Конструкции оправок разнообразны. По способу крепления оправки подразделяют на центровые (рис. 5.3, а, в, е) и консольные (рис. 5.3, г, д); по способу установки — на жесткие (рис. 5.3, а, д, е) и разжимные (рис. 5.3, б, в, г).

Заготовки, имеющие точные базовые отверстия с допуском 0,015–0,03 мм и менее, устанавливаются на жесткие оправки с небольшой конусностью (0,01–0,015 мм на 100 мм длины) или по прессовой посадке (рис. 5.3, а). При менее точных базовых отверстиях (с допуском более 0,03 мм) применяют разжимные оправки (рис. 5.3, б, в, г). Если заготовка базируется одновременно по торцу и отверстию, то применяют оправки со скользящей посадкой (зазор 0,01–0,02 мм), на которые устанавливают одну (рис. 5.3, д, е) или несколько (рис. 5.3, е) заготовок, закрепляемых гайкой.

При обработке тонкостенных заготовок применение жестких оправок может вызвать искажение формы заготовок, в этих случаях применяют разжимные оправки. У цапговых оправок (рис. 5.3, в) цапга 2 с продольными прорезями, перемещаясь с помощью гайки 5 по конусу 3, упруго разжимается и закрепляет заготовку 4. Штифт 6 удерживает ее от поворота, а гайка 1 предназначена для снятия заготовки.

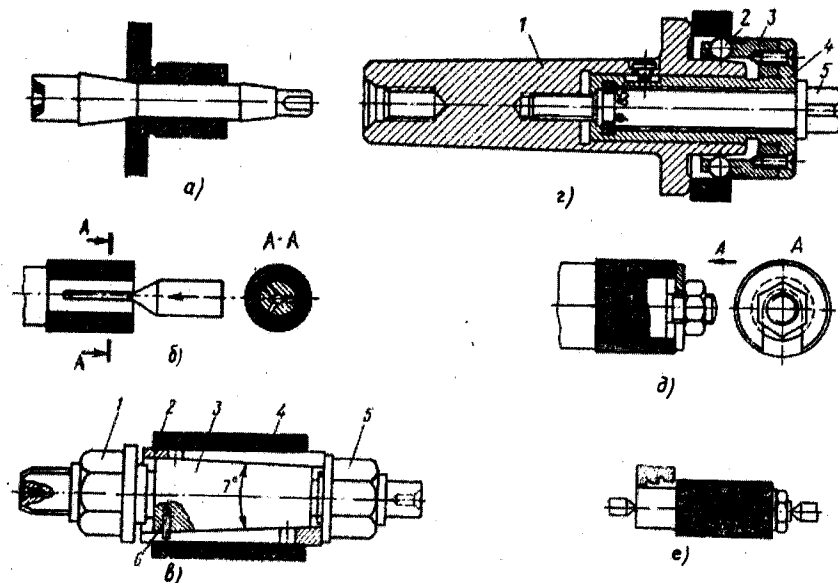


Рис. 5.3. Оправки:

а — жесткая с прессовой посадкой, б, в — жесткие: 1, 5 — гайки, 2 — цапга, 3 — конус, 4 — заготовка, 6 — штифт; г — разжимная со скользящей посадкой и закреплением гайкой: 1 — оправка, 2 — шарики, 3 — сепаратор, 4 — втулка, 5 — винт; д, е — жесткие для одной и нескольких заготовок

На рис. 5.3, г показана консольная шариковая оправка для коротких заготовок. В сепараторе 3 имеется шесть отверстий с шариками 2. Диаметр 6–10 мм, находящимися в контакте с конусом корпуса оправки 1. Осевое перемещение сепаратора в оправке производится винтом 5 через скользящую втулку 4, к которой прикреплен сепаратор. При перемещении и раздвижении шариков заготовка центрируется и одновременно поджимается к осевому упору. Для точного центрирования необходимо, чтобы шарики не отличались по диаметру больше, чем на 2 мкм, а установочный и центрирующий конусы были соосны. На шариковых оправках можно зажимать заготовки с разницей в диаметре до 5 мкм.

К разжимным относятся оправки с гидравлическим или гидропластовым зажимом

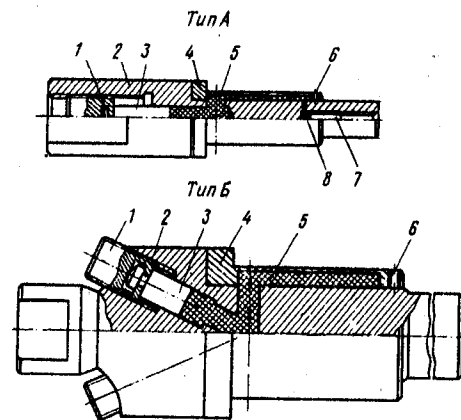


Рис. 5.4. Оправки с гидропластовым зажимом

(рис. 5.4). Эти оправки легче приспособить к неточностям формы отверстия, в результате чего точнее центрируется заготовка. На таких оправках зажимают заготовку вследствие деформирования тонкостенного цилиндра, находящегося под равномерным давлением изнутри. Для создания давления используется жидкость или пластмасса. Оправки подразделяются на два типа: А и Б. Тип А для диаметров 20–40 мм, тип Б — свыше 40 мм. На корпус напрессована втулка 2 и центрирующая втулка 4, которая стопорится винтом 6. Пространство между корпусом и втулкой заливается гидропластом 5. Усилие зажима передается плунжером 3 через винт 1.

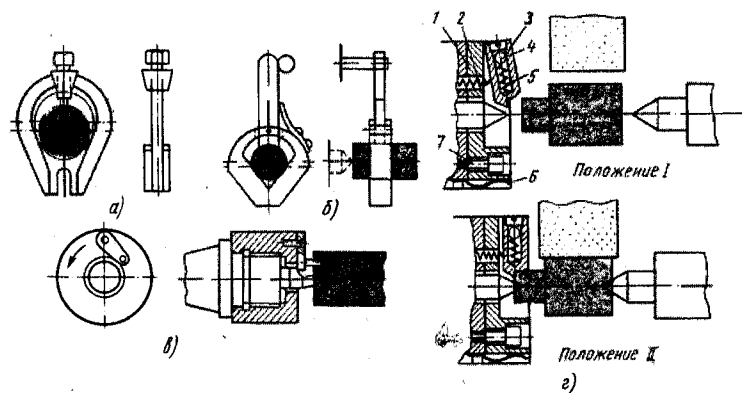


Рис. 5.5. Хомутики, поводки и патроны: а — винтовой хомутик, б — самозажимной хомутик, в — торцовый поводок, г — поводковый патрон с самозажимающими кулачками

В оправках типа А есть отверстие для выхода воздуха, которое перекрывается прокладкой 8 и винтом 7. Точность центрирования заготовки на оправке с гидропластом зависит от точности изготовления корпуса и втулки. Корпус изготавливают из стали 20Х с последующей цементацией и закалкой до твердости HRC 35–40. Шероховатость центровых отверстий оправки  $Ra = 0,16 \div 0,32$  мкм. Биение контрольных поясков и посадочного диаметра 2 мкм. Корпус оправки может служить и поводком, который заменяет хомутик.

Для передачи крутящего момента от планшайбы станка к оправкам с заготовками применяют различные поводки, хомутики и патроны (рис. 5.5). Применение патронов с самозажимающимися кулачками значительно сокращает время на закрепление заготовок и позволяет использовать их в автоматизированных станках. При закреплении заготовки с оправкой в центрах (рис. 5.5, г, положение II) зажимные кулачки 3 перемещаются в радиальном направлении по прорези и поворачиваются вокруг оси 4, сжимая при этом пружины 5 и 2. Головка 1 патрона также занимает равновесное положение, так как она может перемещаться по торцовой поверхности патрона в пределах зазоров между отверстиями и болтами 7. В свободном состоянии

(рис. 5.5, г, положение I) равновесное состояние головки 1 обеспечивается плоскими пружинами 6.

**Закрепление заготовок в патронах.** Если заготовка имеет отверстие, то она кроме оправки может базироваться в патроне. При установке заготовки в мембранных патронах (рис. 5.6) достигается высокая точность обработки поверхности. Базовую поверхность отверстия заготовки 6 устанавливают на кулачки 5, закрепленные на мембранном диске 4, соединенном с планшайбой 3 на шпинделе 2 шлифовального станка. Мембранный диск может изгибаться под воздействием штока 1, связанного с гидроили пневмоцилиндром механизма зажима заготовки. При движении штока справа налево прогиб диска приводит к сближению кулачков к центру, что позволяет установить заготовку по отверстию. При возврате штока слева направо в исходное положение кулачки прочно зажимают заготовку по внутренней цилиндрической поверхности.

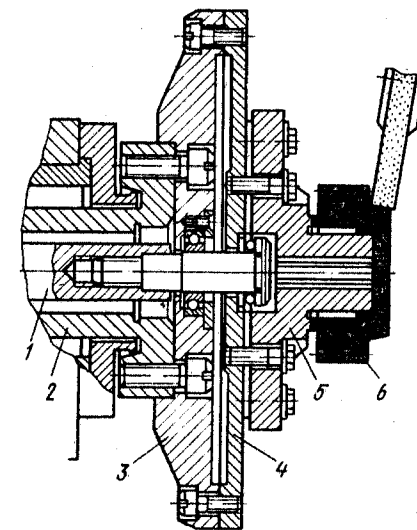


Рис. 5.6. Мембранный патрон

При шлифовании заготовок, длина которых в 5–10 и более раз превышает диаметр, под действием силы резания возникает прогиб заготовки вследствие недостаточной ее жесткости. При этом снижается точность шлифования, могут возникнуть колебания и вибрации в технологической системе станок — приспособление — инструмент — деталь (СПИД). В таких случаях применяют один и несколько упорных люнетов — дополнительных опор для обрабатываемой заготовки.

В индивидуальном и серийном производствах используют регулируемые люнеты с одной или двумя колодками (рис. 5.7, а) для восприятия радиальной (горизонтальной) и касательной (вертикальной) составляющих силы резания. В конструкции люнета положение вертикальной колодки 10, закрепленной на упорном рычаге 11, устанавливается регулировочным винтом 1, перемещающимся в корпусе люнета 3. Положение горизонтальной колодки 7, закрепленной на пиноли 6, регулируется винтом 4. По мере шлифования кругом 9 заготовки 8 необходимо регулировать положения колодок, так как диаметр шлифуемой поверхности уменьшается. Окончательное положение колодок зависит от диаметра обработанной детали. При наладке станка колодки устанавливаются по эталонной детали или по калибру с ограничительными кольцами 2 и 5, которые ограничивают осевое перемещение регулировочных винтов 1 и 4. Положения колодок предпочтительнее регулировать винтом 4, так как перемещение

заготовки в горизонтальном направлении оказывает наибольшее влияние на точность обработки.

Для снижения времени на регулировку в массовом производстве используют люнеты с силовым замыканием контакта между колодкой и деталью («следающий» люнет) и с самотормозящим устройством (рис. 5.7, б). В конструкции люнета упорная колодка 1 прижимается

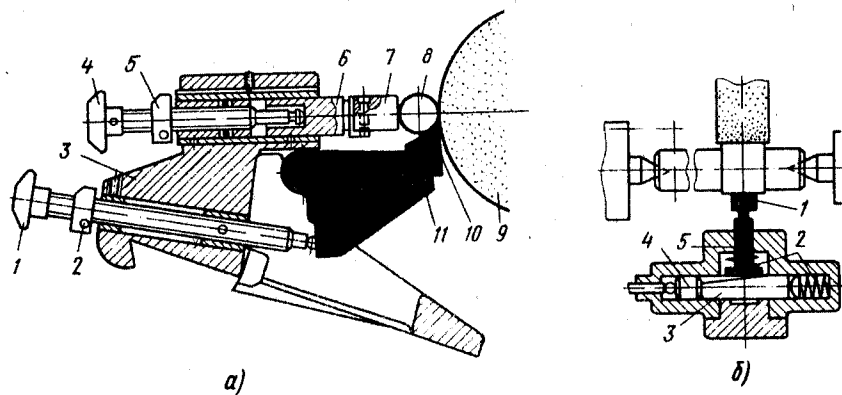


Рис. 5.7. Люнеты

к заготовке под действием клинового механизма со звеньями 3 и 5. Положение клина 3 регулируется штоком 4 гидроцилиндра и пружиной 2. Шток 4 предназначен для отвода клина 3 в исходное положение (перемещение слева направо). Под действием пружины 2 клин 3 при отведенном штоке стремится переместиться справа налево, перемещая при этом клин 5 и колодку 1 по направлению к заготовке. По мере шлифования припуска колодка 1 автоматически поджимается к заготовке, что обеспечивает непрерывность контакта. Сила, возникающая между колодкой и заготовкой, уравновешивает полностью или частично силу резания и зависит от жесткости пружины 2 и угла скоса плоскостей в клиновом механизме. При малом угле конуса (менее  $6^\circ$ ) механизм становится самотормозящимся, т.е. движение клина 5 в обратном направлении становится возможным только после отвода клина 3 в исходное положение. Подобные люнеты повышают производительность и точность обработки, сокращают время настройки и регулировки, позволяют шире использовать автоматические станки и устройства.

#### 5.4. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И КИНЕМАТИКА КРУГЛОШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Для удовлетворения требований различных отраслей машиностроения станкостроительная промышленность в СССР выпускает круглошлифовальные станки повышенной, высокой и особо высокой точ-

ности (классов П, В и А). Для станков соответствующих классов точности регламентированы допуски на геометрическую точность шлифуемых образцов и шероховатость их поверхностей. В настоящее время выпускают станки, обеспечивающие круглость  $0,3$  мкм на образце диаметром  $100$  мм (станок мод. ЗН163С). Обеспечение жестких допусков на геометрическую точность шлифуемых поверхностей, на размер ( $2-5$  мкм), а также шероховатость ( $Ra=0,04$  мкм) требует решения комплекса проблем, важнейшими из которых являются: обеспечение постоянства положения оси вращения изделия и шлифовального круга, плавности малых перемещений, уменьшение относительных колебаний изделия и шлифовального круга, обеспечение автоматического управления режимами шлифования.

Постоянство положения оси вращения заготовки обеспечивают повышением точности формы, центров, круглость которых должна быть не более  $1-2$  мкм. Длительному сохранению круглости центров способствует применение центров с твердыми вставками. Круглость центровых гнезд на шлифуемой заготовке не должна превышать допуск на круглость шлифуемой поверхности более чем в  $5-8$  раз.

На станках с вращающимся шпинделем в передней бабке в качестве опор шпинделя применяют гидростатические подшипники, позволяющие снижать влияние отклонения от круглости подшипниковых шеек шпинделя на круглость шлифуемой поверхности и длительное время сохранять требуемую точность вращения.

Для обеспечения параллельности оси вращения изделия ходу стола применяют следующие конструктивные решения:

повышают плавность поворота верхнего стола применением воздушной или гидравлической разгрузки, что позволяет снизить погрешность установки оси вращения заготовки параллельно продольному ходу стола;

применяют измерительные устройства для контроля параллельности оси вращения детали продольному ходу стола; при этом погрешность можно быстро определить по прилагаемой к станку номограмме;

пиноль задней бабки монтируют с предварительным натягом, используя шариковые и роликовые направляющие;

применяют измерительно-управляющие устройства, которые в двух поперечных сечениях шлифуемой поверхности следят за измерением диаметра и при разности размеров в этих сечениях выдают команды на исполнительные механизмы, обеспечивающие автоматическую коррекцию оси вращения заготовки;

выносят источники теплоты за пределы базовых узлов станка (гидростанции, установки СОЖ, установки смазки), вводят устройства для автоматического снижения температуры нагрева масла, СОЖ и ее стабилизации и др.;

повышают суммарную статическую жесткость станков;

постоянство положения оси вращения шлифовального круга обеспечивают применением гидродинамических многоклиновых гидро- и пневмостатических подшипников;

повышают точность изготовления подшипниковых шеек шпинделя, круглость которых в зависимости от класса точности станка не превышает 0,3–1 мкм.

На прецизионных станках необходимо обеспечить стабильное получение периодических подач в пределах 0,2–1 мкм/ход (зависит от класса точности станка), врезных — в пределах 10–20 мкм/мин, точность установки шлифовальной бабки в заданное положение в пределах 0,5–1 мкм.

Стабильность указанных величин достигается применением на шлифовальной бабке роликовых направляющих качения, в том числе с предварительным натягом, винтовой пары качения в последнем звене кинематической цепи подачи, что исключает неблагоприятное влияние трения скольжения. На прецизионных круглошлифовальных станках некоторых моделей поступательное перемещение шлифовальной бабки заменяют качательным (для уменьшения влияния трения скольжения и использования корпуса шлифовальной бабки в качестве двуплечего рычага). Но такое решение пригодно при съеме очень малых припусков, и станки с таким механизмом имеют узкоцелевое назначение. В качестве привода механизма поперечных подач на современных прецизионных круглошлифовальных станках применяют шаговый электродвигатель, ротор которого дискретно поворачивается на малые углы (1,5°) с регулируемой в большом диапазоне частотой вращения, что позволяет получать малые величины периодических и врезных подач, а кинематическая цепь становится короткой и жесткой.

Круглость и шероховатость шлифуемых деталей в значительной степени определяются колебаниями шлифовальной бабки относительно оси центров. Причины, вызывающие относительные колебания шлифовальной бабки, указаны выше. В прецизионных круглошлифовальных станках стремятся снизить влияние дисбаланса круга на размах колебаний шлифовальной бабки путем тщательной балансировки круга вне станка с помощью грузиков, а затем после его установки на станок и правки, окончательной балансировки на станке специальными балансировочными механизмами. Для контроля размаха колебаний шлифовальной бабки применяют электронные приборы с ценой деления до 0,1 мкм. Влияние колебаний электродвигателя привода шлифовального круга уменьшают его балансировкой вместе с приводным ремнем, повышением точности подшипников качения ротора электродвигателя и монтажных поверхностей для них.

Автоматическое управление режимами шлифования позволяет обеспечить стабильное качество шлифуемых поверхностей. Как правило, на современных прецизионных круглошлифовальных станках цикл шлифования автоматизирован. Причем в процессе съема припуска на большинстве станков скорость поперечной подачи изменяется несколькими ступенями (обычно не более четырех ступеней). Такая схема цикла не всегда оптимальна для обеспечения высоких производительности и качества шлифования.

На рис. 5.8 показан общий вид универсального круглошлифовального станка 3У131, предназначенного для единичного, мелкосерийного

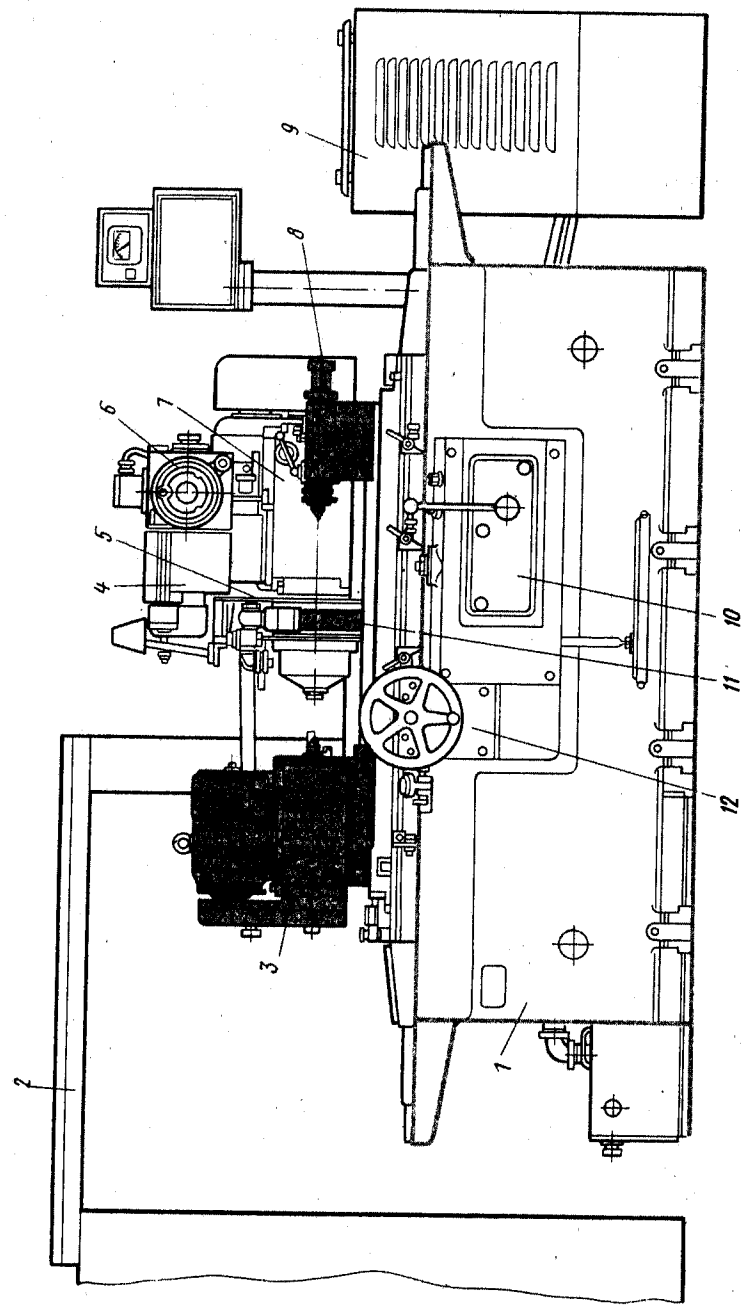


Рис. 5.8. Общий вид универсального круглошлифовального станка мод. 3У131:

1 — станка, 2 — электрооборудование, 3 — передняя бабка, 4 — приспособление для внутреннего шлифования, 5 — кожух шлифовального круга, 6 — механизм подачи шлифовальной бабки, 7 — шлифовальная бабка, 8 — задняя бабка, 9 — шлифовальная бабка, 10 — система гидропривода и смазки, 11 — механизм ручного перемещения стола, 12 — шлифовальный круг, 12 — механизм ручного перемещения стола

и серийного производств. Заготовка может крепиться в неподвижных центрах, в патроне или на планшайбе.

Движение исполнительных органов станка осуществляется от ряда электродвигателей с помощью механических и гидравлических устройств. Кинематическая схема станка приведена на рис. 5.9. Вращение шпинделя шлифовального круга осуществляется от электродвигателя 44 мощностью 5,5 кВт с частотой вращения 1450 об/мин через клиноременную передачу 26, 27. Вращение заготовки осуществляется от электродвигателя 41 мощностью 0,75 кВт с частотой 220–2200 об/мин через двухступенчатую клиноременную передачу со шкивами 1 и 2, 5 и 6 на планшайбу. Натяжение в клиноременной передаче регулируется поворотом промежуточного вала в эксцентриковых опорах червячной передачей 3, 4. Заготовка вращается с частотой 40–400 об/мин при бесступенчатом регулировании вращения. Электродвигатель 42 мощностью 1,1 кВт с частотой вращения 2830 об/мин через ременную передачу 7, 8 приводит во вращение шпиндель приспособления для внутреннего шлифования. Электродвигатель 43 мощностью 0,18 кВт приводит в движение механизм быстрого перемещения шлифовальной бабки для подвода ее к заготовке с помощью конической передачи 9, 10, вертикального вала механизма подачи, соединенного с червяком 28, червячного колеса 30 и передачи винт — гайка качения 29. Для отключения электродвигателя шлифовальной бабки в крайних положениях имеются упоры.

Для осуществления поперечной подачи шлифовальной бабки вручную или установочных ее перемещений вращают маховичок, поворот которого передается через коническую передачу 12, 11 на вертикальный вал, червячную передачу 28, 30 к узлу винт — гайка качения 29. Тонкая доводочная подача производится при вращении другого маховичка и передаче вращения на вертикальный вал через конические передачи 14, 13 и 12, 11. Настраиваемые перемещения осуществляются также с помощью зубчатых передач с колесами 15–20. Ручное перемещение стола осуществляют от маховичка с помощью реечной передачи 37, 38 и двухскоростного зубчатого редуктора с колесами 31, 35, 32, 34, 33, 36. Меньшая скорость перемещения стола включается перемещением маховичка на себя. При этом в зацеплении находятся колеса 31, 35. Пиноль 22 задней бабки постоянно поджимается пружиной, натяжение которой регулируется винтом 23. Для зажима пиноли служит рукоятка и винт 21. Отвод пиноли осуществляется от гидропривода через реечную передачу 25, 24. Предусмотрен также ручной отвод пиноли с помощью накладки рукоятки.

Поворотный корпус передней бабки центрируется на оси основания через сферический подшипник и осуществляется вручную с помощью передачи 40, 39. Положение бабки фиксируется упорами.

Расположение органов управления станка мод. 3У131 показано на рис. 5.10, а пульт управления этого станка на рис. 5.11. Основными органами включения и выключения электрооборудования являются: переключатель 1 сети (см. рис. 5.10), кнопка «общий стоп» 14 (см. рис. 5.11), кнопки 12 и 13 включения и выключения привода шлифо-

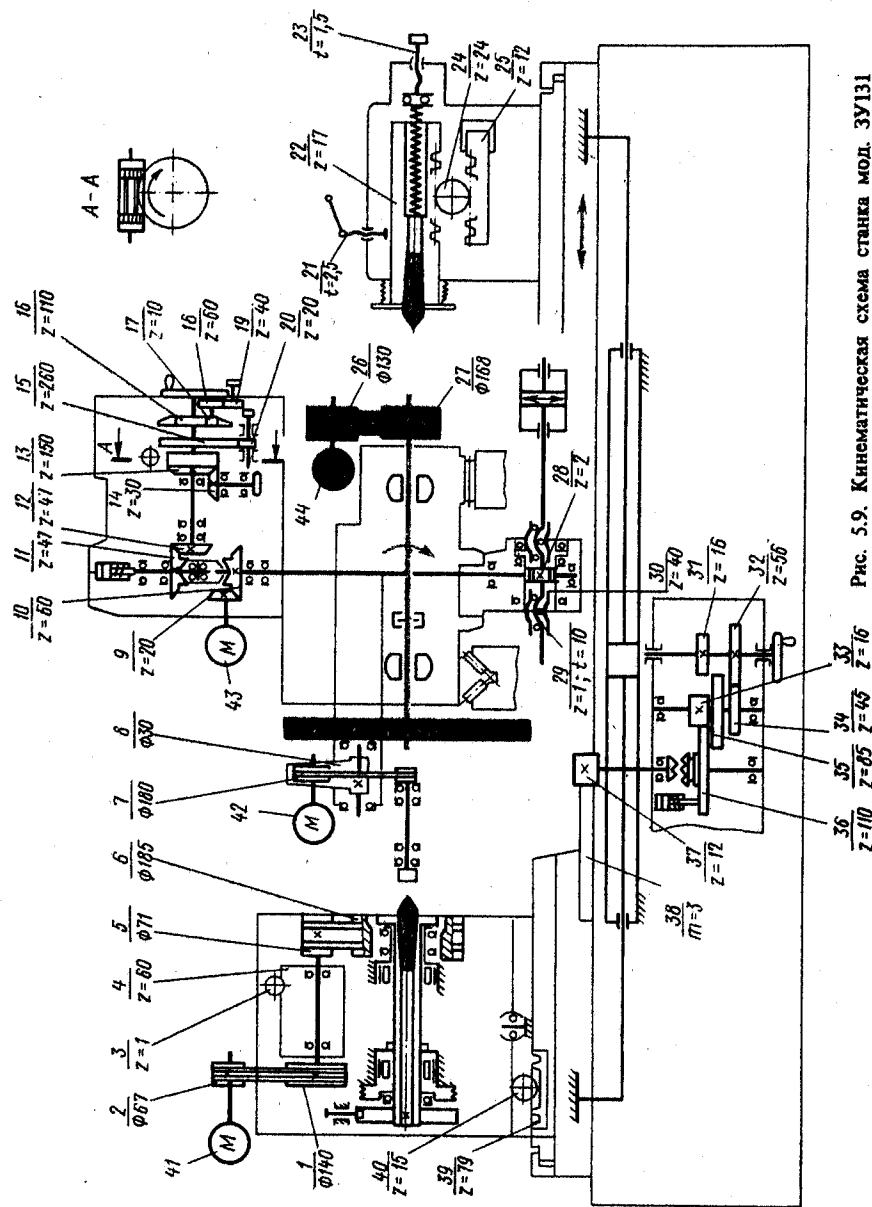


Рис. 5.9. Кинематическая схема станка мод. 3У131

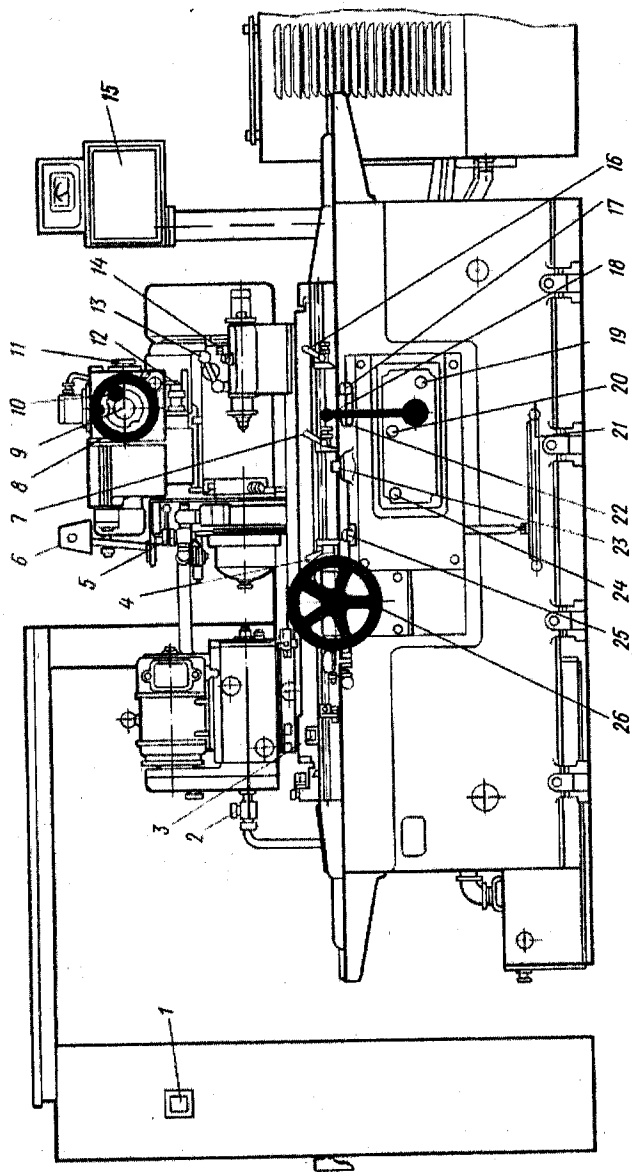


Рис. 5.10. Расположение органов управления круглошлифовального станка мод. 3У131:  
 1 — переключатель сети, 2, 5 — рукоятки крана охлаждения, 3 — винт поворота верхнего стола, 4 — рукоятка левого упора реверса стола, 6 — светильник, 7 — рукоятка правого упора реверса стола, 8 — маховик поперечной подачи шлифовальной бабки, 9 — рукоятка настройки лимба подачи, 10 — винт, 11 — рукоятка тонкой поперечной подачи, 12 — фиксатор, 13 — рукоятка зажима пиноли, 14 — вал, 15 — пульт управления, 16 — рукоятка предохранительного упора, 17 — рукоятка регулирования скорости стола при правке круга, 18 — рукоятка подвода и отвода шлифовальной бабки, 19 — рукоятка вида шлифования, 20, 24 — рукоятка регулирования продолжительности задержки стола при реверсе, 21 — педаль, 22 — рукоятка регулирования скорости стола при шлифовании, 23 — рукоятка реверса стола, 25 — кран, 26 — маховик

вального круга, кнопка 11 включения гидронасоса, кнопки 9 и 10 установочного перемещения шлифовальной бабки вперед и назад, кнопки 4 и 5 включения и выключения привода заготовки, переключатель 6 пуска вращения заготовки, сигнальная лампа 8 включения сети, сигнальная лампа 7 отсутствия смазки шпинделя шлифовальной бабки, переключатель светильника 6 (см. рис. 5.10). На пульте управления расположены также указатель 1 (см. рис. 5.11) и регулятор 2 частоты вращения заготовки, указатель 3 нагрузки двигателя шлифовального круга.

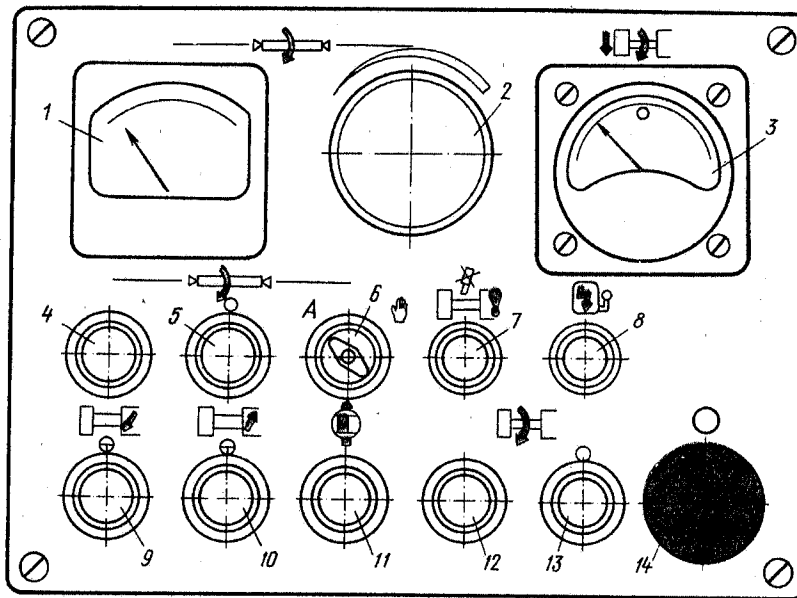


Рис. 5.11. Пульт управления круглошлифовального станка мод. 3У131:  
 1 — указатель, 2 — регулятор, 3 — указатель нагрузки двигателя шлифовального круга, 4 — кнопка включения привода заготовки, 5 — кнопка выключения привода заготовки, 6 — переключатель пуска вращения заготовки, 7 — сигнальная лампа отсутствия смазки, 8 — сигнальная лампа включения сети, 9, 10 — кнопки установочного перемещения шлифовальной бабки вперед и назад, 11 — кнопка включения гидронасоса, 12, 13 — кнопки включения и выключения привода круга, 14 — кнопка «общий стоп»

Ручные перемещения осуществляются маховиком 26 (см. рис. 5.10) перемещения стола, маховиком 8 поперечной подачи шлифовальной бабки, рукояткой 11 тонкой поперечной подачи. Управление движением исполнительных органов станка осуществляют с помощью пульта управления 15, рукоятки 18 подвода и отвода шлифовальной бабки, пуска стола на рабочую подачу или правку, установочного перемещения стола, рукоятки 19 вида шлифования (наружное или внутреннее), рукоятки 22 регулирования скорости стола при шлифовании, рукоятки 23 реверса стола, рукоятки 17 регулирования скорости



стола при правке круга, рукояток 20 и 24 регулирования продолжительности задержки стола при реверсе справа и слева, крана 25 установки величины периодической подачи слева, справа и на каждый ход стола. Отвод пиноли задней бабки осуществляют с помощью педали 21 при гидравлическом приводе или валом 14 при ручном отводе. Зажим пиноли осуществляют рукояткой 13. Для поворота верхнего стола предназначен винт 3.

Лимб подачи шлифовальной бабки настраивают рукояткой 9 и фиксируют винтом 10. Упоры реверса стола слева и справа закрепляют рукоятками 4 и 7, а предохранительный упор — рукояткой 16. Приспособление для внутреннего шлифования закрепляется в отведенном нерабочем положении фиксатором 12. Рукоятки 5 и 2 служат для поворота кранов при наружном и внутреннем охлаждении соответственно.

### 5.5. ПОДГОТОВКА КРУГЛОШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА К РАБОТЕ

Перед выполнением определенной технологической операции необходимо подготовить технологическое оборудование (станок), инструмент (шлифовальный круг) и технологическую оснастку (зажимные и опорные приспособления и другие устройства). При первоначальном пуске станка в работу надо изучить паспорт и руководство по обслуживанию станка, особенности конструкции, работу и назначение основных частей, действие органов управления и системы блокировок, назначение всех кнопок и сигнальных лампочек. Перед работой на шлифовальном станке необходимо изучить общие и специальные правила безопасности труда при работе на станках с абразивным инструментом, подготовить рабочее место, получить абразивный, измерительный и вспомогательный инструмент, указанный в операционной карте и соответствующий чертежу обрабатываемой заготовки, получить необходимое количество заготовок. Подготовить к пуску системы электрооборудования, смазывания, гидропривода и охлаждения путем визуальной проверки их состояния. Проверить наличия заземления и ограждения. После устранения всех выявленных недостатков произвести первоначальный пуск станка, в процессе которого проверить направление вращения шлифовального круга, отсутствие утечек масла, работу системы охлаждения, безотказность срабатывания кнопок «Пуск» и «Стоп», сигнальных лампочек и блокировок на останов и пуск отдельных узлов станка. В момент начала вращения круга в глазах маслоуказателя подшипников шпинделя должен появиться смазочный материал. Станок необходимо прогреть путем работы на вспомогательном ходу в течение 15–20 мин. Проверить работу механизмов продольной подачи стола в ручном и автоматическом режимах, работу станка в автоматическом цикле в соответствии с картой наладки. Провести наладку устройства правки круга, выполнить предварительную правку, отбалансировать круг и провести окончательную правку круга. После чего нужно установить переднюю и заднюю бабки по длине обрабатываемой

заготовки, установить и выверить центры. Для выверки центров станка заднюю бабку перемещают к передней и добиваются совпадения центров путем поворота передней бабки относительно вертикальной оси. Задний центр должен выступать из пиноли на величину, равную не менее 1,5 высоты круга. Заднюю бабку надежно закрепляют в требуемом положении. Осевая сила прижима заготовки задним центром должна быть достаточной, чтобы заготовка не выпала из центров при шлифовании. Чрезмерно большая осевая сила приводит к быстрому изнашиванию центров.

При шлифовании заготовок значительной длины необходимо установить на станке люнеты, чтобы уменьшить прогиб заготовки под действием силы резания; подобрать хомутик для вращения заготовки или отладить поводковый патрон при неподвижном переднем центре. После установки заготовки в центрах или в патроне установить упоры в зависимости от требуемой величины продольного хода стола. Эти упоры обеспечивают переключение золотника реверса в крайних положениях стола. Для установки взаимного положения круга и заготовки в центра станка устанавливают эталонную деталь. Левый торец детали используют в качестве базы для установки шлифовальной бабки. Положение этого торца остается неизменным при любой длине заготовки. Перед пробным шлифованием включают электродвигатели шлифовальной бабки и передней бабки, подводят круг к заготовке до появления искры и вручную осуществляют продольное перемещение заготовки. Сделав два-три прохода, включают автоматическую подачу и после пробного шлифования измеряют диаметры заготовки у обоих торцов. Если будет обнаружена конусность заготовки, то проводят корректировку установки стола, добиваясь цилиндричности отработанной поверхности. Для настройки механизма поперечной подачи круг подводят к заготовке и при неподвижном маховичке устанавливают лимб так, чтобы число делений между нулевой риской на корпусе механизма поперечной подачи и нулевой риской лимба соответствовало половине припуска на диаметр заготовки. После этой установки лимб закрепляется, что обеспечивает выключение автоматической поперечной подачи упором при совмещении нулевых рисок лимба и корпуса механизма поперечной подачи. Чтобы не допустить съема лишнего припуска, при наладке измеряют диаметральный размер заготовки, предварительно выключив автоматическую поперечную подачу несколько раньше, за два-три деления до совпадения нулевых рисок. При необходимости корректируют установку лимба и заканчивают цикл обработки.

Измерительное устройство для контроля диаметра наружной поверхности и управления циклом станка устанавливают и настраивают по эталонной детали. Убедившись в положительных результатах настройки, проверяют работу станка в автоматическом цикле при шлифовании партии деталей с обеспечением требуемой производительности и качества деталей по точности размеров, формы и расположения поверхностей и их шероховатости.

При наладке станка для шлифования конических поверхностей следует учитывать конусность — отношение разности диаметров боль-

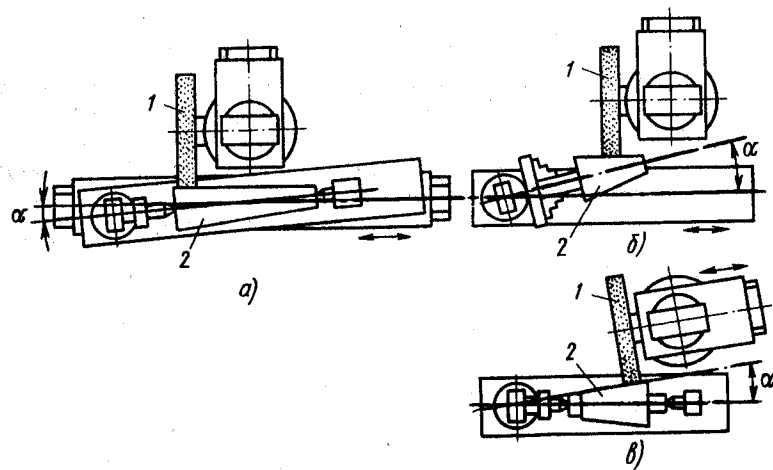


Рис. 5.12. Шлифование конических поверхностей путем установочного поворота на половину угла при вершине конуса:  
*a* — стола, *б* — передней бабки, *в* — шлифовальной бабки; 1 — шлифовальный круг, 2 — заготовка

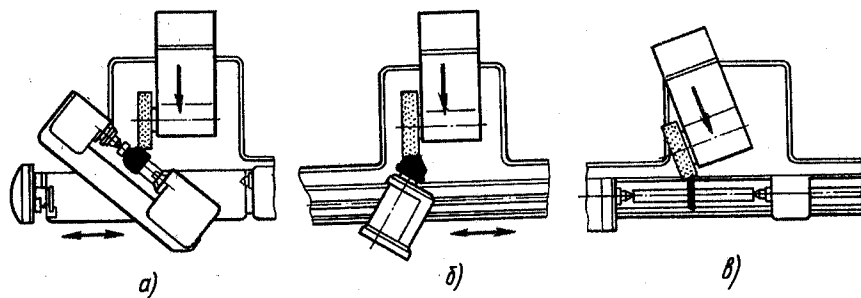


Рис. 5.13. Схема наладки станка для шлифования поверхности с большой конусностью

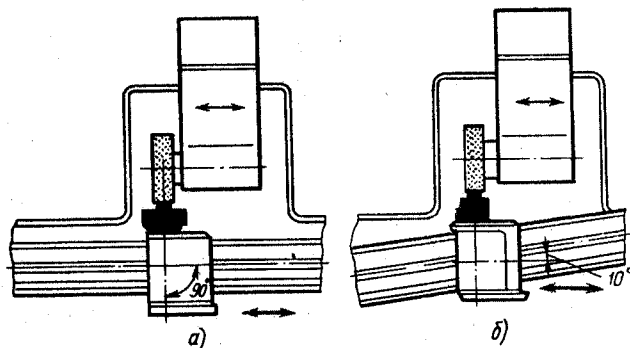


Рис. 5.14. Схема наладки станка для шлифования плоских поверхностей фланцев:  
*a* — низкого, *б* — высокого

шого и малого основания конуса к его длине:  $k = (D - d) / l$ . Выражается конусность в безразмерных величинах. Например, при  $D = 52$  мм,  $d = 48$  мм и  $l = 80$  мм  $k = (52 - 48) / 80 = 0,05$ . На круглошлифовальных станках конические поверхности шлифуют путем поворота стола передней бабки или поворотом бабки шлифовального круга.

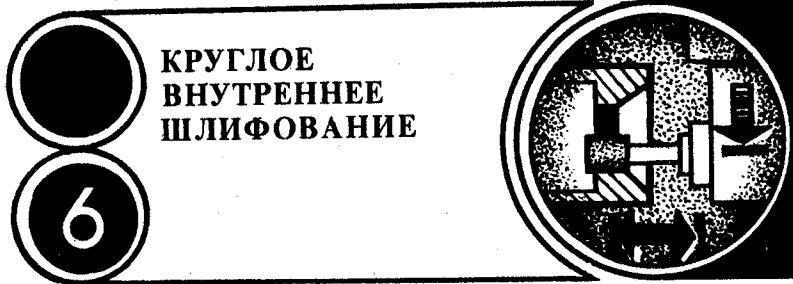
Шлифование поверхностей с малой конусностью (угол конуса  $12-14^\circ$ ) на универсальном круглошлифовальном станке не требует сложной наладки: стол станка устанавливается первоначально параллельно оси шлифовального шпинделя и поворачивается на половину угла при вершине конуса детали (угол уклона  $\alpha$ , рис. 5.12). Движение подачи сообщают либо заготовке 2 (рис. 5.12, *a, б*), либо шлифовальному кругу 1 (рис. 5.12, *в*).

Для шлифования в центрах конусов с большим углом при вершине используют специальное приспособление (рис. 5.13, *a*), а для шлифования в патроне производят поворот передней бабки на требуемый угол (рис. 5.13, *б*). Шлифование усеченных конусов с углом до  $60^\circ$  небольшой высоты осуществляют методом врезания при установке заготовки в центрах при повернутой шлифовальной бабке (рис. 5.13, *в*).

Шлифование плоских торцовых поверхностей фланцев осуществляют при закреплении заготовки в патроне и повороте передней бабки (рис. 5.14, *a*). Угол поворота контролируют по шкале (предварительно) и по индикатору (окончательно). При шлифовании высоких фланцев поворачивают одновременно верхний стол и переднюю бабку (рис. 5.14, *б*).

#### Контрольные вопросы

1. Перечислите основные способы круглого наружного шлифования.
2. Какие факторы учитывают при выборе режимов шлифования?
3. Расскажите об установке и закреплении заготовок на станке.
4. С какой целью применяют люнеты при шлифовании?
5. Проследите по кинематической схеме круглошлифовального станка передачу вращательного движения от электродвигателей к шпинделю шлифовального круга и к патрону бабки изделия.
6. В чем заключается подготовка круглошлифовального станка к работе?



### 6.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Внутреннее круглое шлифование предназначено для обработки внутренних поверхностей цилиндрической или конической формы с прямолинейной образующей. На внутришлифовальных станках отверстия обрабатывают следующими методами: шлифование с продольной подачей (рис. 6.1, а, б); врезное шлифование с поперечной подачей (рис. 6.1, в, г); шлифование врезное (рис. 6.1, в) с дополнительным осциллирующим движением круга; шлифование с планетарным движением шлифовального круга (рис. 6.1, д).

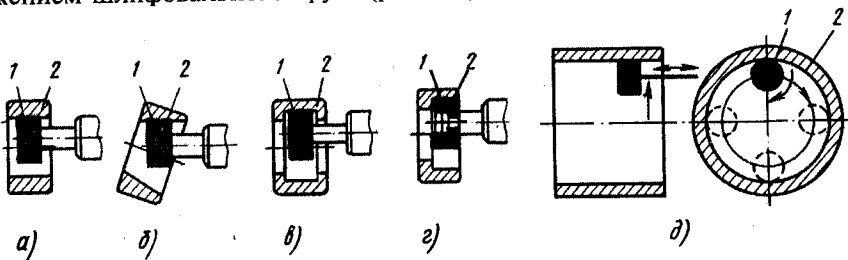


Рис. 6.1. Шлифование отверстий типовых деталей

Шлифование с продольной подачей обеспечивает более высокую точность и меньшую шероховатость поверхности. Врезной способ используется при обработке коротких (рис. 6.1, в) и глухих отверстий, не имеющих канавок для выхода круга. При планетарном движении шлифовальный шпиндель с кругом 1 помимо вращения вокруг своей оси имеет вращательное движение относительно оси шлифуемого отверстия заготовки 2 от специального устройства станка. Этот метод имеет ограниченное применение, в основном для шлифования отверстий в тяжелых корпусных деталях, устанавливаемых на станке неподвижно.

Особенностями внутреннего шлифования, ограничивающими его возможности, являются: малый диаметр шлифовальных кругов; малая жесткость шлифовального шпинделя; необходимость применения очень высокой частоты вращения шпинделя шлифовального круга для обеспечения оптимальной скорости резания; большой линей-

ный износ кругов из-за малых размеров рабочей поверхности круга. В связи с этими особенностями диаметр шлифовального круга следует выбирать наибольшим из допустимых по условию размещения его в отверстии: 0,75–0,85 диаметра отверстия для диапазона 50–150 мм и 0,85–0,95 диаметра отверстия для диапазона 30–45 мм.

Дополнительные трудности возникают при внутреннем шлифовании с подачей СОЖ в зону обработки, так как поверхности круга и заготовки соприкасаются по дуге большой длины, а зазор между ними очень мал. Для отвода теплоты из зоны обработки и предотвращения появления прижогов на шлифованной поверхности применяют подачу СОЖ через специальные сопла 1, 2, 3 (рис. 6.2), расположенные близко к зоне резания, или через поры круга.

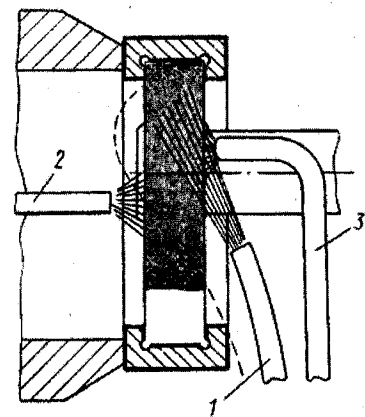


Рис. 6.2. Подача СОЖ в зону обработки при внутреннем шлифовании

По способу крепления заготовок на внутришлифовальных станках они делятся на патронные и бесцентровые. При патронном внутреннем шлифовании технологической базой является наружная поверхность заготовки, а базирование и закрепление ее производится патроном. При внутреннем бесцентровом шлифовании технологической базой является наружная ранее обработанная цилиндрическая поверхность.

При шлифовании тонкостенных заготовок типа колец и гильз целесообразно пользоваться схемой бесцентрового внутреннего шлифования. Форма отверстия при способе внутреннего шлифования в основном зависит от формы наружной поверхности заготовки и наладки станка.

### 6.2. РЕЖИМЫ ШЛИФОВАНИЯ

Учитывая малую жесткость шпинделя шлифовального круга и его малый диаметр, необходимо так проектировать технологический процесс, чтобы величина припуска на обработку была бы наименьшей. При определении предельных размеров припуска приходится учитывать размеры и форму отверстия, обрабатываемый материал, отношение длины шлифования к диаметру отверстия, характер термической обработки и другие производственные условия. С увеличением диаметра и длины отверстия припуск следует также увеличивать.

При обработке тонкостенных заготовок, а также заготовок, подверженных короблению при термической обработке, следует увеличивать припуск на 20–50% по сравнению с рекомендуемыми в табл. 6.1.

При выборе характеристики кругов для внутреннего шлифования справедливы общие рекомендации, приведенные в гл. 13. При пред-

Диаметр шлифуемого отверстия, мм	Припуск (по диаметру), мм, при длине отверстия					
	до 25	26—50	51—100	101—150	151—200	свыше 200
До 10	0,07—0,10	0,10—0,12	—	—	—	—
От 10 до 30	0,12—0,15	0,12—0,18	0,15—0,22	0,20—0,25	0,22—0,27	—
« 30 « 80	0,15—0,25	0,20—0,30	0,25—0,30	0,25—0,35	0,27—0,40	0,30—0,45
« 80 « 120	0,25—0,30	0,25—0,35	0,28—0,38	0,30—0,38	0,35—0,45	0,40—0,55
« 120 « 180	0,30—0,35	0,30—0,40	0,40—0,45	0,40—0,45	0,45—0,55	0,50—0,60
Свыше 180	0,40—0,50	0,45—0,55	0,45—0,55	0,50—0,60	0,60—0,70	0,65—0,75

варительном шлифовании используют круги зернистостью 40, при окончательном — 25—16. При шлифовании заготовок из чугуна, алюминия и его сплавов применяют круги большей крупности: при предварительном шлифовании зернистостью 50—40, при окончательном шлифовании — 40—25.

При шлифовании различных сталей применяют круги из электрокорундов марок 15А, 24А, 34А, при шлифовании чугунных и алюминиевых заготовок — карбид кремния черный марок 53С, 54С. Связка обычно применяется керамическая марок К1, К5, К8. Круги, как правило, должны иметь структуру № 5 и твердость СМ2—СТ1 при шлифовании незакаленных сталей и М3—СМ2 — при шлифовании закаленных сталей, чугунов и алюминиевых сплавов.

Слишком твердые и мелкозернистые круги требуют очень частой правки и дают прижоги. Однако при использовании мягких кругов наблюдается большой износ круга, а иногда не удается обеспечить требуемую точность и шероховатость поверхности.

Скорость круга следует применять наибольшую, допускаемую частотой вращения шпинделя. Рекомендуется назначать скорости (м/с) круга в следующих пределах в зависимости от марки обрабатываемого материала:

Стали углеродистые и низколегированные	25—60
Стали закаленные и высоколегированные	15—25
Чугун	20—30
Цветные сплавы	20—30
Пластмассы и резина	15—20
Стекло	8—12

Частота вращения заготовки зависит от диаметра шлифуемого отверстия. Скорость заготовки должна составлять 0,015—0,03 скорости круга и выбирается от 10 до 60 м/мин при грубом шлифовании и от 12 до 110 м/мин — при окончательном шлифовании. При шлифовании материалов, склонных к прижогам и трещинам, увеличивают частоту вращения заготовки. Продольная подача выбирается в долях от высоты круга  $H$ : при грубом шлифовании (0,5—0,8)  $H$ , при окончательном шлифовании снижается до (0,25÷0,5)  $H$ . Поперечная подача при врезном шлифовании выбирается в пределах 0,10—0,8 мм/мин, продольная подача при грубом шлифовании — от 0,005 до 0,015 мм/дв. ход и от 0,001 до 0,01 мм/дв. ход — при чистовом шлифовании.

На внутришлифовальных станках для установки и крепления заготовок используют различные приспособления, которые подразделяют на универсальные и специальные. Технологической базой при этом служит, как правило, наружная цилиндрическая ранее обработанная поверхность. По способу крепления заготовок приспособления делятся на патроны (рис. 6.3, а, б) и бесцентровые зажимы (рис. 6.3, в—д).

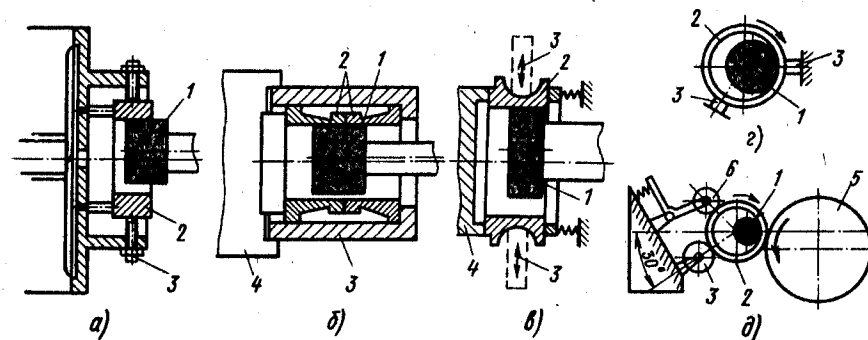


Рис. 6.3. Базирование заготовок при внутреннем шлифовании в патроне (а, б) и зажимах (в—д):

1 — шлифовальный круг, 2 — обрабатываемая заготовка, 3 — поддерживающий ролик, 4 — корпус торцевой опоры, 5 — ведущий ролик, 6 — прижимной ролик

Закрепление обрабатываемых заготовок на внутришлифовальных станках зависит от типа производства. В единичном и мелкосерийном производствах широко используют трехкулачковые самоцентрирующие патроны с ручным или механизированным зажимом. Эти патроны являются универсальными, допускают изменение наружного диаметра заготовки в больших пределах, но при этом требуют больших затрат времени на установку заготовки из-за необходимости выверки каждой при установке, возможной деформации их (особенно тонкостенных) при зажиме и невысокой точности патронов.

В условиях серийного производства наибольшее распространение получили самоцентрирующиеся трехкулачковые патроны с ручным (рис. 6.4) или механизированным зажимом. Кулачки 3 входят в зацепление с торцевой спиралью диска 1. При вращении вручную конического зубчатого колеса 2 приводится во вращение диск 1 и кулачки 3 перемещаются в радиальном направлении к центру патрона или в обратном направлении.

Заготовки с отклонениями от симметричности и цилиндричности удобнее закреплять в четырехкулачковых патронах (рис. 6.5), в которых кулачки 1, 2, 3, 4 передвигаются независимо друг от друга посредством соответствующей винтовой передачи 5.

Для обеспечения необходимой точности обработки кулачки самоцентрирующего патрона шлифуют в сборе на том же внутришлифовальном станке. Заготовку закрепляют на планшайбе прихватами

после установки по центрирующему калибру, входящему в центральное отверстие планшайбы. Длинную заготовку закрепляют одним концом в патроне, а другой конец поддерживается люнетом. В массовом и крупносерийном производствах применяют мембранные патроны, обеспечивающие более точную и быструю установку заготовки (рис. 6.5, а), чем кулачковые патроны. Основным достоинством мембранных патронов является простота их изготовления и возможность получения размера отверстия с допуском до 0,005 мм, что достигается точным центрированием заготовки и малой деформацией патрона при зажиме. По своей конструкции мембранные патроны делят на винтовые и кулачковые.

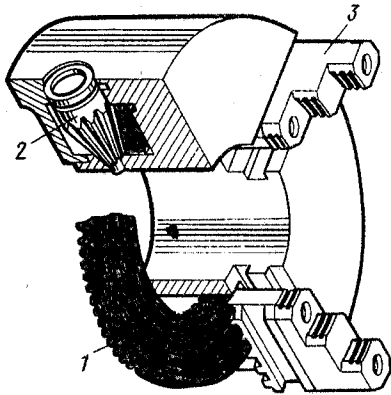


Рис. 6.4. Трехкулачковый патрон внутришлифовального станка

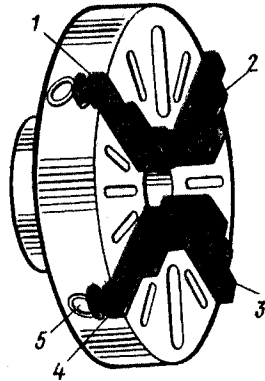


Рис. 6.5. Четырехкулачковый патрон с независимым перемещением кулачков

Установка заготовки в мембранном кулачковом патроне для шлифования отверстия и торца зубчатого колеса показана на рис. 6.6, б. Для закрепления заготовки зубчатого колеса 10 в патроне 7 шток 5 пневмоцилиндра деформирует мембранный диск 8, кулачки раздвигаются и заготовку вставляют в патрон. После отвода штока влево мембрана возвращается в исходное состояние, кулачки 11 сближаются и закрепляют заготовку. После подвода круга к заготовке оператор включает автоматическую подачу, и управление циклом осуществляется калибром 9, установленным на штоке 6 (рис. 6.6, б). Измерительный калибр 9 выполнен ступенчатым и подводится в упор к заготовке с нерабочей стороны. После того как диаметр отверстия увеличится за счет съема припуска до диаметра  $D_1$ , калибр войдет в отверстие и разомкнет контакт измерительной головки, подавая сигнал на правку круга. При чистовом шлифовании размер отверстия увеличивается до диаметра  $D_2$  и калибр входит в отверстие. При этом происходит размыкание контакта микропереключателя 2 и круг для внутреннего шлифования отводится в исходное положение.

При шлифовании (в массовом производстве) колец подшипников используют также мембранные винтовые патроны (рис. 6.7). Винто-

вые патроны применяют для зажима заготовок диаметром от 10 до 300 мм, кулачковые — для заготовок диаметром 300–400 мм. Кулачки 1 изготавливают из пружинной стали 65Г или стали У7 за одно целое с мембраной 2, прикрепляемой винтами к планшайбе 3. Планшайба закрепляется на шпинделе передней бабки станка. В ку-

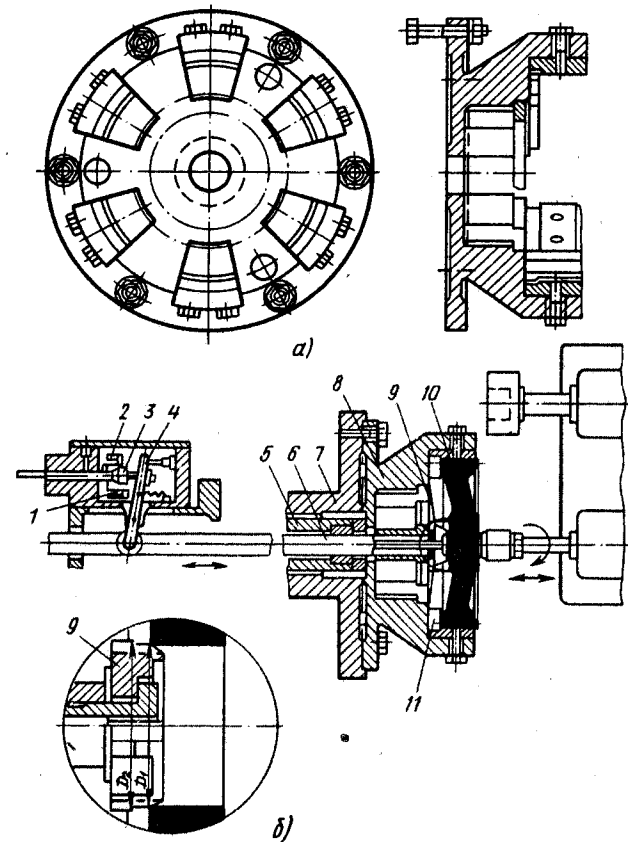


Рис. 6.6. Мембранный патрон (а) и схема шлифования отверстия и торца зубчатого колеса в мембранном патроне (б): 1, 2 — микровыключатели, 3, 5, 6 — штоки, 4 — рычаг электроконтактной головки; 7 — патрон, 8 — мембранный диск, 9 — калибр, 10 — заготовка, 11 — кулачки

лачки 1 ввернуты винты 4, фиксируемые гайками 5 и определяющие положение заготовки. Осевое перемещение заготовки ограничивается упорами 6.

В массовом производстве подшипников обработку отверстий производят на бесцентровых внутришлифовальных станках. Для установки заготовок применяют устройства с базированием на роли-

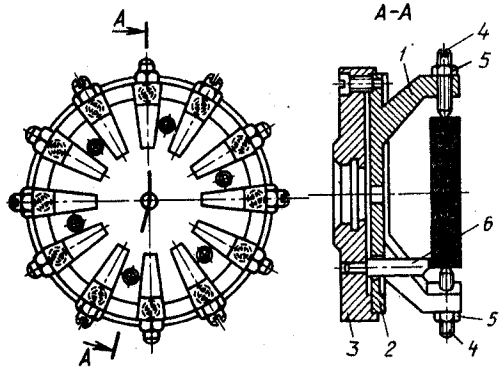


Рис. 6.7. Мембранный винтовой патрон

подпружиненным прижимным роликом 6. Ведущий ролик 5 передает вращение заготовке от электродвигателя через червячный редуктор. Кроме радиальных роликовых опор заготовка имеет и торцовую опору 4 (см. рис. 6.3, в), постоянный прижим к которой создается разворотом оси роликов в вертикальной плоскости.

При бесцентровом шлифовании отверстий колец, устанавливаемых на башмаках (схему базирования см. на рис. 6.3, в, 2), приводом заготовки служит планшайба 4 с магнитным патроном 3 (рис. 6.8). Заготовка 5 устанавливается наружной цилиндрической поверхностью на неподвижных радиальных башмаках 2, которые крепятся на неподвижном корпусе 1 планшайбы. В осевом направлении заготовка 5 фиксируется планшайбой 4. Для создания эксцентриситета между заготовкой 5 и планшайбой 4 магнитного патрона 3 и обеспечения за счет этого постоянной силы прижима заготовки к башмакам 2 последние передвигаются в радиальном направлении. Для прижима заготовки к торцовой опоре применяют электромагнитные патроны с вращающейся (рис. 6.9, а) и невращающейся (рис. 6.9, б) системами.

Корпус 2 патрона с вращающимся электромагнитом (рис. 6.9, а) привернут к шпинделю бабки изделия 1. В корпусе помещен магнито-

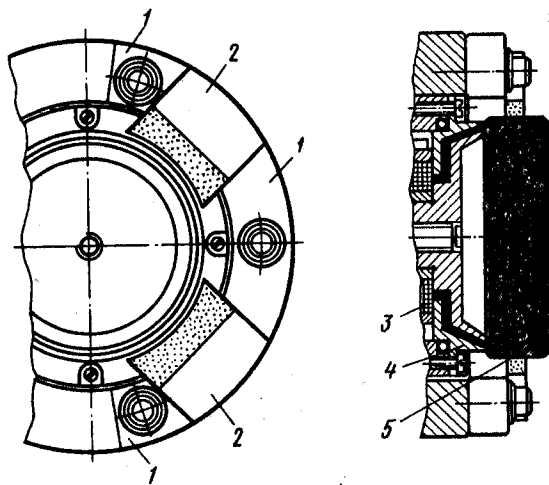
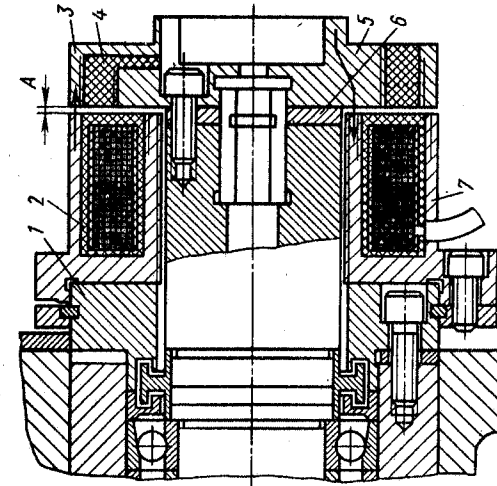


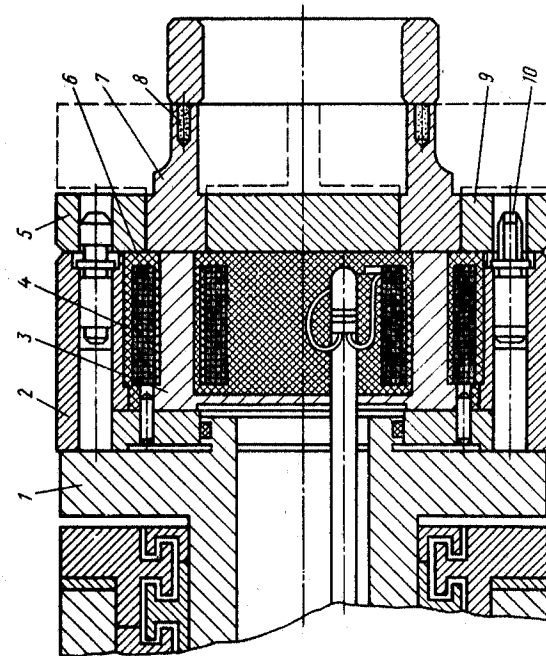
Рис. 6.8. Устройство для базирования заготовки на башмаках

ках или неподвижных опорах — башмаках. Преимуществом этого способа обработки является достижение соосности наружной и внутренней поверхностей колец подшипников и обеспечение малой разностенности детали.

Обрабатываемое шлифовальным кругом 1 кольцо 2 базируется по наружной цилиндрической поверхности (см. рис. 6.3, д) на роликах 5 (ведущем) и 3 (поддерживающем). Прижим заготовки к роликам 5 и 3 обеспечивается



д)



а)

Рис. 6.9. Магнитный патрон с вращающимся (а) и с невращающимся (б) электромагнитом

провод 3, внутри которого размещаются катушки 4, залитые эпоксидной смолой 6. Верхняя плита 5, имеющая форму обрабатываемой заготовки, состоит из шести полюсов 7 с чередующейся полярностью, разделенных прослойками из немагнитного металла 9. В торец патрона заделываются три штифта или для повышения износостойкости пластинки 8 из твердого сплава. Штифты 10 центрируют верхнюю плиту. Для увеличения тягового усилия патрона и для выхода круга в плите предусмотрены наружная и внутренняя проточки. Питание катушки осуществляется через контактные кольца, расположенные на другом конце шпинделя.

Аналогично описанному патрону устроен патрон с невращающимся электромагнитом (рис. 6.9, б), имеющий, однако, некоторые отличия. Корпус 7 крепится винтами 1 к корпусу бабки изделия. Магнитный поток создается одной катушкой 2 и передается на вращающуюся плиту через воздушный зазор А, определяемый кольцом 6 и равный 0,1–0,2 мм. Верхняя плита состоит из внешней 3 и внутренней 5 частей, разделенных латунной немагнитной прослойкой 4. Эти части образуют электромагнит, тяговое усилие которого контролируется с помощью реле тока катушки. При отключении тока реле дает команду на аварийный отвод шлифовального круга.

#### 6.4. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И КИНЕМАТИКА ВНУТРИШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

В зависимости от назначения и размеров обрабатываемых деталей внутришлифовальные станки разделены на две основные группы: 1) станки, у которых вращаются шлифовальный шпиндель и заготовка, 2) станки планетарного типа, на которых заготовка (обычно крупногабаритная) устанавливается неподвижно. Шлифовальный шпиндель совершает планетарное движение, вращаясь одновременно вокруг собственной оси и оси заготовки. В зависимости от характера выполнения движения подач наблюдаются три наиболее распространенные компоновки станков первой группы: 1) движения поперечной (врезной) и продольной подач выполняются шлифовальным кругом, траектория этих движений прямолинейная; 2) движение поперечной подачи осуществляется шлифовальным кругом, а продольной — заготовкой, траектория движений прямолинейная; 3) движения поперечной (врезной) и продольной подач производит шлифовальный круг, причем траектория врезной подачи — круговая, а продольной — прямолинейная. Во всех трех вариантах остаются неизменными вращение шлифовального круга и заготовки.

В зависимости от характера производства обработка производится на универсальных внутришлифовальных станках или специализированных полуавтоматах и автоматах.

Отечественная промышленность выпускает ряд моделей внутришлифовальных станков, позволяющих шлифовать отверстия диаметром от 3 до 1000 мм при длине шлифования 32–500 мм. Станки выпускаются трех классов точности — П, В и А. Помимо отверстия на станках обычно шлифуют и наружный торец заготовки. Станки

оснащаются устройствами для активного контроля, некоторые модели могут встраиваться в автоматические линии, обслуживаться роботами и манипуляторами.

Саратовский станкостроительный завод выпускает гамму ЗК различных моделей универсальных, специализированных полуавтоматических и автоматических внутришлифовальных станков. Из них пять базовых моделей универсальных станков предназначены для обработки отверстий диаметром от 3 до 800 мм. Станки выпускают трех классов точности — П, В и А; все они, за исключением мод. ЗК230В, оснащены торцешлифовальными приспособлениями. Московский завод автоматических линий им. 50-летия СССР специализируется

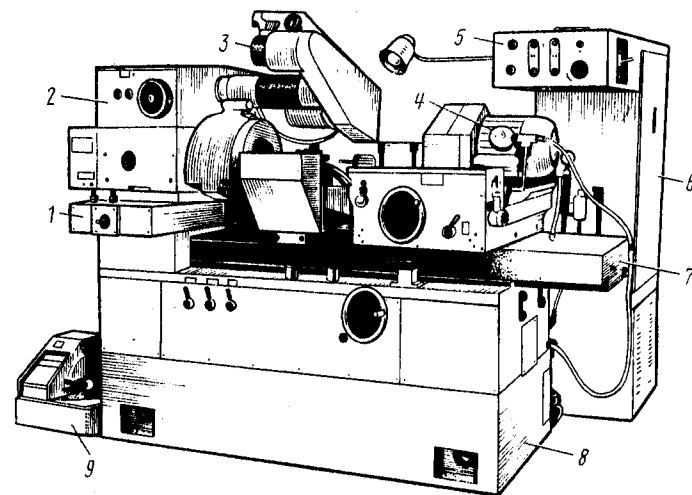


Рис. 6.10. Внутришлифовальный станок мод. ЗК227В

на выпуске автоматических и полуавтоматических бесцентровых внутришлифовальных станков для подшипниковой промышленности, которые работают в составе автоматических линий.

В последнее время в связи с общей тенденцией развития станкостроения — созданием станков для гибких производственных систем (ГПС) — традиционная компоновка внутришлифовальных станков претерпевает изменения: стираются грани между кругло- и внутришлифовальными станками — те и другие приспособляются для комплексной обработки заготовок за один установ.

На рис. 6.10 показан общий вид внутришлифовального станка мод. ЗК227В из гаммы ЗК Саратовского станкостроительного завода. На верхней плоскости станины 8 установлен мост 1 с бабкой изделия 2. При наладке салазки, несущие бабку изделия, перемещаются по направляющим скольжения моста. На корпусе бабки изделия установлено торцешлифовальное приспособление 3. Стол 7 со шлифовальной бабкой 4 перемещается возвратно-поступательно от гидроцилиндра по направляющим качения вдоль станины. Слева от станка расположен

бак 9 для охлаждающей жидкости с электронасосом и магнитным сепаратором, сзади насосная станция, электрошкаф 6 с электроаппаратурой и пультом управления 5, а также пневмоагрегат, подающий масляный туман к опорам шпинделя.

На рис. 6.11 приведена кинематическая схема станка мод. 3К227В. Привод шлифовального круга осуществляется от асинхронного электродвигателя *M3* переменного тока посредством плоскоременной передачи. Для привода шлифовального круга 3 торцешлифовального устройства использован асинхронный электродвигатель *M2* переменного тока. Поворот хобота с торцешлифовальным шпинделем осуществляется от гидроцилиндра 1. Продольное возвратно-поступательное перемещение стола осуществляется от гидроцилиндра 14.

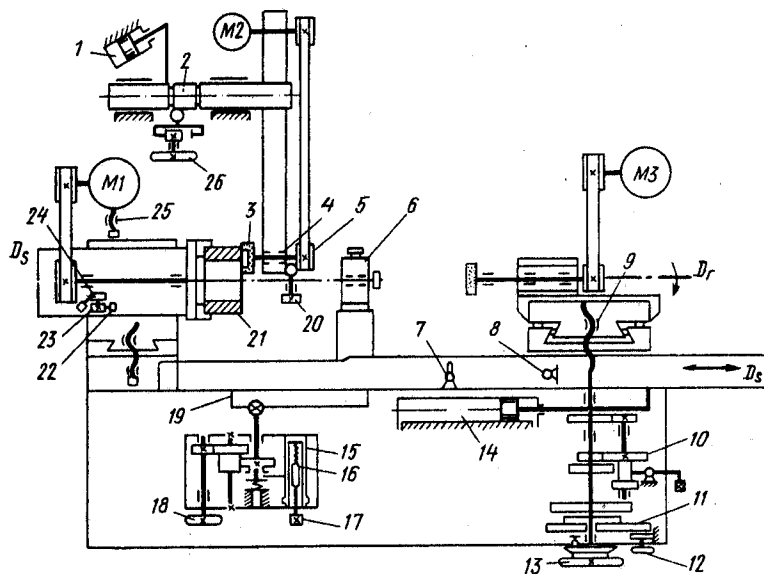


Рис. 6.11. Кинематическая схема внутришлифовального станка мод. 3К227В

Ручное перемещение стола производится путем вращения маховика 18. Через ряд зубчатых передач движение передается на реечное зубчатое колесо и рейку 19. При включении гидравлической системы реечное зубчатое колесо автоматически с помощью гидроцилиндра выводится из зацепления с рейкой, при этом плунжер гидроцилиндра 15 фиксируется шариками 16, западающими в канавку. Для того чтобы снова ввести реечное зубчатое колесо в зацепление с рейкой, необходимо выключить гидравлическую систему и нажать на кнопку 17. Таким образом, гидравлическое и ручное перемещения стола заблокированы.

Шлифуемая заготовка 21 вращается от электродвигателя *M1* постоянного тока с помощью плоскоременной передачи. Частоту

вращения заготовки изменяют ступенчато. Винт 25 служит для натяжения ремня. Поворот бабки изделия на угол при шлифовании конусной поверхности или с целью регулирования производится с помощью червячной передачи 24 и цепных передач 23 и 22.

Продольное перемещение торцешлифовальному устройству передается маховиком 26 через зубчатые колеса на круговую рейку 2. Тонкая (малая) подача круга 3 на врезание осуществляется вращением маховика 20 через передачу 5 и резьбовую шариковую пару 4.

При шлифовании внутреннего торца заготовки для ограничения хода продольной подачи предусмотрен торцевой упор. Откидной упор 8, закрепленный на столе станка, поджимается действием гидроцилиндра 14 и эксцентрику 7. При повороте рукоятки эксцентрика включается продольная подача стола со шпинделем шлифовального круга.

Поперечная подача бабки шлифовального круга может выполняться вручную и автоматически. Ручное перемещение бабки осуществляется вращением маховика 13 и передается далее на двухскоростную коробку 10. Передача через эту коробку используется при наладке станка и при рабочей подаче; далее через пару зубчатых колес вращение передается на винтовую шариковую пару 9. Ручная рабочая поперечная подача может также осуществляться дозированно через собачку и храповик (на схеме не показаны). Автоматическую поперечную подачу бабки шлифовального круга на двойной ход стола осуществляют при включении соответствующего крана гидросистемы. При этом на храповик действует собачка (на схеме не показана). Подачу настраивают кнопкой 12 через зубчатое колесо 11. Автоматическое выключение поперечной подачи и отвод стола в исходное положение после снятия припуска производят упором, расположенным на лимбе и действующим на путевой переключатель. В гамму 3К входят станки, на которых поперечная подача осуществляется перемещением либо передней, либо шлифовальной бабок.

Правка шлифовального круга осуществляется алмазом. Наладочное перемещение алмаза осуществляется путем перемещения всего правящего устройства 6 или планки с алмазом. Тонкая подача алмаза осуществляется вращением лимба, вызывающего деформацию пружин. Шлифовальный круг 3 правят вручную при качательном движении державки с алмазом.

На станках установлен измерительный прибор для визуального контроля. Щуп прибора, настроенного по эталону, вводится в шлифуемое отверстие и по мере снятия припуска воздействует на индикатор, позволяя визуально следить за ходом шлифования и окончить его при достижении необходимого размера изделия. На станках могут быть установлены также приборы активного контроля.

#### 6.5. ПОДГОТОВКА СТАНКА К РАБОТЕ

Наладка внутришлифовального станка с базированием заготовки в патроне проводится в такой последовательности: 1) устанавливают

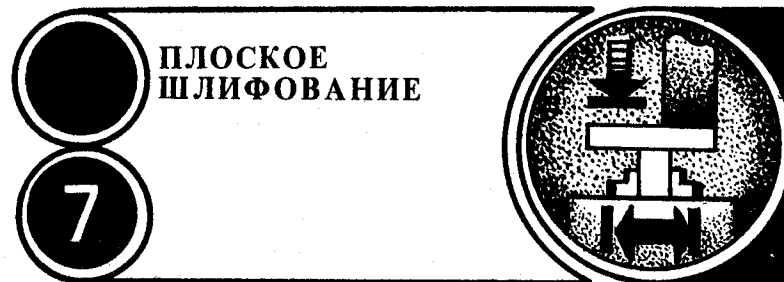


шлифовальный круг на шпиндель шлифовальной бабки; 2) проверяют состояние передней бабки, патрона; при необходимости шлифуют базовые и зажимные элементы патрона с использованием круга шлифовальной бабки наладиваемого станка; 3) устанавливают упоры механизма реверса продольного хода стола, обеспечив при этом выход круга из отверстия на длину 0,3—0,4 мм его высоты с каждой стороны заготовки при шлифовании сквозных отверстий; 4) устанавливают и регулируют устройство для правки круга (продольное перемещение круга относительно алмаза при правке должно быть не менее высоты круга); выполняют правку рабочей поверхности круга; 5) устанавливают требуемые частоту вращения круга и заготовки, скорости подач в продольном и радиальном направлениях и проводят настройку станка на выполнение заданных режимов шлифования; 6) устанавливают измерительные устройства и приборы, производят их наладку в зависимости от цикла шлифования; 7) производят пробное шлифование заготовки в ручном или автоматическом цикле, в случае необходимости выполняют регулирование станка для достижения заданных параметров обработки.

Наладка бесцентрового внутришлифовального станка с базированием заготовки на башмаках проводится в такой последовательности: 1) устанавливают в пиноль бабки электрошпиндель и закрепляют на оправке шлифовальный круг с требуемой характеристикой; 2) проверяют работу системы смазки подшипников шпинделя и в случае необходимости регулируют ее; 3) устанавливают магнитный патрон, проверяют его торцовое биение и шлифуют опорный торец магнитного патрона на наладиваемом станке; 4) по эталонной детали устанавливают и регулируют неподвижные радиальные опоры башмачного устройства; проверяют контакт башмаков с эталонной деталью по краске; 5) устанавливают упоры управления продольным перемещением стола или пиноли шлифовального круга; 6) настраивают механизм правки и выполняют правку рабочей поверхности круга; 7) настраивают механизмы подачи шлифовальной бабки и компенсации износа круга при правке для работы их в автоматическом цикле; 8) устанавливают и наладивают грузочно-разгрузочное измерительное устройство; 9) проверяют работу всех механизмов станка в наладочном режиме и проводят пробное шлифование заготовок в автоматическом режиме.

#### Контрольные вопросы

1. Расскажите об особенностях внутреннего шлифования.
2. Расскажите о способах закрепления заготовки на внутришлифовальных станках.
3. Перечислите основные узлы внутришлифовального станка.
4. Расскажите о подготовке внутришлифовального станка к работе.



#### 7.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Шлифование плоских поверхностей называется *плоским шлифованием*. Существует два основных вида плоского шлифования: периферией (рис. 7.1, а) и торцом (рис. 7.1, б) круга. Шлифование периферией круга обеспечивает более высокую точность обработки по сравнению с шлифованием торцом круга ввиду присущих каждому из этих видов особенностей. Шлифование периферией круга рекомендуется применять при высоких требованиях к точности обработки, малой жесткости деталей, а также при обработке закаленных деталей, склонных к образованию прижогов.

Периферией круга обрабатываются детали с жесткими допусками на отклонения от плоскостности (контрольные плиты, угольники, линейки, стыки ответственных деталей и др.); с буртиками и пазами; тонкие детали, подверженные короблению; детали, имеющие недостаточно жесткую опорную поверхность, что приводит к неустойчивому положению их на станке, а также такие, на торце которых следует сделать поднутрение или создать выпуклости и др.

Торцом круга обрабатывают литые крышки, планки кованые или изготовленные из проката, корпуса коробчатого сечения, заготовки напильников, штамповые кубики и другие детали, предельно не обработанные; сегменты уборочных сельскохозяйственных машин, лемехи плугов и др.; шайбы, кольца, диски, втулки, фланцы и другие детали массового производства, преимущественно имеющие форму тел вращения.

В последние годы широкое развитие получило профильное шлифование (рис. 7.1, в), осуществляемое на плоскошлифовальных станках и поэтому являющееся разновидностью плоского шлифования. При

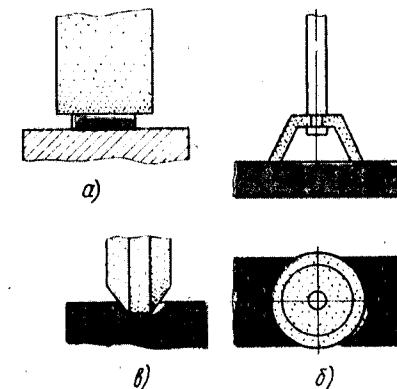


Рис. 7.1. Шлифование заготовок на плоскошлифовальных станках

плоскопрофильном шлифовании применяют профильные круги, а станки для выполнения этой операции оснащают специальными устройствами для профилирования шлифовальных кругов. Практически профильным шлифованием можно обработать любой открытый профиль, состоящий из отрезков прямых или дуг окружностей, т. е. такой, у которого нет поднутрений. Для обработки профильных поверхностей используют метод глубинного шлифования (съем припуска за один проход), ограничением при этом является требуемая точность детали. Практически при серийном производстве можно получить точность профиля в пределах 0,003 мм.

## 7.2. РЕЖИМЫ ШЛИФОВАНИЯ

Основными технологическими факторами, определяющими режим шлифования, являются заданные точность и шероховатость поверхности, мощность двигателя главного привода и стойкость шлифовального круга.

Показателями режима резания при плоском шлифовании периферией круга являются: скорость круга; скорость заготовки; поперечная (параллельная ось шпинделя) подача и глубина шлифования (при шлифовании торцом круга поперечную подачу обычно не применяют).

Скорость шлифовального круга зависит от вида (обычное или скоростное) шлифования и возможностей станка. Скорость заготовки совпадает при плоском шлифовании с продольной или круговой подачей стола, на котором они закрепляются. Увеличение скорости заготовки приводит к увеличению производительности обработки. Поэтому рекомендуется выбирать высокие скорости заготовки, особенно при предварительных операциях и снятии больших припусков. Повышение скорости заготовки приводит к уменьшению нагревания и деформации изделия. На чистовых операциях рекомендуется снижать скорость заготовки.

При увеличении поперечной подачи повышается производительность, но увеличивается шероховатость и износ круга. Поэтому рекомендуется на чистовых операциях применять меньшую величину поперечной подачи.

Глубина резания определяет в основном производительность обработки, однако величина ее зависит от зернистости круга, требуемой шероховатости поверхности, мощности двигателя привода шлифовальной бабки и ряда других факторов. При обработке крупнозернистыми кругами можно применять большую глубину резания. При шлифовании мелкозернистыми кругами с большой глубиной наблюдается значительный износ мягких кругов или быстрое засаливание твердых кругов. Черновые операции следует производить с большими скоростями и глубинами, а на чистовых операциях необходимо снижать скорость и глубину резания.

Для повышения точности обработки и снижения шероховатости поверхности в конце цикла следует применять выхаживание.

## 7.3. УСТАНОВКА И ЗАКРЕПЛЕНИЕ ЗАГОТОВОК НА СТАНКЕ

Способы установки и закрепления деталей при плоском шлифовании разнообразны. Они определяются формой и размерами обрабатываемых деталей, типом производства, моделью шлифовального станка и рядом других факторов.

Электромагнитные и магнитные плиты обеспечивают: быстрое закрепление и раскрепление детали; прочность закрепления; возможность одновременного закрепления нескольких деталей; возможность закрепления на магнитной плите других приспособлений; хорошее прилегание базовой плоскости детали к столу; возможность использования стационарных плоских и круглых плит, наклоняющихся и поворотных плоских плит, плит-угольников, которые снабжаются различными магнитными блоками для крепления деталей с выступами и другой сложной формы. У этого способа крепления есть и ряд недостатков: 1) наличие остаточного магнетизма, что требует после обработки применения устройств для размагничивания; 2) нагрев электромагнитной плиты во время работы, что приводит к понижению точности обработки; 3) опасность деформирования тонких заготовок при притягивании к плите, которые после освобождения возвращаются в исходное положение; 4) невозможность крепления заготовок из немагнитных материалов. Для устранения нагрева применяют комбинированные плиты с импульсными магнитами. Такая плита работает как постоянный магнит с периодическим включением электромагнита, что обеспечивает увеличение силы притяжения и устраняет нагрев.

Электромагнитная плита (рис. 7.2) состоит из стального литого или сварного корпуса 1, сердечников 2, катушек 3 и крышки 4.

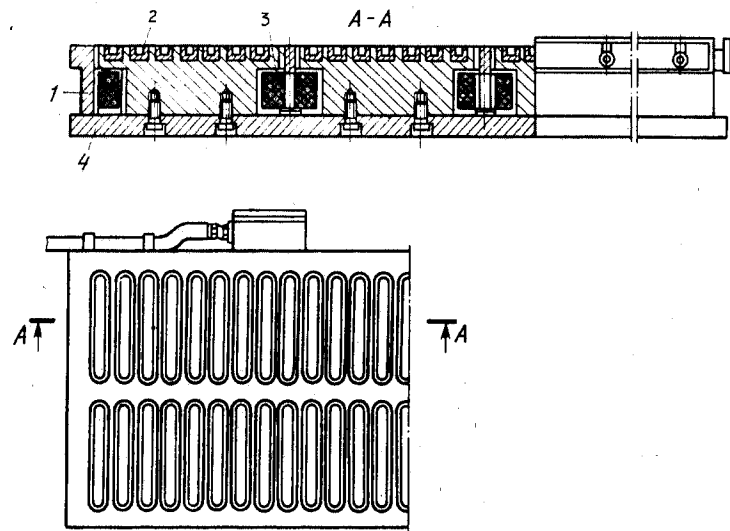


Рис. 7.2. Электромагнитная плита

В верхней части плиты сделано 96 пазов, расположенных в два ряда. С нижней стороны корпуса в эти пазы входят выступы 12 сердечников с зазором 4–5 мм на сторону. На нижнюю часть сердечников надевают катушки из медного эмалированного провода. Питается катушка через выводную коробку. Оставшееся в корпусе свободное пространство заливается немагнитной массой. Магнитная плита герметизируется для предохранения от попадания на обмотки охлаждающей жидкости.

Магнитные плиты закрепляют в Т-образных пазах столов и шлифуют для обеспечения параллельности плоскости зеркала плиты направлению поперечной подачи.

Электромагнитные плиты питаются постоянным током, поэтому станки снабжены специальными агрегатами, вырабатывающими постоянный ток, либо выпрямителями, которые преобразуют переменный ток сети в постоянный. Чтобы детали не срывались с магнитной плиты в случаях прекращения подачи тока в обмотки, на станках предусмотрена автоматическая блокировка. При отключении плиты автоматически выключается подача и стол останавливается.

Крепление заготовок на электромагнитных и магнитных плитах является достаточно надежным. При обработке тонких (толщиной 0,5–2,5 мм при длине 40–100 мм и ширине 5–15 мм) заготовок они прижимаются к рабочей плоскости плиты, что сопровождается их деформацией, имеющих отклонение от плоскостности в форме выпуклости или вогнутости. Такие заготовки шлифуют с малой глубиной резания (0,01–0,02 мм), несколько раз их переворачивают, попеременно шлифуя с обеих сторон до получения требуемого размера по толщине пластины.

На рис. 7.3 показан пример плоского шлифования заготовок торцом круга на двухшпиндельном станке за один проход. Такое шлифование широко используется в подшипниковой промышленности при обработке торцов колец подшипников. Заготовки 5 крепятся на круглом магнитном столе станка, вначале они скользят под действием силы тяжести по наклонному загрузочному лотку 3 свободно, так как в зоне Б электрический ток через электромагниты не проходит. Попадая в зону 2, заготовки закрепляются на магнитном столе и прочно удерживаются на нем в зоне А. После шлифования кругами 1 заготовки проходят зону, по выходе из которой освобождаются от закрепления и сбрасываются в лоток 4, предварительно проходя через демагнетизатор для снятия остаточного магнетизма.

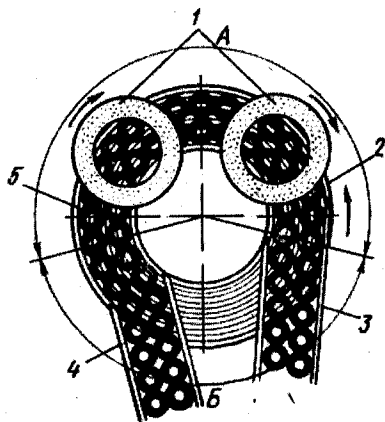


Рис. 7.3. Однопроходное шлифование заготовок на двухшпиндельном станке

Специальные приспособления применяют обычно в тех случаях,

когда форма заготовок, технология обработки или свойства материала не позволяют закрепить их на магнитной плите или с помощью универсальных приспособлений.

Для зажима заготовок можно применять различные тиски, устанавливаемые на стол станка. Тиски снабжаются сменными губками в зависимости от формы и размеров закрепляемых заготовок.

При шлифовании наклонных поверхностей используют синусные приспособления, у которых опорная плоскость для закрепления заготовки наклоняется под необходимым углом с помощью мерных плиток. При закреплении немагнитных материалов, а также тонких плиток, линеек, и т. п. можно использовать вакуумные столы. На верхней части плиты имеется ряд отверстий, соединенных с вакуумной камерой, которые перекрываются шлифуемой деталью, что обеспечивает надежное прижатие заготовки к плите.

При шлифовании заготовок из немагнитных материалов их наклеивают шеллаком на промежуточные металлические плиты, устанавливаемые на магнитную плиту. Металлическую плиту предварительно нагревают до температуры 100–150°C, на нее насыпают порошкообразный шеллак. Заготовки вдавливаются в размягченный шеллак, который при охлаждении достаточно прочно удерживает их. При повторном нагревании плиты заготовки легко снимают.

#### 7.4. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И КИНЕМАТИКА ПЛОСКОШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Плоскошлифовальные станки с горизонтальным шпинделем и прямоугольным крестовым столом предназначены для шлифования поверхностей периферией круга. В пределах, допускаемых кожухом круга, возможно шлифование торцовых поверхностей. В этих станках для повышения жесткости соединений и увеличения точности и долговечности станка крестовый суппорт, стол и шлифовальная бабка имеют направляющие качения. Шпиндель шлифовального круга смонтирован на высокоточных подшипниках качения, что обеспечивает высокую жесткость, малую мощность вспомогательного хода, незначительный нагрев и, как следствие, малые температурные деформации. Для снижения влияния инерционных сил, действующих на стол в момент реверса, он имеет жесткие направляющие, собранные с предварительным натягом. Эти станки оснащаются комплектом приспособлений, что расширяет их технологические возможности.

Отдельные модификации станков этой группы предназначены для профильного шлифования (мод. 3Е711В-1). Для этого в станке предусмотрены механизмы отсчета поперечных и вертикальных перемещений и механизмы фиксации стола и суппорта. В станке мод. 3Е721ГВ-1 для глубинного шлифования предусмотрена также малая скорость перемещения стола (от 0,01 м/мин). На станках мод. 3Е711ВФ-1 и 3Е721ВФ-1 возможно шлифование при скорости круга 60 и 50 м/с. В станке мод. 3Е721ВФ3-1 применены системы

ЧПУ и цифровой индикации. Этот станок предназначен для шлифования профилей, представляющих собой сочетание отрезков прямых, дуг окружностей и других кривых (детали штампов, шаблоны и др.).

На станке мод. 3Е721ВФ3-1 применено устройство ЧПУ мод. Н55-1, обеспечивающее автоматическое возвращение узлов в исходное положение, цифровую индикацию всех мерных перемещений, автоматическую выборку зазоров в механической системе станка при реверсах управляемых механизмов.

Подача СОЖ осуществляется через систему подвижных сопел, обеспечивающих подвод СОЖ в зону контакта круга с заготовкой.

На рис. 7.4 показан общий вид станка мод. 3Е711В-1. На станине 13 имеется крестовый стол 2 с направляющими, по которым пере-

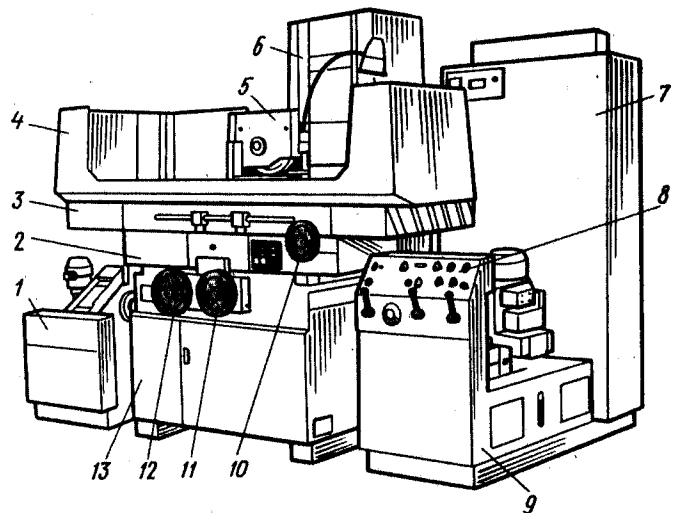


Рис. 7.4. Плоскошлифовальный станок с прямоугольным крестовым столом и горизонтальным шпинделем

мещается верхний стол 3. На столе расположены защитные кожухи 4; на нем крепится магнитная плита или другое приспособление для установки и закрепления обрабатываемой заготовки. На колонне 6 расположена шлифовальная бабка 5, в шпинделе которой закреплен шлифовальный круг, работающий периферией. Органы управления станка расположены на пульте 8. Рукоятки 10, 11 и 12 соответственно механизмов продольного перемещения стола, механизма вертикальной подачи, механизма поперечной подачи расположены на передней панели. Шлифование заготовки происходит при возвратно-поступательном движении стола 3. Устройство 1 для подачи СОЖ, гидростанция 9 и электрошкаф 7 расположены вне станка.

Плоскошлифовальные станки с прямоугольным столом общего назначения выпускают с горизонтальными

и вертикальными шпинделями. По сравнению со станками с крестовым суппортом станки этой группы имеют повышенную жесткость, оснащены шлифовальными кругами больших размеров и электродвигателями большей мощности, соответственно и масса их больше. Эти станки обеспечивают более высокую производительность, однако точность обработки на них несколько ниже. В настоящее время ширина стола станков этой группы составляет 320, 400 и 500 мм. По степени автоматизации станки выпускают в двух исполнениях: неавтоматизированные и полуавтоматы с приборами активного контроля.

Плоскошлифовальный полуавтомат мод. 3П722 с прямоугольным столом и горизонтальным шпинделем (рис. 7.5) имеет следующую

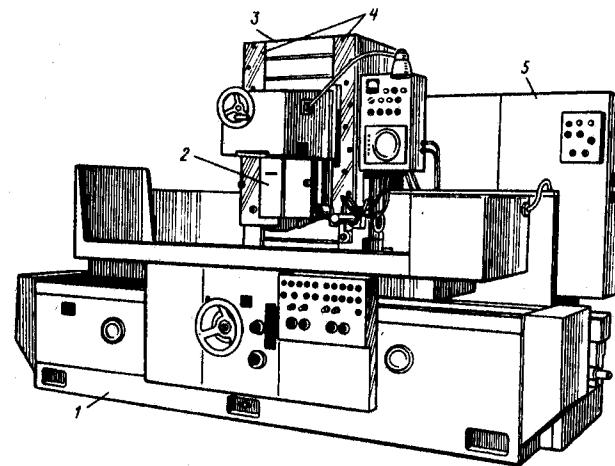


Рис. 7.5. Плоскошлифовальный полуавтомат с прямоугольным столом и горизонтальным шпинделем

компоновку. На тумбе, расположенной в центре станка и отлитой за одно целое со станиной 1, крепится колонна 3, представляющая собой жесткую литую раму с проемом в средней части, по обе стороны проема расположены вертикальные направляющие 4, по которым перемещается каретка со шлифовальной бабкой 2. Короткие кинематические цепи (вертикальные направляющие и винт-гайка качения) обеспечивают получение точных стабильных подач.

Вертикальное перемещение каретки со шлифовальной бабкой может быть ручное или автоматическое, осуществляемое механизмом вертикальной подачи, который крепится на передней стенке станины. Ускоренные перемещения осуществляются от механизма ускоренных вертикальных перемещений, который крепится на задней стенке тумбы станины.

Возвратно-поступательное перемещение стола осуществляется по направляющим станины от двух гидроцилиндров. Для станков класса А применяют гидростатические направляющие, повышающие точ-

ЧПУ и цифровой индикации. Этот станок предназначен для шлифования профилей, представляющих собой сочетание отрезков прямых, дуг окружностей и других кривых (детали штампов, шаблоны и др.).

На станке мод. 3Е721ВФ3-1 применено устройство ЧПУ мод. Н55-1, обеспечивающее автоматическое возвращение узлов в исходное положение, цифровую индикацию всех мерных перемещений, автоматическую выборку зазоров в механической системе станка при реверсах управляемых механизмов.

Подача СОЖ осуществляется через систему подвижных сопел, обеспечивающих подвод СОЖ в зону контакта круга с заготовкой.

На рис. 7.4 показан общий вид станка мод. 3Е711В-1. На станине 13 имеется крестовый стол 2 с направляющими, по которым пере-

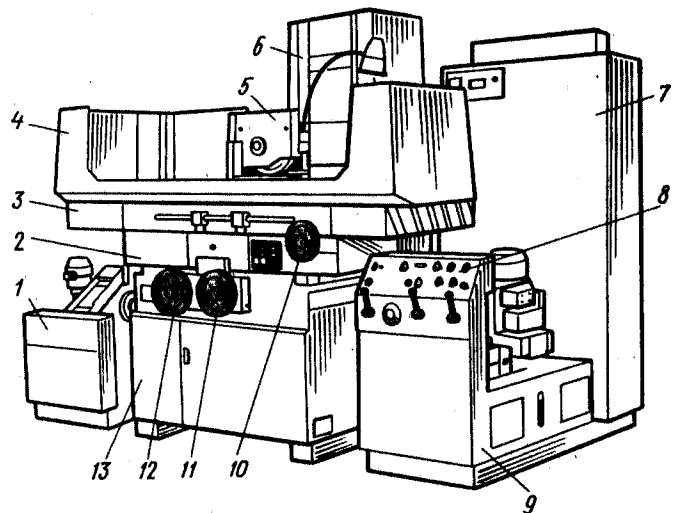


Рис. 7.4. Плоскошлифовальный станок с прямоугольным крестовым столом и горизонтальным шпинделем

мещается верхний стол 3. На столе расположены защитные кожухи 4; на нем крепится магнитная плита или другое приспособление для установки и закрепления обрабатываемой заготовки. На колонне 6 расположена шлифовальная бабка 5, в шпинделе которой закреплен шлифовальный круг, работающий периферией. Органы управления станка расположены на пульте 8. Рукоятки 10, 11 и 12 соответственно механизмов продольного перемещения стола, механизма вертикальной подачи, механизма поперечной подачи расположены на передней панели. Шлифование заготовки происходит при возвратно-поступательном движении стола 3. Устройство 1 для подачи СОЖ, гидростанция 9 и электрошкаф 7 расположены вне станка.

Плоскошлифовальные станки с прямоугольным столом общего назначения выпускают с горизонтальными

и вертикальными шпинделями. По сравнению со станками с крестовым суппортом станки этой группы имеют повышенную жесткость, оснащены шлифовальными кругами больших размеров и электродвигателями большей мощности, соответственно и масса их больше. Эти станки обеспечивают более высокую производительность, однако точность обработки на них несколько ниже. В настоящее время ширина стола станков этой группы составляет 320, 400 и 500 мм. По степени автоматизации станки выпускают в двух исполнениях: неавтоматизированные и полуавтоматы с приборами активного контроля.

Плоскошлифовальный полуавтомат мод. 3П722 с прямоугольным столом и горизонтальным шпинделем (рис. 7.5) имеет следующую

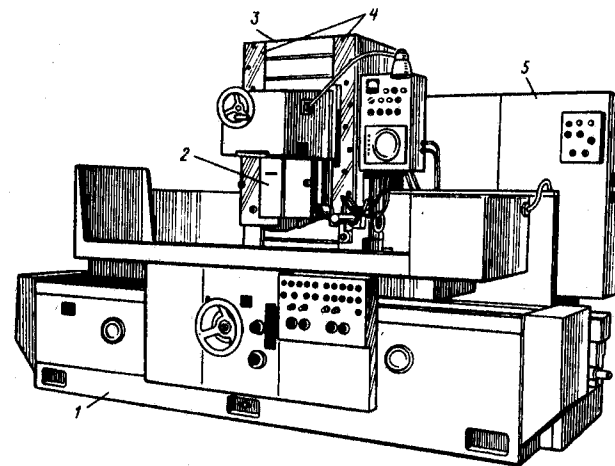


Рис. 7.5. Плоскошлифовальный полуавтомат с прямоугольным столом и горизонтальным шпинделем

компоновку. На тумбе, расположенной в центре станка и отлитой за одно целое со станиной 1, крепится колонна 3, представляющая собой жесткую литую раму с проемом в средней части, по обе стороны проема расположены вертикальные направляющие 4, по которым перемещается каретка со шлифовальной бабкой 2. Короткие кинематические цепи (вертикальные направляющие и винт-гайка качения) обеспечивают получение точных стабильных подач.

Вертикальное перемещение каретки со шлифовальной бабкой может быть ручное или автоматическое, осуществляемое механизмом вертикальной подачи, который крепится на передней стенке станины. Ускоренные перемещения осуществляются от механизма ускоренных вертикальных перемещений, который крепится на задней стенке тумбы станины.

Возвратно-поступательное перемещение стола осуществляется по направляющим станины от двух гидроцилиндров. Для станков класса А применяют гидростатические направляющие, повышающие точ-

ность перемещения стола. В станках предусмотрены дистанционное управление столом и шлифовальной бабкой, ограждающие устройства, различные виды блокировок, аварийный отскок шлифовальной бабки. За станком расположены электрошкаф 5, гидростанция, установка для смазки шпинделя и агрегат охлаждения.

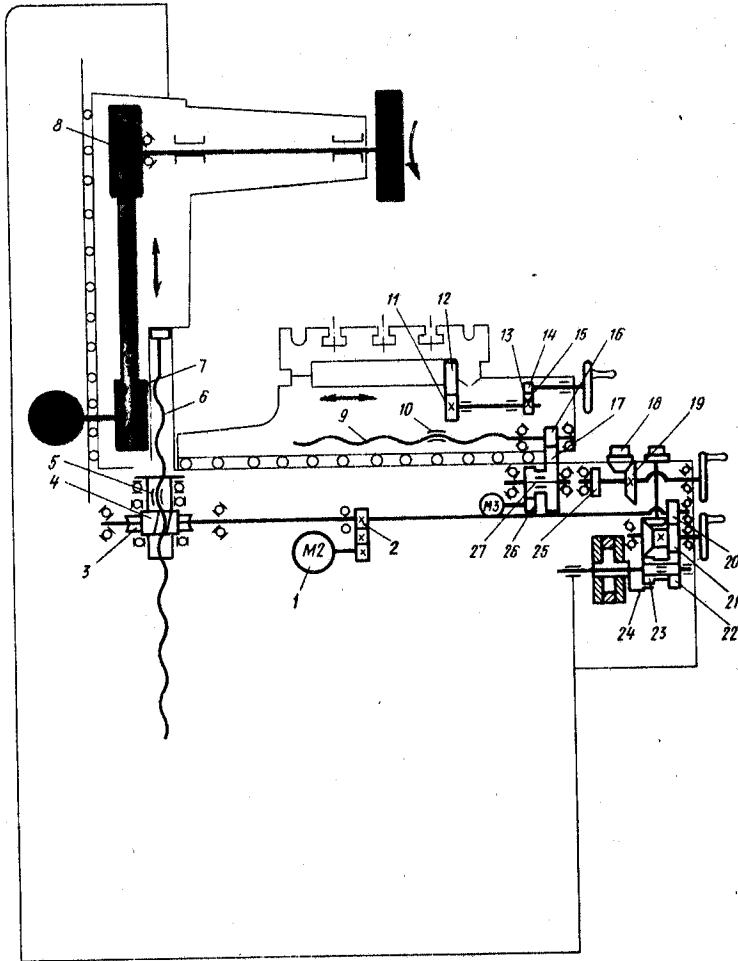


Рис. 7.6. Кинематическая схема плоскошлифовального станка с горизонтальным шпинделем

На рис. 7.6 приведена кинематическая схема универсального плоскошлифовального станка высокой точности мод. 3Г71М. Главное движение — вращение шлифовального круга от электродвигателя  $M_1$  через ременную передачу 7, 8. Частота вращения шпинделя постоянная. Опускание или подъем шлифовальной головки происходит с

помощью винтового механизма с винтом 6 и гайкой 5, с которой жестко соединено червячное колесо 3. Вращение червяка 4 осуществляется: при ускоренном перемещении — от электродвигателя  $M_2$  через цилиндрическую зубчатую передачу 1, 2; при автоматической вертикальной подаче — от лопастного насоса, работающего в момент поперечного или продольного реверса стола, через собачку 24, храповик 23, скрепленный с колесом 22, и далее через колеса 20, 21 на червяк 4. Предел вертикальной подачи 0,002–0,05 мм. Нижний предел 0,002 мм соответствует повороту храпового колеса 23 на один зуб. Ручное продольное перемещение стола осуществляется от маховика через зубчатые колеса 14, 15, 13, 11 и рейку 12. За один оборот маховика стол перемещается на 18,1 мм.

В нормальном состоянии механизм ручного продольного перемещения стола разомкнут путем вывода колеса 11 из зацепления и включения микропереключателя, допускающего включение механического перемещения стола. Винт 9 с гайкой 10, закрепленные в крестовом суппорте, осуществляют поперечную подачу стола: в автоматическом режиме — от электродвигателя  $M_3$  через зубчатые колеса 26, 27, 16, 17; в ручном режиме — от маховика через колеса 17, 16. Тонкая поперечная подача осуществляется нажатием кнопки, выведенной на верхнюю поверхность, через конические колеса 18, 19 и далее через муфту 25, зубчатые колеса 17, 16.

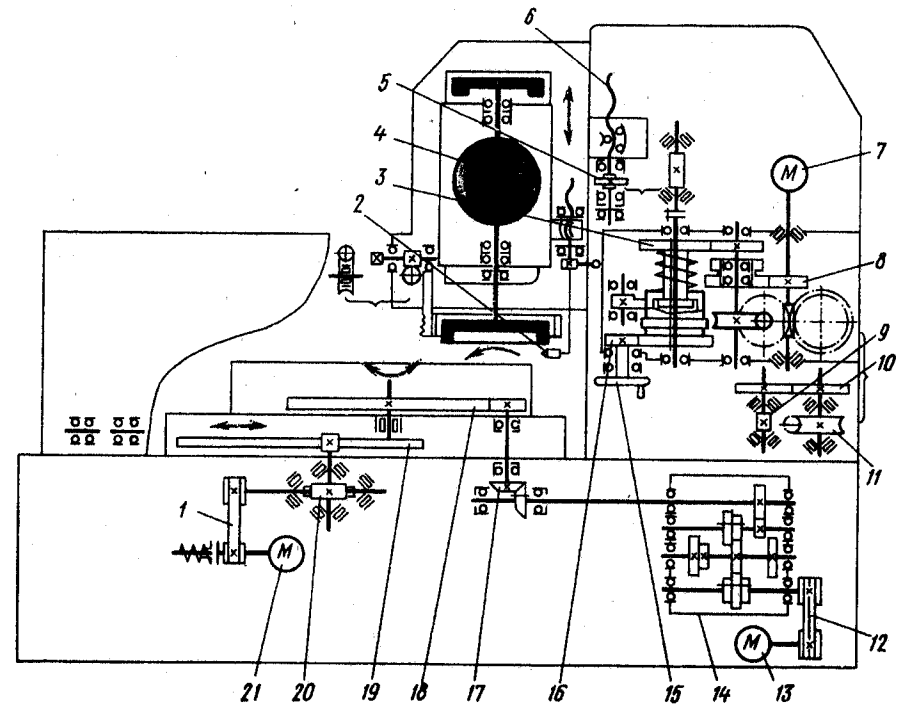


Рис. 7.7. Кинематическая схема станка с круглым столом и вертикальным шпинделем

На рис. 7.7 показана кинематическая схема станка с круглым столом и вертикальным шпинделем. Вращение шлифовального круга осуществляется от встроенного электродвигателя 4, а электромагнитного стола — от электродвигателя 13 через клиноременную передачу 12, шестистороннюю коробку скоростей 14, коническую 17 и цилиндрическую 18 пары зубчатых колес. Каретка стола перемещается от электродвигателя 21 через клиноременную передачу 1, червячный редуктор 20 и рейку 19.

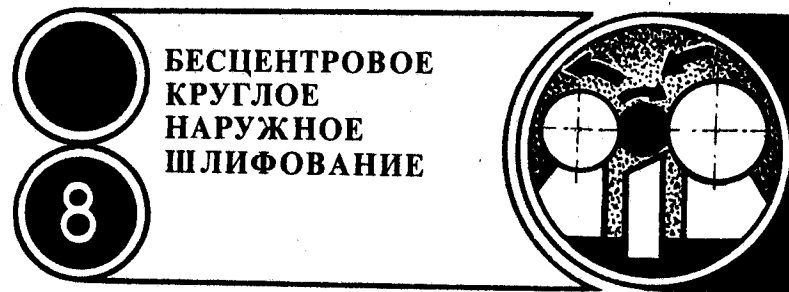
Подача шлифовальной бабки осуществляется от электродвигателя 7 постоянного тока с приводом от магнитного усилителя и диапазоном регулирования 1 : 100. Механизм подачи обеспечивает автоматическую подачу, осуществляемую от электродвигателя 7 постоянного тока через червячную передачу 11, цилиндрическую пару 10, червячную пару 9, цилиндрическую зубчатую передачу 3 механизма подач и через червячный редуктор 5 подачи на винтовую пару 6 с шагом 10 мм; ускоренный и замедленный подвод, а также ускоренный отвод, осуществляющиеся от электродвигателя 7 через две зубчатые пары 8 и 3 и далее через червячный редуктор подачи 5 на винтовую пару 6; ручное перемещение и ручную подачу, осуществляющиеся вращением маховика 15 через зубчатую пару 16.

Дозированная подача осуществляется от специальной рукоятки с собачкой 2 и храповым колесом.

Выпускают станки с выдвижным столом диаметром от 400 до 1250 мм.

## 7.5. ПОДГОТОВКА СТАНКА К РАБОТЕ

Перед наладкой станка необходимо ознакомиться с паспортом и руководством по эксплуатации станка, с основными узлами и органами управления станком, как и при других видах шлифования. После ознакомления с чертежом заготовки и технологической картой обработки следует провести наладку станка. Необходимо проверить работу основных узлов станка в наладочном режиме, убедиться в исправности магнитной плиты и приспособлений для установки и крепления заготовки. Рабочую поверхность плиты проверить на отклонение от плоскостности, при недопустимых отклонениях — шлифовать ее на станке. Каждая заготовка на плите должна перекрывать не менее чем два полюса. Необходимо проверить касательную силу закрепления заготовки, в случае необходимости применить установочные плитки и планки, которые повышают надежность крепления; установить упоры механизма реверсирования хода стола, обеспечив при этом длину перебега в 20—30 мм; установить кулачки механизма попеременного реверса, обеспечив выход периферии круга за габарит шлифуемой поверхности не более 0,3 высоты круга; выбрать режим шлифования и в зависимости от длины заготовки и скорости продольной подачи установить требуемую частоту двойных ходов стола; установить величину поперечной и вертикальной подач; настроить измерительно-управляющее устройство и заданный автоматический цикл работы станка.



## 8.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Сущность метода бесцентрового шлифования заключается в том, что заготовка 3 в процессе обработки не закрепляется в центрах, а базируется обрабатываемой (или обработанной ранее) поверхностью на ведущем круге 1 и опорном ноже 2 (рис. 8.1). Шлифовальный круг 4 и ведущий круг 1 вращаются в одном направлении, но с разной окружной скоростью. Окружная скорость ведущего круга в 50—60 раз ниже окружной скорости шлифовального круга. Ведущий круг, как правило, выполняется абразивным на вулканитовой связке, иногда применяют металлические ведущие круги (стальные или чугунные). Сила трения между шлифовальным кругом и заготовкой меньше, чем с ведущим кругом, поэтому окружная скорость заготовки близка к окружной скорости ведущего круга. Опорная поверхность ножа скошена под углом 20—30° к линии, соединяющей центры шлифовального и ведущего кругов (линии центров), и, как правило, для уменьшения износа армируется твердым сплавом.

Существует три основных метода обработки заготовок на бесцентрово-шлифовальных станках: шлифование напроход с продольной подачей заготовки (рис. 8.2, а); шлифование до упора (рис. 8.2, б); врезное шлифование (рис. 8.2, в).

Бесцентровое шлифование напроход (рис. 8.2, а) применяется для обработки гладких цилиндрических деталей типа колец подшипников, втулок, поршневых пальцев, толкателей клапанов и др. Для обеспечения продольного перемещения детали ось ведущего круга устанавливается в вертикальной плоскости под углом  $\beta = 0 \div 8^\circ$  к оси шлифовального круга, при этом скорость продольной подачи (м/мин) заготовки  $v_s = v_w \sin \beta k$ , а окружная скорость (м/мин) заготовки  $v_z = v_w \cos \beta k$ , где  $v_w$  — окружная скорость ведущего круга (м/мин);  $\beta$  — угол поворота ведущего круга в вертикальной плоскости (град);  $k$  — коэффициент, учитывающий проскальзывание между ведущим кругом и заготовкой.

При бесцентровом шлифовании до упора (рис. 8.2, б) осевое перемещение заготовки осуществляется до упора, после чего ведущий круг отводится от детали в направлении, перпендикулярном ее оси, и обработанная деталь выгружается из рабочей зоны. Этот способ имеет ограниченное применение, в частности, для

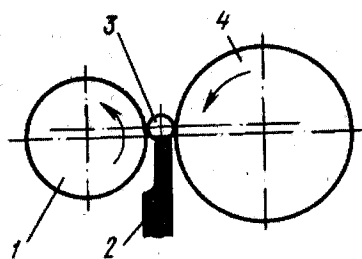


Рис. 8.1. Базирование заготовки при шлифовании напроход

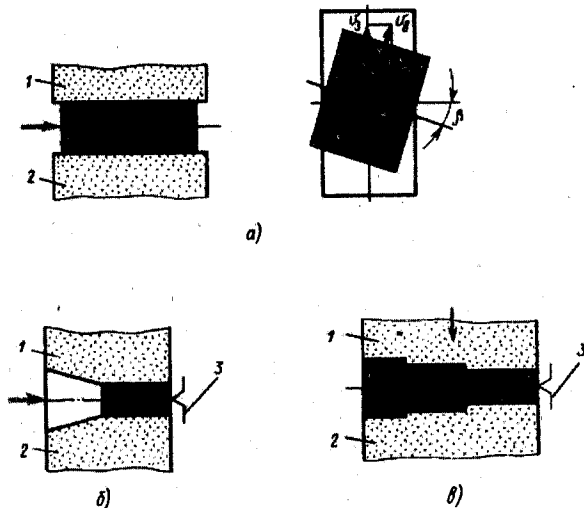


Рис. 8.2. Обработка заготовок на бесцентрово-шлифовальных станках:

1 — шлифовальный круг, 2 — ведущий круг, 3 — упор

деталей с сочетанием цилиндрической и конической поверхностей. Врезное бесцентровое шлифование (рис. 8.2, в) используется для обработки ступенчатых и профильных заготовок. Сущность метода заключается в том, что заготовка укладывается на нож и ведущий круг, после чего начинается перемещение шлифовального круга на заготовку или заготовки на шлифовальный круг. Ведущий круг при этом устанавливается на угол  $\beta = 20-30^\circ$ , обеспечивая прижим заготовки к торцовому упору. В ряде случаев ведущий круг и опорный нож имеют ступенчатую форму в соответствии с профилем заготовки.

### 8.2. РЕЖИМЫ ОБРАБОТКИ

Бесцентровые станки применяют в подшипниковой, автомобильной, тракторной и металлургической промышленности. По сравнению с

обработкой на центровых станках при бесцентровом шлифовании обеспечивается более высокая стабильность деталей по качеству и размерам, устраняются прогибы заготовки, что позволяет применять более напряженные режимы шлифования и снижать припуск на обработку. Сокращается или полностью совмещается время обработки и вспомогательное время, связанное с установкой и снятием деталей со станка, проверкой размеров и т. п.

При шлифовании напроход обеспечивается получение погрешностей формы в поперечном сечении до 2,5 мкм, с шероховатостью в пределах  $Ra = 0,32 \div 0,16$  мкм. Для уменьшения шероховатости поверхности на некоторых станках устанавливают два шлифовальных круга разной характеристики: крупнозернистый для снятия основной части припуска и мелкозернистый для уменьшения шероховатости обрабатываемой поверхности.

Большое внимание при обработке должно уделяться правке шлифовального круга. Для рационального распределения нагрузки в зоне контакта на режущей поверхности круга создают четыре основных участка, выполняющих разные функции (рис. 8.3). На участке входа заготовок формируется заборный конус 4 длиной 10–30 мм с таким углом, который бы обеспечивал беспрепятственный и надежный вход в зону шлифования заготовок с предельной величиной припуска. Основную часть по высоте круга занимает рабочий конус 3, обеспечивающий равномерное распределение съема припуска по линии контакта заготовки с кругом. Калибрующая зона 2 выполняется при правке образующей параллельно оси круга на длину не более 100 мм и предназначена для формирования заданной шероховатости поверхности, требуемой точности размеров и формы. Четвертая зона имеет обратную конусность 1, обеспечивающую правильный выход детали из зоны контакта с кругом. Обратный конус обычно имеет высоту 20–30 мм.

Шлифовальные круги указанного профиля правят с помощью копирных линеек. При черновом шлифовании с невысокими требованиями к качеству поверхности шероховатости  $Ra = 2,5 \div 1,25$  мкм, допуск на размер до 0,1 мм, на круге выполняют только заборный и обратный конусы.

При бесцентровом шлифовании напроход для ввода заготовок в зону шлифования и вывода из нее служат направляющие линейки, установленные параллельно линии контакта заготовки с шлифовальным кругом. При повороте линеек или их смещении относительно образующей ведущего круга геометрическая форма заготовок искажается, в основном в продольном сечении образуется конусообразность, седлообразность или бочкообразность.

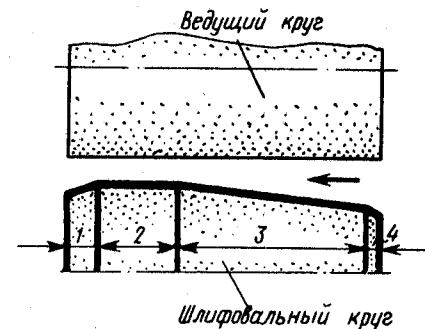


Рис. 8.3. Правка шлифовального круга



**8.1. Выбор характеристик круга, удвоенной глубины шлифования и числа переходов при бесцентровом проходном шлифовании**

Обрабатываемый материал	Требуемая точность формы, мм	Требуемая шероховатость поверхности $R_a$ , мкм	Характеристика шлифовального круга	Рекомендуемая удвоенная глубина шлифования на данном переходе, мм	Условное обозначение перехода	Рекомендуемые переходы при шлифовании в зависимости от исходной точности формы, мм									
						0,30-0,15	0,15-0,10	0,10-0,05	0,05-0,03	0,03-0,015	0,015-0,010	0,010-0,005			
Сталь	0,15-0,10	5-1,25	15A50СТ2К	0,20-0,35	a	+									
	0,10-0,05	2,5-0,63	15A40СТ1К 15A40СТ1К	0,15-0,20	b	+	+								
	0,05-0,03	1,25-0,63	15A40СТ1К 15A25 (C2-CT1) К	0,10-0,15	в	+	+								
	0,03-0,015	1,25-0,32	25A25С2К	0,05-0,10	z	+	+	+							
	0,015-0,010	0,63-0,32	25A16 (C1-C2) К	0,03-0,05	д	+	+	+	+						
	0,010 0,005- 0,0025	0,63-0,16 0,32-0,08	25A16Т-В 25A12СТ-В	0,015-0,03 0,01-0,015	e ж	+	+	+	+	+	+				+
Чугун	0,10-0,05	2,5-0,63	54С50 (C1-C2) К	0,20-0,35	a	+									
	0,05-0,03	1,25-0,63	54С40 (C1-C2) К	0,15-0,20	b	+	+								
	0,03-0,01	0,63-0,32	54С25 (СМ2-С1) К	0,10-0,15	в	+	+								
	0,01-0,005	0,63-0,16	54С16С1К	0,05-0,10	z	+	+	+							
	0,005- 0,0025	0,32-0,08	15A16Т-В 15A12СТ-В	0,015-0,03 0,01-0,015	д	+	+	+	+	+					+

Примечания: 1. Знак «+» означает, что данный переход необходимо выполнить для получения требуемого качества поверхности при заданной исходной точности формы. 2. Характеристика ведущего круга во всех случаях одинаковая 15A16Т-В.

При выборе характеристики шлифовальных кругов необходимо учитывать вид операции (предварительное, чистовое, доводочное шлифование), марку обрабатываемого материала, требования к шероховатости поверхности, состояние исходной заготовки, величину припуска и ряд других условий.

Для точного учета всех условий обработки следует пользоваться подробными технологическими справочниками. В табл. 8.1 и 8.2 приведены рекомендации по выбору режимов шлифования и характеристики кругов. В них учитывается метод бесцентрового шлифования (врезной и напроход), марка обрабатываемого материала (сталь и чугун), исходная погрешность заготовки, требования к точности формы детали в поперечном сечении и требуемый параметр шероховатости. Располагая этими технологическими параметрами, по таблице выбирается необходимая характеристика шлифовального круга по виду абразивного материала, зернистости, твердости и связке, необходимое количество переходов, устанавливаемое в зависимости от исходной погрешности заготовки.

**8.2. Выбор характеристики круга, удвоенной глубины шлифования и числа переходов при бесцентровом врезном шлифовании**

Обрабатываемый материал	Требуемая точность формы, мм	Требуемая шероховатость поверхности по $R_a$ , мкм	Необходимая характеристика шлифовального круга	Рекомендуемая удвоенная глубина шлифования, мм, на данном переходе	Условное обозначение перехода	Рекомендуемые переходы при шлифовании в зависимости от исходной точности формы, мм			
						0,30-0,20	0,20-0,10	0,10-0,05	0,05-0,02
Сталь	0,15-0,10	2,5-1,25	15A50(CT2-CT3) К 15A40(CT1-CT2) К	0,3-0,5	a	+			
	0,10-0,05	2,5-0,63	15A40(CT1-CT2) К 25A25(CT1-CT2) К	0,2-0,3	b	+	+		
	0,05-0,02	1,25-0,32	25A16(CT1-CT2) К	0,1-0,15	в	+	+	+	
	0,02-0,01	0,63-0,32	25A16(C2-CT1) К	0,05-0,1	z	+	+	+	+
Чугун	0,10-0,05	2,5-0,63	54С50(С2-CT1) К 54С40(С2-CT1) К	0,3-0,5	a	+			
	0,05-0,02	1,25-0,63	54С40(С2-CT1) К 54С25(С1-С2) К	0,15-0,3	b	+	+	+	
	0,02-0,01	0,63-0,32	54С25(С1-С2) К	0,05-0,15	в	+	+	+	+

Примечания: 1. Знак «+» означает, что данный переход необходимо выполнить для получения требуемого качества поверхности при заданной исходной точности формы. 2. Характеристика ведущего круга во всех переходах одинаковая - 15A16Т-В. 3. Рекомендации по числу переходов предусматривают последовательную обработку на ряде станков. При обработке на одном станке число переходов может быть уменьшено в 2 раза при одновременном уменьшении минутной поперечной подачи на 20-40%.

Например, на стальной детали требуется получить шероховатость  $Ra = 0,63 \div 0,32$  мкм, точность формы в пределах 0,01 мм при исходной погрешности заготовки в пределах 0,05–0,10 мм.

По табл. 8.1 устанавливаем, что заданные требования к качеству поверхности и точности обработки можно получить на переходе  $d$  при использовании круга 25A16 (C1–C2)K, выполнив предварительно переходы  $b$  и  $e$  кругом 15A40CT1K и переход  $z$  кругом 25A25C2K. В табл. 8.1 указана рекомендуемая глубина шлифования на каждом из этих переходов. Величину осевых подач и интенсивность съема назначают в зависимости от типа заготовки и требования к качеству шлифуемой поверхности. Например, при обдирочном шлифовании прутков на станках с широким кругом скорость осевой подачи составляет около 10 м/мин, при шлифовании поршневых пальцев, осей — 1,5–4,5 м/мин, при шлифовании колец подшипников — 0,25–2 м/мин.

При врезном шлифовании скорость поперечной подачи: чистовой — 0,3–1,5 мм/мин, черновой — 0,8–5 мм/мин, форсированной при позиционировании шлифовального круга — 3–10 мм/мин. Остальные режимы врезного шлифования выбираются по табл. 8.2.

### 8.3. УСТАНОВКА И БАЗИРОВАНИЕ ЗАГОТОВОК НА БЕСЦЕНТРОВО-ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ

Бесцентровое шлифование напроход является широко распространенным процессом финишной обработки деталей. Все заготовки, обрабатываемые этим методом, могут быть подразделены на две группы: 1) заготовки, у которых соотношение длины к диаметру меньше 1/3, например наружные кольца подшипников; 2) заготовки, у которых соотношение длины к диаметру более 1/3, например

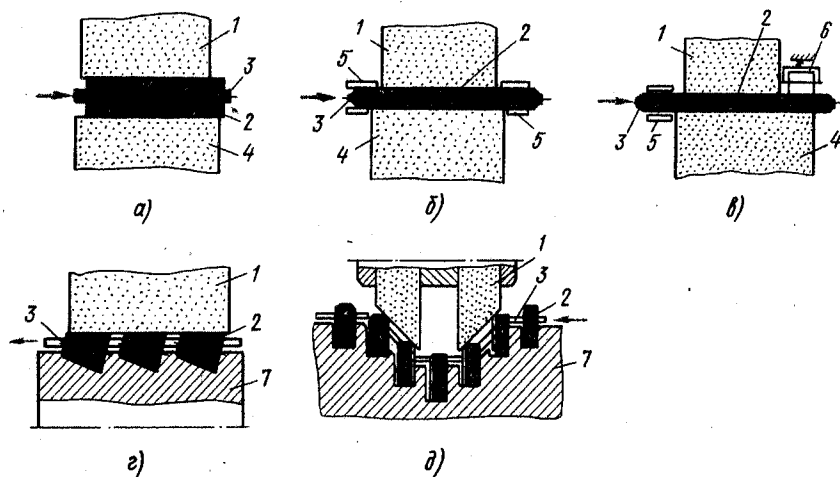


Рис. 8.4. Базирование заготовок при шлифовании напроход:  
 а – в – шлифование наружной цилиндрической поверхности заготовок с разным соотношением длины и диаметра, г, д – шлифование конических поверхностей у шпилек и фасок

поршневые пальцы, толкатели клапана и др. Заготовки первой группы (рис. 8.4, а) обрабатываются с базированием по торцу. Для этой цели загрузочные устройства и наладка станка обеспечивают перемещение с подпором заготовок, расположенных торцами вплотную одна к другой. Заготовки второй группы (рис. 8.4, б, в) обрабатываются с базированием по наружной цилиндрической обрабатываемой поверхности. Загрузочные устройства и наладка станка обеспечивают в этом случае перемещение заготовок с интервалами между ними. В обоих случаях обработка производится шлифовальным кругом 1; заготовки 2 устанавливаются на ноже 3 и ведущем круге 4. При обработке заготовок второй группы для их направления в рабочую зону станка устанавливают дополнительные направляющие щетки 5 и прижимной ролик 6, обеспечивающий лучший прижим заготовок к ведущему кругу 4 (рис. 8.4, а – в).

Для обработки напроход конических роликов, фасок на седлах клапанов и других конических поверхностей вместо ведущего круга на станке устанавливают металлический барабан 7 с винтовой канавкой, в которой перемещаются обрабатываемые заготовки (рис. 8.4, г, д).

В последние годы резко расширилась номенклатура деталей, обрабатываемых врезным методом. Разработаны специальные устройства, позволяющие базировать и обрабатывать заготовки сложной многоступенчатой формы, большой длины (иногда превосходящей габариты станка). В ряде случаев обрабатывают несколько деталей небольшой длины. При обработке профильных поверхностей на станках используют устройства для правки шлифовального круга алмазным роликом.

На рис. 8.5, а приводится схема обработки галтели клапана автомобильного двигателя. Образующей шлифовального круга 1 придается форма обрабатываемой галтели, а ведущему кругу 2 – профильная форма, обеспечивающая его прилегание по цилиндрической части

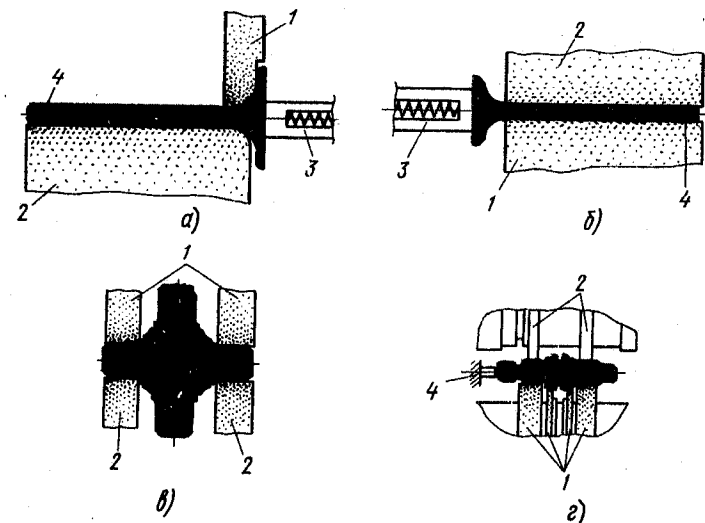


Рис. 8.5. Шлифование заготовок по методу врезания

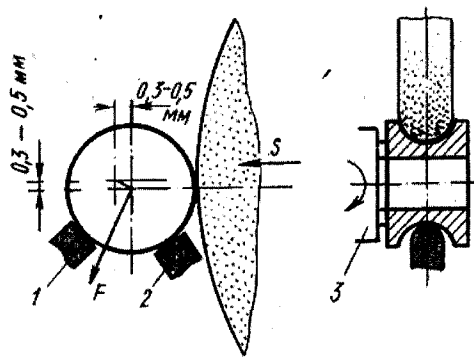


Рис. 8.6. Базирование заготовок на неподвижных опорах — башмаках

(рис. 8.5, в) применяют два шлифовальных круга 1. Обрабатываемая заготовка опирается на два ведущих круга 2 и нож.

На рис. 8.5, г приводится схема одновременной обработки четырех шеек ступенчатого вала четырьмя шлифовальными кругами 1, заготовка приводится во вращение двумя ведущими дисками 2 (чугунными) и их разворотом прижимается к упору 4.

В последние годы при обработке колец шариковых и роликовых подшипников качения широкое распространение получил способ базирования заготовок на неподвижных опорах — башмаках. Заготовку при шлифовании устанавливают на двух неподвижных башмаках 1 и 2 (рис. 8.6) и она прижимается торцом к магнитному патрону 3, закрепленному на шпинделе бабки изделия станка. Башмаки 1 и 2 устанавливают так, что ось заготовки смещается по отношению к оси шпинделя изделия, в результате чего при вращении шпинделя наблюдается проскальзывание между торцом магнитного патрона и заготовкой. Величина смещения (отклонение от соосности) устанавливается так, чтобы результирующая сила трения  $F$ , возникающая при проскаль-

(стеблю) клапана и по галтели. В осевом направлении клапан прижимается к упору 4 с помощью подпружиненного плунжера 3. Упор 4 может использоваться для последующего выгалькивания (с помощью пневматического цилиндра) проточенных деталей в ящик. Аналогичным образом обрабатывается цилиндрическая поверхность стебля клапана (рис. 8.5, б).

Для обработки двух соосных шеек крестовины кардана

зываются, прижимала кольцо к башмакам. Для уменьшения износа рабочие поверхности магнитного патрона и опорных башмаков армируются твердосплавными пластинами.

Такой способ базирования имеет следующие преимущества по сравнению со способами базирования заготовки на ноже и ведущем круге: задний опорный башмак 1 (рис. 8.6) не вносит погрешностей, связанных с биением ведущего круга; конструкция башмачного устройства способствует повышению жесткости технологической системы СПИД станка; конструктивно станок упрощается.

Одновременное шлифование нескольких поверхностей существенно повышает эффективность использования станков для врезной обработки. На рис. 8.7 представлены схемы базирования заготовок при одновременном шлифовании: конических поверхностей двух внутренних колец конических роликоподшипников (рис. 8.7, а); двух торцов и дорожки качения внутренних колец цилиндрических роликоподшипников (рис. 8.7, б); борта и дорожки качения внутренних конических колец (рис. 8.7, в). В последних двух случаях заготовки базируются на неподвижных опорах.

#### 8.4. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И КИНЕМАТИКА БЕСЦЕНТРОВО-ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

По компоновке бесцентрово-шлифовальные станки могут быть подразделены на станки с неподвижной (рис. 8.8, а) и подвижной (рис. 8.8, б) шлифовальными бабками.

В станках с неподвижной шлифовальной бабкой суппорт ножа и бабка ведущего круга устанавливаются на отдельной каретке, перемещение которой используется для компенсации износа шлифовального круга, а также для подачи при работе врезным методом. Станки этого типа компактны, имеют высокую жесткость, но обладают существенным недостатком — ось обрабатываемой детали смещается в пространстве по мере износа шлифовального круга, что усложняет разработку загрузочных устройств и встройку станков в автоматические линии. Бабка ведущего круга имеет направляющие для перемещения при наладке станка, связанной с изменением диаметра заготовки. Эти же направляющие используются для компенсации износа ведущего круга.

В станках с подвижной шлифовальной бабкой суппорт ножа жестко закреплен на станине, а шлифовальная бабка и бабка ведущего круга могут перемещаться по своим направляющим в направлении, перпендикулярном оси шпинделей. Каждая бабка совершает перемещение, необходимое для компенсации износа круга.

На станках, работающих врезным способом, движение подачи осуществляют перемещением шлифовальной бабки. Таким образом, в станках с подвижной шлифовальной бабкой ось шлифуемой детали не меняет своего положения в пространстве, поэтому это компоновочное решение значительно упрощает встройку станков в автоматические линии и обработку заготовок типа прутков и труб.

По расположению линии центров бесцентрово-шлифовальные

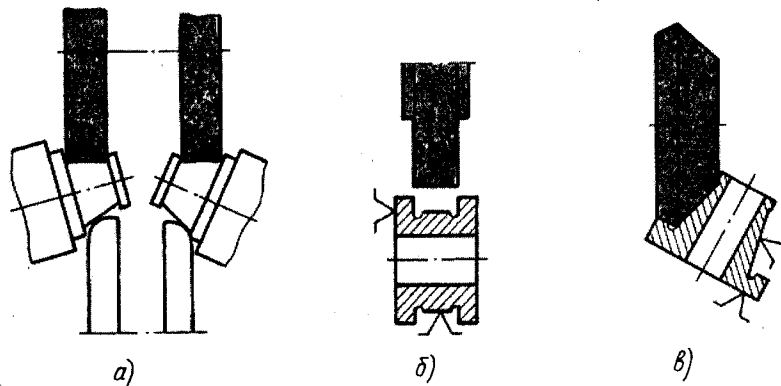


Рис. 8.7. Базирование заготовок при одновременном шлифовании конических поверхностей (а), двух торцов и дорожки качения (б), борта и дорожки качения (в)

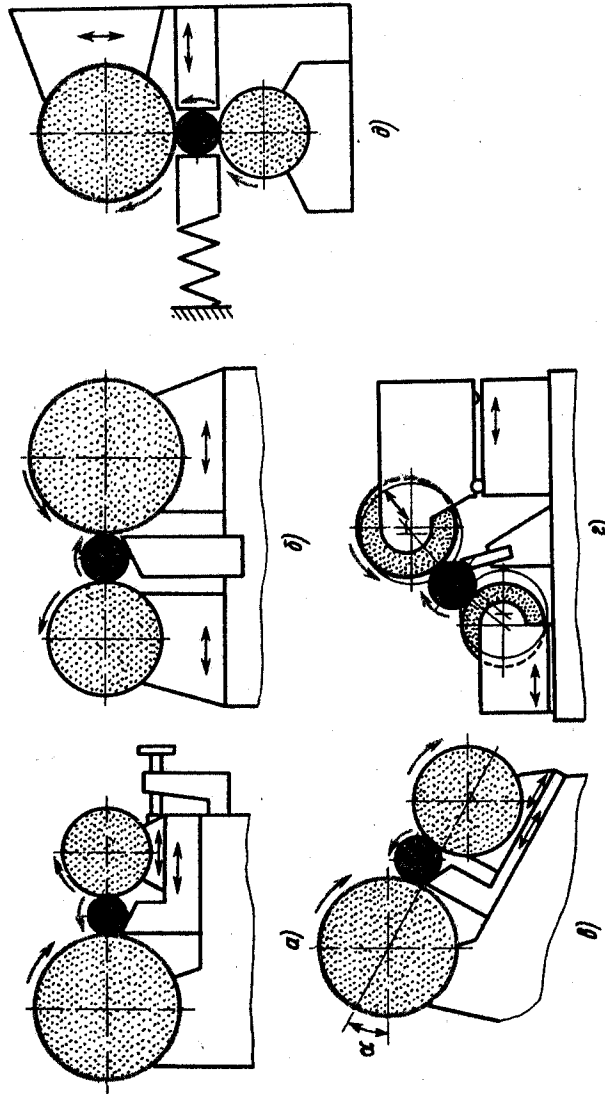


Рис. 8.8. Бесцентрово-шлифовальные станки с различной компоновкой основных узлов

станки подразделяют на горизонтальные (рис. 8.8, б), наклонные (рис. 8.8, в, г) и вертикальные (рис. 8.8, д).

Станки с горизонтальным расположением линии центров (рис. 8.8, б) получили наибольшее распространение. Их компоновка позволяет обеспечить лучшую защиту направляющих от попадания шлама и эмульсии. Станки с наклонным расположением линии центров (рис. 8.8, в, г) применяются при обработке деталей большого диаметра и большой массы. При наклонном расположении линии центров уменьшается усилие прижима заготовки к опорному ножу и, следовательно, уменьшается износ, а также увеличивается усилие прижима заготовки к ведущему кругу. Таким образом, создаются условия для устойчивого равномерного вращения заготовки, особенно при обработке напроход, когда на выходе из рабочей зоны уменьшается сила

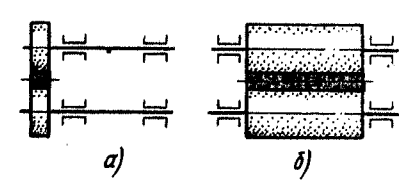


Рис. 8.9. Расположение шлифовального и ведущего кругов на бесцентрово-шлифовальных станках

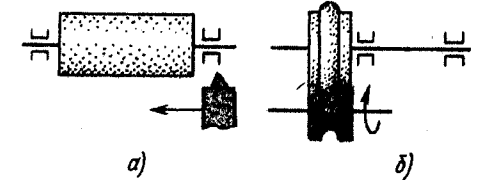


Рис. 8.10. Правка круга на бесцентрово-шлифовальных станках

прижима детали к ведущему кругу под влиянием силы резания. Угол наклона линии центров к горизонту обычно колеблется в пределах 15–30°, но имеются станки, у которых угол наклона составляет 75°.

Станки с вертикальным расположением линии центров (рис. 8.8, д) применяют ограниченно. Эта компоновка облегчает возможность наладки станка для работы методом врезания с тангенциальной подачей, при котором заготовка перемещается в горизонтальной плоскости между ведущим и шлифовальным кругами.

По расположению опор шпинделей шлифовального и ведущего кругов бесцентрово-шлифовальные станки могут быть разделены на станки с консольным расположением шлифовального и ведущего кругов (рис. 8.9, а) и станки с шлифовальным и ведущим кругами, расположенными между опорами (рис. 8.9, б).

Станки с консольным расположением кругов являются наиболее распространенными в парке бесцентровых станков. Высота круга у этих станков не превышает 300 мм, что достаточно для обработки врезанием большой номенклатуры деталей. Станки широко используются и для обработки напроход. Однако для съема большого припуска требуется большое количество проходов заготовки через рабочую зону. К основным положительным особенностям станков с консольным расположением кругов следует отнести удобство смены кругов, простоту наладки, удобство обслуживания.

Станки с расположением кругов между опорами (рис. 8.9, б) применяются для уменьшения числа проходов, необходи-

мых для обработки методом сквозной подачи заготовок. В станках подобного типа высота шлифовального и ведущего кругов достигает 600—1000 мм. Один станок с таким широким кругом может заменить 4—5 станков с узкими кругами.

При встройке этих станков в автоматические линии вся операция обработки наружной поверхности выполняется, как правило, на двух станках — черновом и чистовом, что значительно упрощает обслуживание станков в автоматической линии. Станки с широким кругом используются также и для врезной обработки, а иногда и для одновременной обработки двух и нескольких деталей.

По правящему инструменту бесцентрово-шлифовальные станки подразделены на станки, у которых правка круга осуществляется алмазом (рис. 8.10, а), и станки с правкой круга алмазным роликом (рис. 8.10, б). Правка алмазным роликом применяется как при шлифовании напроход, так и при врезном шлифовании. При обработке профильных заготовок алмазному ролику придается форма в соответствии с формой шлифовального круга.

Основные узлы бесцентрово-шлифовального станка базовой мод. 3М184 показаны на рис. 8.11. Шлифовальная бабка 1, неподвижная опора с опорным ножом 2 и бабка 3 ведущего круга расположены на станине 4. Бабки 1 и 3 могут перемещаться по направляющим по командам от органов управления, размещенных на панели 6. Электрооборудование станка расположено в шкафу 5.

Высокая жесткость этих станков обеспечивается главным образом за счет конструкции станины и установки шлифовального и ведущего кругов на двух опорах. Станки, предназначенные для шлифования заготовок диаметром до 80 мм, имеют горизонтальное расположение линии центров, свыше 80 мм — наклонное.

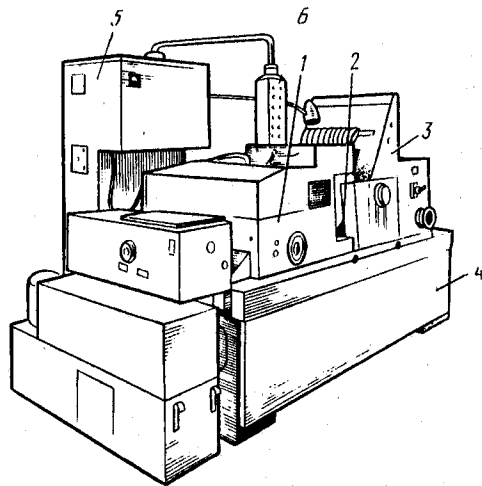


Рис. 8.11. Бесцентрово-шлифовальный станок мод. 3М184

Кинематическая схема станка мод. 3М184 приведена на рис. 8.12. Вращение шлифовального круга осуществляется от асинхронного двигателя 1, вынесенного из станины и установленного на плите, через клиноременную передачу 2. Частота вращения круга регулируется диаметром шкивов. Шлифовальная бабка 3 перемещается относительно жесткой литой станины по роликовым направляющим со стальными закаленными планками. Шпиндель шлифовального круга установлен на гидродинамических подшипниках скольжения с

самоустанавливающимися вкладышами. Самоустановка вкладышей обеспечивает создание масляного клина между рабочей поверхностью вкладышей и шпинделем. Кроме того, самоустановка исключает кромочные контакты, обычно вызываемые отклонением от соосности расточек в корпусе шлифовальной бабки. От перемещения в осевом направлении шпиндель удерживается подпятником.

Ведущий круг вращается от электродвигателя 6 постоянного тока с помощью червячного редуктора 4. Редуктор и двигатель соединены упругой муфтой. В качестве опор шпинделя ведущего круга используют гидродинамические или гидростатические подшипники скольжения, а также подшипники качения. Бабка 8 ведущего круга установлена на направляющих скольжения.

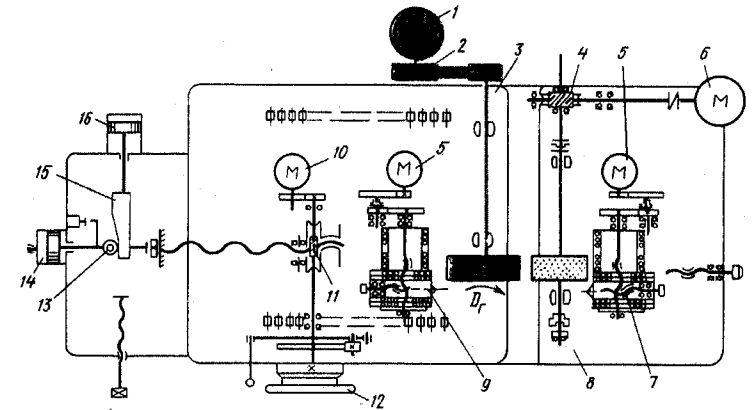


Рис. 8.12. Кинематическая схема бесцентрово-шлифовального станка мод. 3М184

Ускоренные перемещения шлифовальной бабки 3 при наладке осуществляются с помощью электродвигателя 10, винтовой передачи с шариковой гайкой 11 и ходового винта. Перемещения бабки 3 могут также осуществляться вручную от маховика 12 через червячную передачу. Механизм врезной подачи 13 обеспечивает форсированную подачу от гидроцилиндра 14 и рабочие подачи с помощью гидроцилиндра 16 и копира 15.

Правка рабочих поверхностей шлифовального и ведущего кругов производится с помощью соответственно устройств 9 и 7, каретки которых получают продольные перемещения от двигателей постоянного тока 5 через зубчатые передачи и передачу винт — гайка. Поперечные каретки устройств для правки перемещаются по копирам.

#### 8.5. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ БЕСЦЕНТРОВО-ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Подготовка бесцентрово-шлифовальных станков к работе достаточно сложна. Некоторые элементы наладки являются общими для всей группы шлифовальных станков: ознакомление с паспортом станка и

технологической картой детали, наладка элементов цикла, установка режимов резания и правки, балансировка шлифовального круга и др. Некоторые элементы наладки специфичны для бесцентрово-шлифовальных станков.

Наладку станка, связанную с организацией его рабочей зоны, можно укрупненно разделить на наладку элементов, обеспечивающих точность обработки детали в поперечном сечении, и наладку элементов, обеспечивающих точность обработки детали в продольном ее сечении.

Вопросы организации рабочей зоны станка для обеспечения точности обработки детали в продольном сечении были частично рассмотрены в § 8.2. Здесь остановимся подробнее на наладке элементов станка, обеспечивающих точность обработки в поперечном сечении детали.

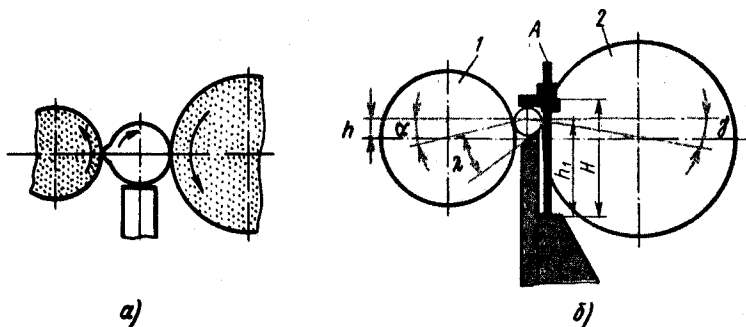


Рис. 8.13. Наладка бесцентрово-шлифовального станка: а — погрешности обработки, б — установка углов с помощью устройства А; 1 — ведущий круг, 2 — шлифовальный круг

К погрешностям обработки в поперечном сечении детали относится прежде всего отклонение от круглости. Если рассмотреть простейший случай схемы бесцентрового шлифования, когда центры обрабатываемой заготовки, шлифовального и ведущего кругов лежат на одной прямой, параллельной опорной поверхности ножа (рис. 8.13, а), то соприкосновение какого-либо выступа на заготовке с ведущим кругом приводит к образованию впадины на ее диаметрально противоположной поверхности. На обработанной таким образом детали выдерживается постоянство диаметров во всех диаметральных сечениях, но она не будет круглой.

При реальных наладках станка центр детали устанавливают выше линии центров, а опорный нож выполняют со скосом. При такой схеме обработки выступ на заготовке будет приводить к образованию впадины, расположенной под углом, отличным от  $180^\circ$ . В результате заготовка в процессе обработки приобретет форму многогранника, близкого к окружности. Теоретически установлено, что форма поперечного сечения детали существенно зависит от углов  $\alpha$  и  $\gamma$  (рис. 8.13, б), определяемых угловым расположением базирующих элементов

(ведущего круга и ножа или неподвижных башмаков) относительно точки контакта шлифовального круга и заготовки.

Практически для универсальных бесцентрово-шлифовальных станков установка углов  $\alpha$  и  $\gamma$  производится по результатам измерения высоты  $h$  — центра детали относительно линии центров станка. Эту установку осуществляют с помощью специального устройства А, устанавливаемого на опорной плоскости суппорта ножа.

Величину  $H$  определяют с учетом расстояния от опорной плоскости суппорта ножа до линии центров станка и диаметра обрабатываемой детали. Величина  $h$  может быть выбрана по табл. 8.3.

8.3. Параметры наладки бесцентрово-шлифовальных станков

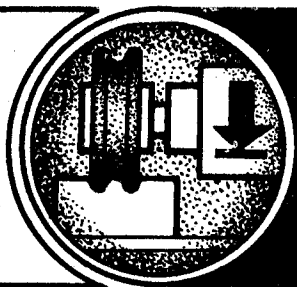
Диапазон диаметров обрабатываемых заготовок, мм	Диаметр круга, мм		Параметры $h$ для шлифования			
	шлифовального	ведущего	обдирочного ( $\lambda = 0^\circ$ )	чернового ( $\lambda = 30^\circ$ )	получистового ( $\lambda = -32^\circ 30'$ )	чистового ( $\lambda = 34^\circ$ )
1–20	400	250	-2+ -3**	1–1,5	15–17	9–11
20–80	500	400 (350)	-3+ -5	3	22–24	15–17
80–160	600	400 (350)	-5+ -7	5–7	27–32	17–21

\*  $\lambda$  — угол скоса ножа.

\*\* Знак «+» указывает на то, что ось заготовки расположена ниже линии центров станка.

Выбор частоты вращения заготовки производится с учетом следующих факторов: 1) увеличение частоты вращения заготовки улучшает условия бесприжогового шлифования, так как ускоряется отвод прошлифованного участка из зоны резания; 2) чрезмерное увеличение частоты вращения заготовки нарушает устойчивые условия вращения (особенно при базировании на неподвижных опорах — башмаках). При окружной скорости заготовки выше 50–60 м/мин без применения специальных СОЖ начинается неравномерное вращение заготовки, вызываемое изменением коэффициента трения между заготовкой и опорным ножом.

Следует учитывать также, что частота вращения заготовки оказывает влияние на колебания станка при резании, поэтому этот параметр должен уточняться при шлифовании на конкретном станке.



9.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Профильное шлифование — это шлифование поверхности, образующая которой кривая или ломаная линия. Однако на практике к профильному шлифованию относят и обработку рабочей поверхности кулачков и копиров с прямолинейной образующей и не относят обработку выпуклых и вогнутых поверхностей (гиперболоидных поверхностей), образующихся при круглом наружном и внутреннем шлифовании, когда круги при цилиндрической форме имеют оси вращения, перекрещивающиеся с осью заготовки. Поэтому профильным шлифованием мы будем называть обработку деталей по сложному контуру, который нельзя обработать простыми движениями круга простой формы. Кругами простой формы считают шлифовальные круги, у которых рабочая поверхность — цилиндр (круг ПП), конус (круг 1Т и др.) или плоский торец (круг ЧЦ, ЧК и др.). Простыми движениями являются вращательное и прямолинейное поступательное.

Фасонные поверхности имеют такие распространенные детали, как зубчатые колеса, шлицевые валы, кулачки, лопатки турбин, компрессоров и сопловых аппаратов, валки прокатных станов, фасонные резцы, профильные шаблоны, пуансоны, матрицы, копиры и др. Так как многие из перечисленных деталей изготовляют в очень больших количествах, то для их обработки создано большое количество станков разнообразного назначения: зубошлифовальные полуавтоматы, шлицешлифовальные, резьбо- и червячно-шлифовальные, вальцешлифовальные, шлифовально-копировальные, желобошлифовальные, профилошлифовальные и другие станки. Для обработки фасонных поверхностей на деталях подшипников созданы специальные высокопроизводительные станки-автоматы и полуавтоматы, многие из которых входят в состав ГПС (гибких производственных систем) или встроены в автоматические линии.

Профильное шлифование можно осуществлять разными методами. Наиболее распространенными являются три метода: метод копирования, при котором профиль на круге соответствует профилю на детали; метод огибания профиля на заготовке рабочей поверхностью круга за счет относительного движения обкатки; метод эквидистантного шлифования, при котором движение подачи круга осуществляется по траектории, эквидистантной

шлифуемому профилю (эквидистантные линии — это линии, отстоящие друг от друга на одинаковом расстоянии). Частным случаем метода копирования является многокруговое шлифование профиля поверхности несколькими шлифовальными кругами одновременно.

На рис. 9.1 показано профильное шлифование по методу врезной подачи круга, осевой профиль рабочей поверхности которого соответствует профилю шлифуемой фасонной поверхности: пуансона вырубного штампа для изготовления сердечников электродвигателей

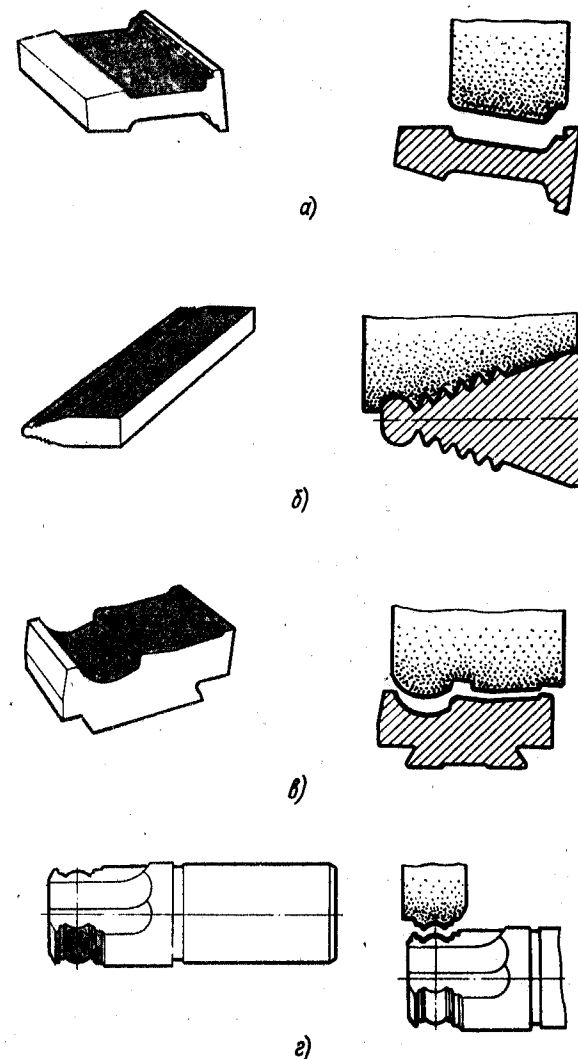


Рис. 9.1. Врезное профильное шлифование фасонных поверхностей на пуансоне (а), протяжке (б), фасонных резцах (в, г)

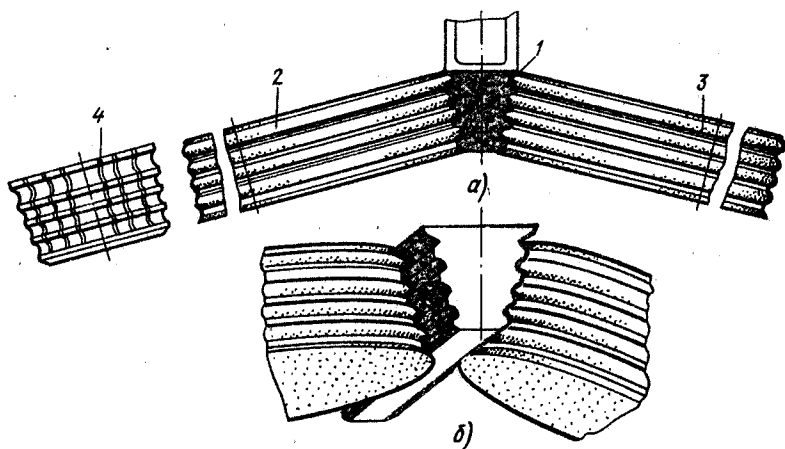


Рис. 9.2. Рабочая зона станка для шлифования елочного профиля замка турбинной лопатки:  
а — вид сверху, б — вид сбоку

(рис. 9.1, а), наружной протяжки для обработки елочного профиля замка турбинного диска (рис. 9.1, б), фасонных резцов тангенциального (рис. 9.1, в) и круглого (рис. 9.1, г).

На рис. 9.2 приведена схема наладки рабочей зоны станка для шлифования елочного профиля замка на турбинных лопатках 1 одновременно двумя шлифовальными кругами 2 и 3. Профиль на рабочей поверхности кругов определяется профилем накатного ролика 4.

На рис. 9.3 показано врезное профильное шлифование с делением и повторным шлифованием нескольких одинаковых профилей заготовки. Для поворота заготовки используется делительная головка с ручным или автоматическим приводом или с управлением от системы ЧПУ. После шлифования каждой впадины на пуансоне для прессования зубчатых колес из порошковых материалов (рис. 9.3, а) происходит поворот пуансона на один угловой шаг, и цикл шлифования впадины повторяется. Аналогично осуществляется шлифование боковых поверхностей зубьев шестерен, используемых в специальных насосах (рис. 9.3, б). При шлифовании боковых поверхностей карданных валов равных угловых скоростей помимо деления вала осуществляется также профилирование и в осевой плоскости (рис. 9.3, в) за счет подачи по копиру или автоматического перемещения от системы ЧПУ.

На рис. 9.4 показаны схемы шлифования по профилю внутреннего (рис. 9.4, а) и наружного (рис. 9.4, б, в) колец шарикоподшипников из штампованных заготовок без предварительной токарной обработки. Заготовки обрабатываются методом врезного шлифования.

На рис. 9.5 приведены примеры абразивной обработки рабочих профилей валков для прокатных и трубозлектросварочных станов. Рабочий профиль валков формируется либо по методу копирования, либо за счет перемещения рабочей поверхности кругов по траекториям, которые эквидистантны различным участкам образующей шлифуемого профиля.

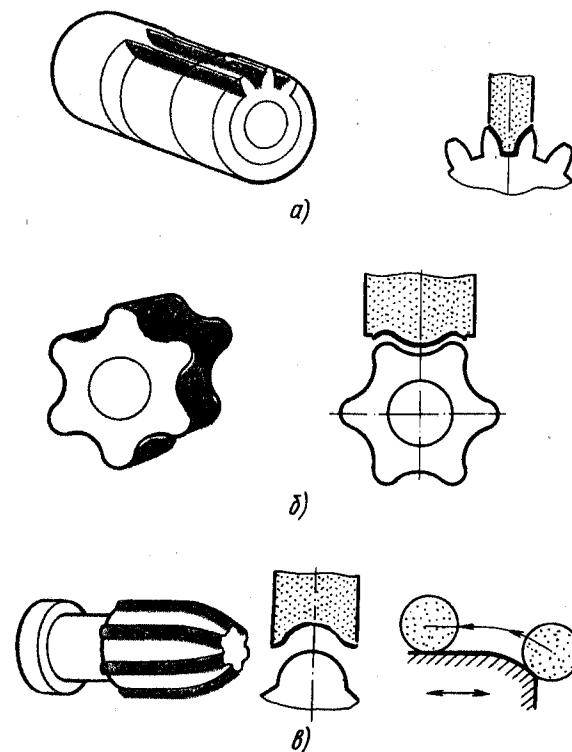


Рис. 9.3. Врезное профильное шлифование фасонных поверхностей с делением профилей при повороте пуансона (а), шестерни насоса (б), карданного вала и осевом перемещении по копиру (в)

На рис. 9.6 приведен пример обработки фасонной поверхности детали штампа на плоскошлифовальном станке, оснащенном системой ЧПУ. Заготовка закрепляется на электромагнитной плите, а перемещение для образования профиля осуществляется по программе от сервомоторов постоянного тока.

На рис. 9.7 приведено профильное шлифование с шаговой подачей на примере двух деталей: мелко модульной зубчатой рейки (рис. 9.7, а), боковые поверхности которой обрабатываются за шесть шаговых подач, и пресс-формы для изготовления рамок интегральных микросхем (рис. 9.7, б), профиль которой состоит из пяти пазов и обрабатывается по методу врезного шлифования на глубину 5,8 мм и шаговой подачи, равной 2,5 мм.

На рис. 9.8 показаны схемы шлифования элементов прямобоковых шлицевых валов, у которых центрирование детали на валу осуществляется по внутреннему диаметру и боковым сторонам шлицев. На одношпиндельном шлицешлифовальном станке профиль шлицевого вала обрабатывают одним кругом, профиль рабочей поверхности которого образуют с помощью специального правильного



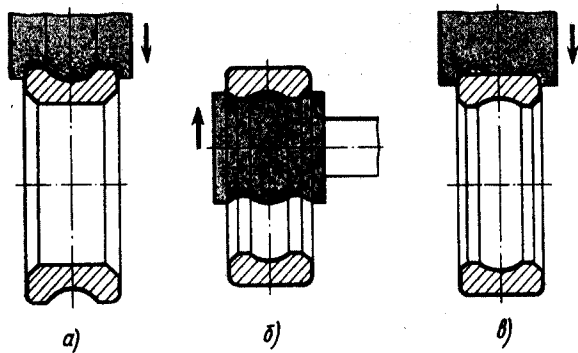


Рис. 9.4. Схема врезного профильного шлифования внутреннего (а) и наружного (б, в) колец шарикоподшипника кругами, рабочая поверхность которых правится алмазными роликами

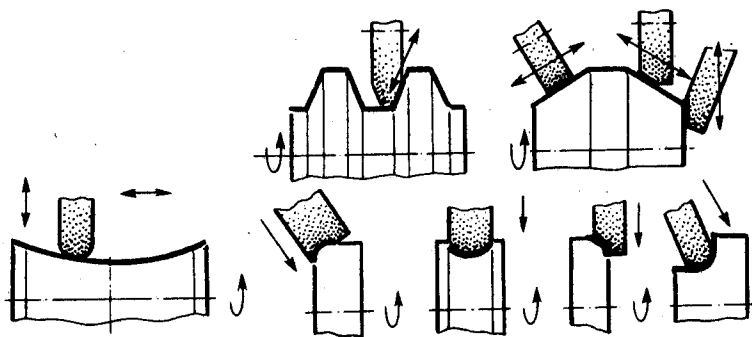


Рис. 9.5. Примеры профильного шлифования рабочих рунцов валков прокатных станков

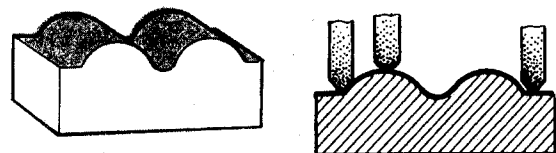


Рис. 9.6. Схема эквидистантного шлифования профиля детали штампа

устройства (рис. 9.8, а). На специальных станках шлифование профиля вала осуществляют несколькими кругами одновременно (рис. 9.8, б) или в две операции (рис. 9.8, в, г).

На рис. 9.9 приведены схемы шлифования зубьев колес по методу обкатки рабочей поверхностью двух тарельчатых кругов (рис. 9.9, а), одного круга с конической поверхностью (рис. 9.9, б) и круга в виде

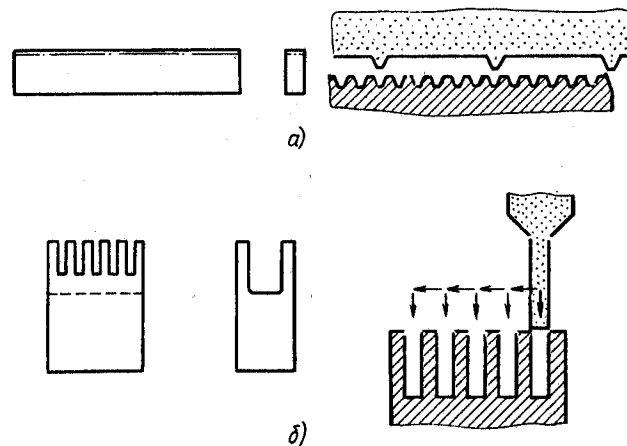


Рис. 9.7. Схема профильного шлифования с шаговой подачей при обработке мелко модульной зубчатой рейки (а) и пресс-формы для изготовления рамок с внешними выводами интегральных микросхем (б)

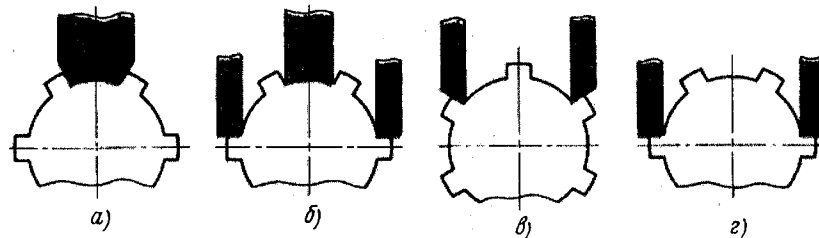


Рис. 9.8. Схема шлифования боковых поверхностей шлицевых валов

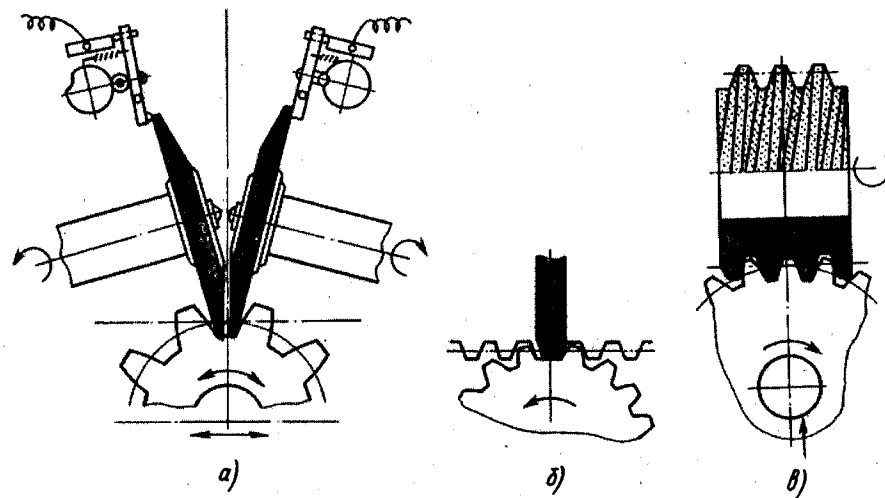


Рис. 9.9. Шлифование боковых поверхностей зубьев по методу обкатки двумя тарельчатыми кругами (а), одним конусным кругом (б) и абразивным червяком (в)

абразивного червяка (рис. 9.9, в). Профиль этих кругов представляет производящий исходный контур рейки, а механизм обкатки станка имитирует его взаимодействие с боковыми поверхностями шлифуемых зубьев при работе зубчато-реечного механизма.

## 9.2. ПРАВКА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

Приведенные примеры показывают, что при профильном шлифовании точность формы шлифуемых поверхностей зависит от формы рабочей поверхности шлифовального круга и параметров шлифовального станка. Профиль и рельеф рабочей поверхности на шлифовальном круге получают в процессе правки. Широкое применение для профильной правки круга получили следующие методы и алмазные инструменты: точение алмазами в оправе, алмазными карандашами и алмазными резцами (рис. 9.10); шлифование алмазными роликами с врезной и тангенциальной подачами (рис. 9.11; 9.12); правка алмазным фасонным бруском (рис. 9.13) и алмазными гребенками.

На практике широко используют приспособление для правки кругов по прямолинейной образующей (рис. 9.14). Алмазный правящий инструмент 2 закрепляется на ползуне 3, который может перемещаться по направляющим 1, представляющим собой синусную линейку. Угол наклона этой линейки относительно основания 5 определяется высотой набора плоскопараллельных концевых мер 4. Приспособление устанавливается основанием 5 на магнитной плите плоскошлифовального станка. Для профилирования рабочей поверхности круга по дугам окружности применяют разнообразные приспособления, принцип работы которых можно рассмотреть на примере приспособления (рис. 9.15). Алмазный правящий инструмент 3 с помощью винта 2 закрепляется на стойке 4, которая вместе с салазками 5 и диском 7 может поворачиваться относительно вертикальной оси втулки 6, запрессованной в отверстие плиты 8. Смещение правящего инструмента 3 относительно этой оси равно радиусу  $R$  дуги, который требуется выдержать при правке. Это смещение контролируется размером  $B$  относительно упора 9, а именно:  $R = 75 - B$ , где  $R > 0$  — радиус выпуклого профиля,  $R < 0$  — радиус вогнутого профиля на шлифовальном круге. Стойка 4 может перемещаться для установки алмаза вдоль оси круга по верхним направляющим салазок 5 и в радиальном направлении по направляющим диска 7. Поворот верхней части приспособления при правке осуществляют вручную с помощью рукоятки 1.

Широкое применение получили правящие приспособления с копирными устройствами (рис. 9.16). В державке 8 закреплен блок 9 с двумя алмазными резцами 10, один из которых используется при предварительной правке, второй — при окончательной правке рабочей поверхности круга. Перемещение алмазного резца по контуру осуществляется пантографом с рычагами 7, 6 при перемещении оси 5 шупа 3 с маховичком 4 по профилю копира. Копир закрепляется на салазках 12, имеющих базовые детали в виде планки 1 и штифтов 2. Перемещение салазок 12 осуществляют вращением маховичка 11.

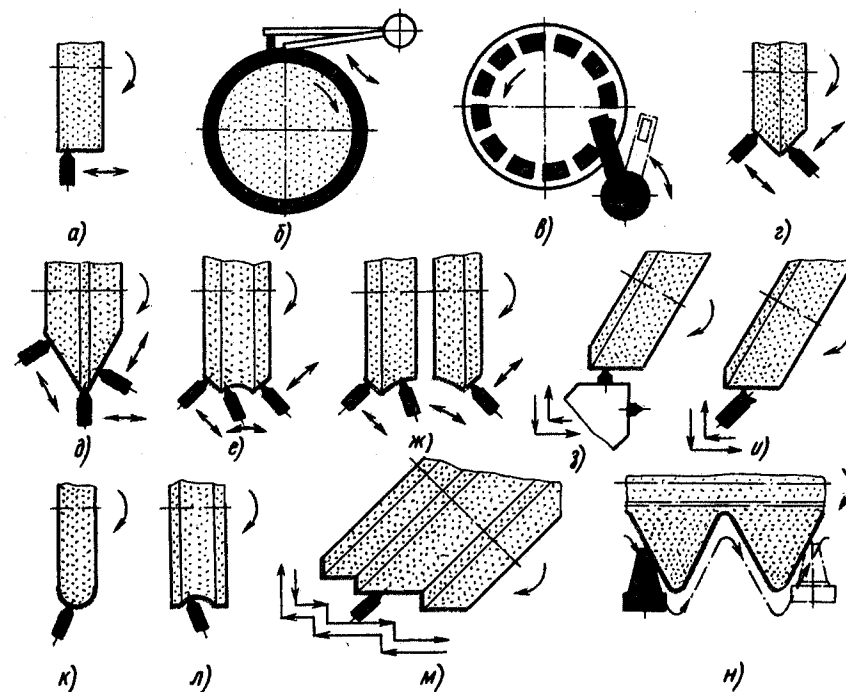


Рис. 9.10. Схемы правки рабочей поверхности кругов для профильного шлифования: алмазом в оправе (а, б, в, г, д, е, ж), алмазным резцом (м, н), двумя или тремя алмазами (з, з, и, д, е, ж)

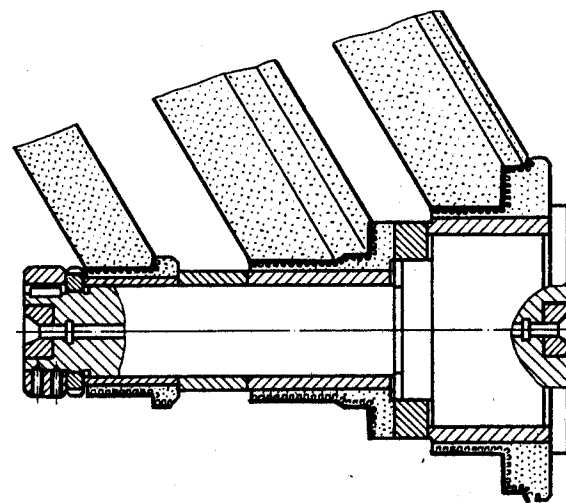


Рис. 9.11. Схема правки рабочих поверхностей кругов алмазными роликами для многокругового шлифования разобнесенных поверхностей цапфы заднего моста автомобиля

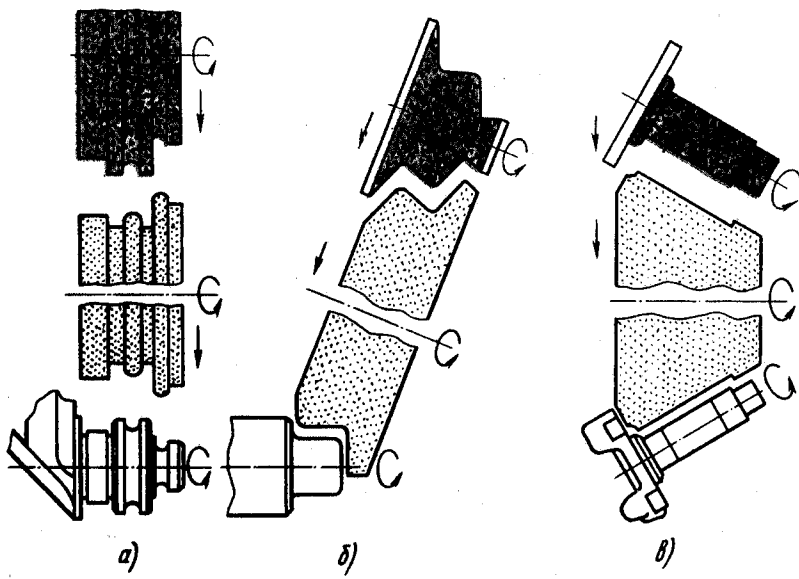


Рис. 9.12. Схема совмещенной правки рабочей поверхности круга алмазными роликами и шлифования:  
*a* — концевой участка вала, *б* — цилиндрического и двух торцовых участков вала, *в* — торцовых и цилиндрических поверхностей вала

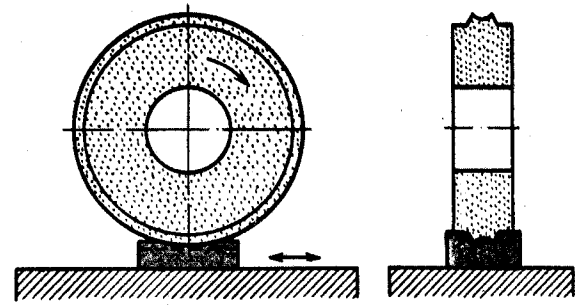


Рис. 9.13. Схема профильной правки круга фасонным бруском

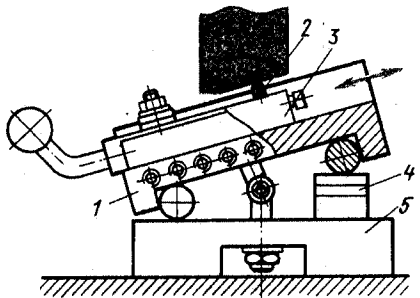


Рис. 9.14. Приспособление для правки прямолинейных участков рабочей поверхности круга

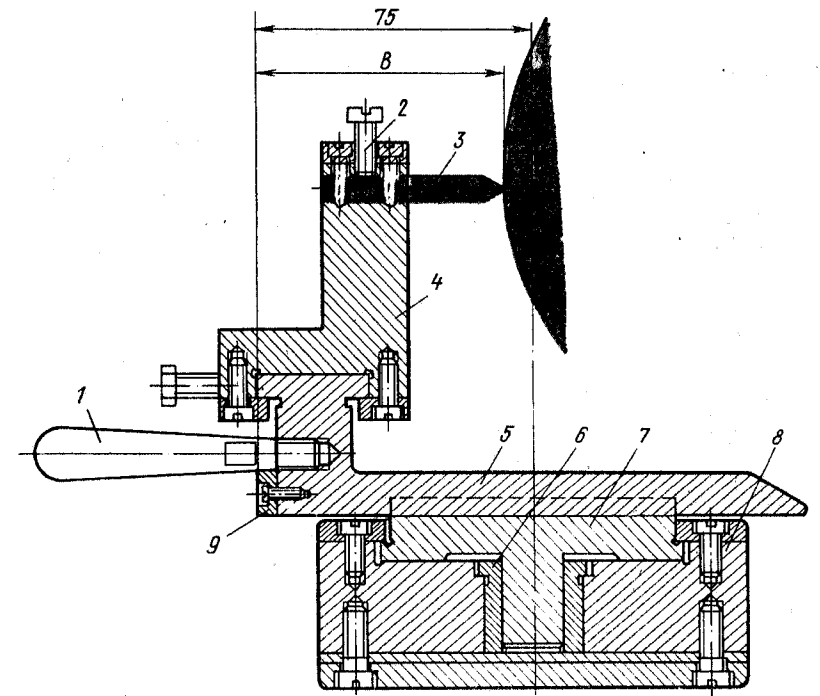


Рис. 9.15. Приспособление для правки рабочей поверхности круга по дугам окружности

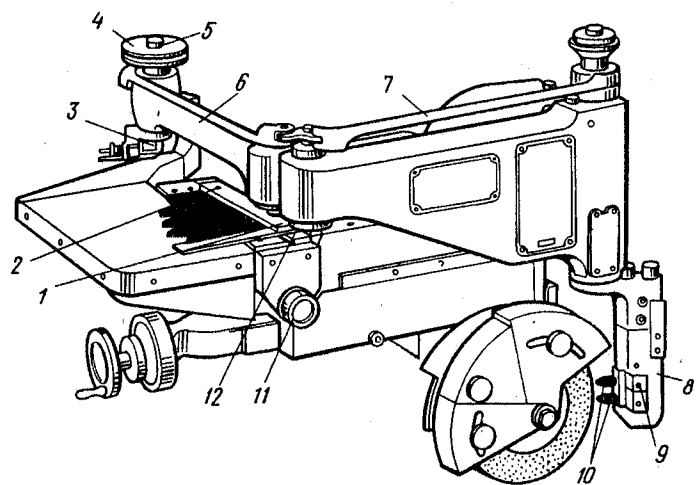


Рис. 9.16. Приспособление для профильной правки кругов по копиру с пантографным механизмом

Профилеширование рабочей поверхности круга на станках, оснащенных системами числового программного управления (ЧПУ), выполняется с одновременным перемещением по двум координатным осям. На плоскошлифовальном станке эти перемещения осуществляются за счет вертикальной подачи  $S_y$  шлифовального круга (по оси  $y$ ) и поперечной подачи  $S_x$  стола (по оси  $x$ ), на котором закреплен правящий алмазный инструмент (рис. 9.17, а). Перемещения осуществляются от управляемых сервомоторов постоянного тока с точностью 0,001 мм. При обработке точное позиционирование по координатам  $x$  и  $y$  шлифовального круга и обрабатываемой заготовки обеспечивается автоматически с помощью устройства ЧПУ.

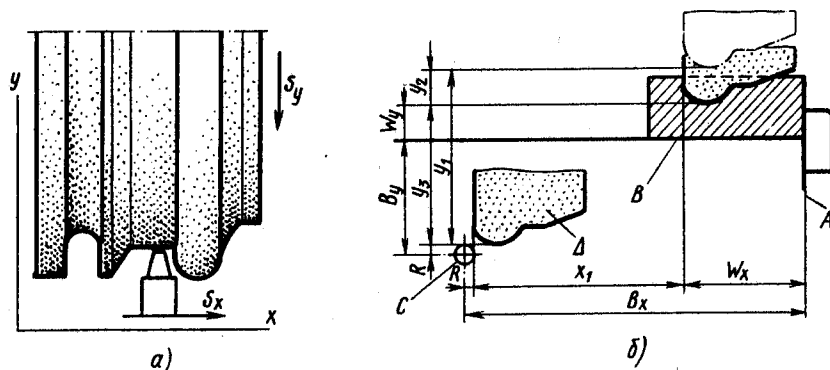


Рис. 9.17. Правка рабочей поверхности круга (а) и наладка станка при профильном шлифовании на станке с ЧПУ (б)

Взаимное расположение центра  $C$  сферы на кристалле алмаза и базовых плоскостей  $A$  и  $B$  на заготовке при ее установке на электромагнитной плите показано на рис. 9.17, б и определяется размерами  $B_x$  и  $B_y$ . Размеры  $W_x$  и  $W_y$  соответствуют рабочему чертежу детали. Величина взаимного перемещения круга и заготовки при позиционировании (из позиции правки в позицию шлифования) определяется координатами  $x_1$  и  $y_1$ , а перемещение при врезной подаче — координатой  $y_2$ .

### 9.3. ПРОФИЛЕШЛИФОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ

Профилешлифовальные станки предназначены для выполнения профильной обработки с высокой точностью. Эти станки обычно основаны на принципе копирования чертежа или шаблона и могут быть с механической или оптической системой.

Профилешлифовальный станок с механической системой в виде пантографа (рис. 9.18, а) имеет шаблон 1 и щуп 2, поступательное перемещение которого передается на шлифовальный круг 5 через пантограф 4 с уменьшением, а поворот щупа в горизонтальной плоскости через вспомогательный двойной параллелограмм 3. Точность перемещения шлифовального круга определяется точностью изготовления

шаблона и точностью передаточного отношения пантографа. Движение продольной подачи  $S_{пр}$  придано обрабатываемой детали 6. Настроенные перемещения  $S_{ш.л}$  и  $S_{ш.пр}$  совершает шаблон.

Оптический профилешлифовальный станок с пантографом (рис. 9.18, б) работает по чертежу 1, выполненному в увеличенном масштабе 50 : 1. Игла 2 перемещается пантографом 3 с передаточным отношением 1 : 50 и фиксируется микроскопом 4 с 25-кратным увеличением, закрепленным на другой тяге пантографа. Перекрестие микроскопа повторяет траекторию иглы, уменьшенную в 50 раз, т. е. соответствующую истинным размерам детали. В окуляре микроскопа (рис. 9.18, в) видны перекрестие окуляра, участок поверхности обраба-

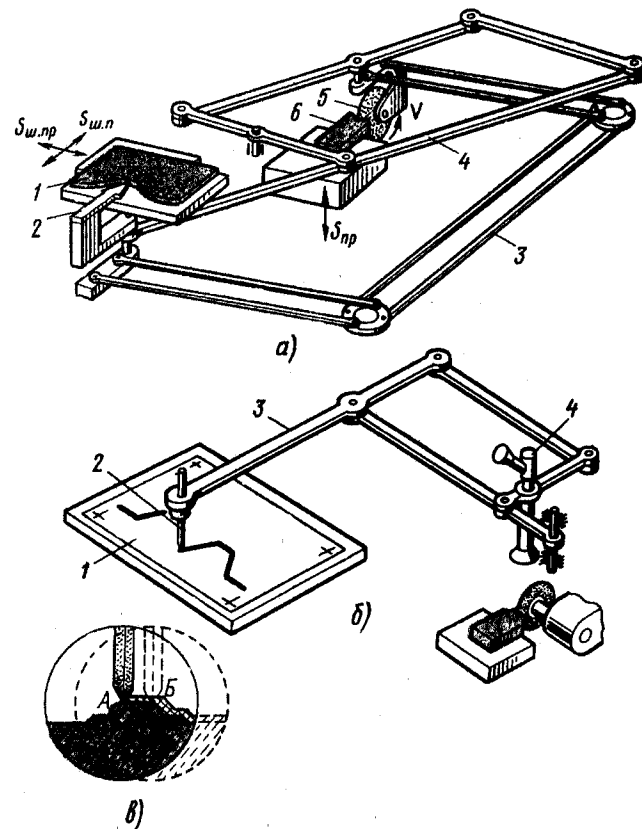


Рис. 9.18. Схемы работы профилешлифовальных станков с пантографом

тываемой детали и контур шлифовального круга. Перемещение иглы на чертеже из точки  $A$  в точку  $B$  сопровождается перемещением перекрестия. Точку периферии шлифовального круга надо переместить из точки  $A$  в точку  $B$  крестовым суппортом шлифовальной бабки. Оптическая система профилешлифовального станка с экраном

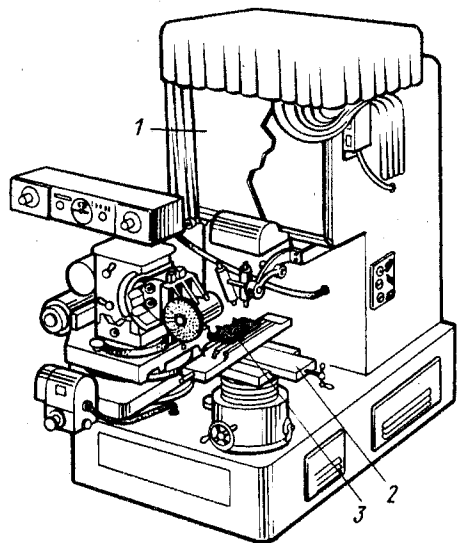


Рис. 9.19. Оптический профишлифовальный станок с экраном

(рис. 9.19) представляет собой проектор, дающий изображения детали и шлифовального круга с 50-кратным увеличением. На экран 1 накладывается чертеж детали, выполненный на кальке в масштабе 50:1. Таким образом, на экране оператор видит поверхности заготовки 3, шлифовального круга и чертеж в одинаковом масштабе. Перемещая шлифовальный круг механизмом крестового суппорта 2, оператор ведет рабочую точку периферии круга по линии контура чертежа и, снимая припуск детали, добивается совпадения ее профиля с чертежом.

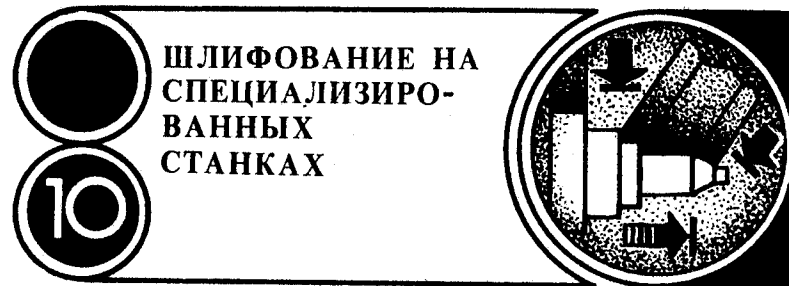
Если на оптическом станке с пантографом криволинейный участок контролируется только по отдельным точкам при перемещении иглы, то на станке с экраном обработка криволинейного участка проверяется непрерывно.

Оптические профишлифовальные станки позволяют шлифовать профили сложного очертания как у плоских, так и у круглых деталей с точностью 0,01–0,02 мм. Особенно целесообразны эти станки при обработке сложных профилей небольшого размера в единичном производстве. Однако шлифование прямолинейных участков значительной длины и профильных деталей больших габаритов можно более производительнее выполнить на плоскошлифовальном станке.

Сейчас освоены и выпускаются профишлифовальные полуавтоматы и контурно-шлифовальные полуавтоматы с числовым программным управлением.

#### Контрольные вопросы

1. Какие методы шлифования применяются для обработки профильных поверхностей?
2. Как осуществляют профильное шлифование методом копирования?
3. Как осуществляют правку рабочей поверхности кругов при профильном шлифовании?
4. В чем особенности и преимущества профильного шлифования на станках с ЧПУ?
5. Расскажите об особенностях обработки поверхностей на профишлифовальных станках с пантографом и оптических станках.



### 10.1. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ШЛИФОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ

Ряд изделий машиностроения изготавливается в очень больших количествах. Эти изделия или сами являются деталями продукции массового производства (детали двигателей внутреннего сгорания, буровых долот и т. д.), или идут в больших количествах в разные отрасли промышленности (подшипники, детали гидро- и пневмоаппаратуры и т. п.). Во всех случаях для изготовления этих деталей с целью увеличения производительности, снижения себестоимости и улучшения качества целесообразно использовать специализированное оборудование узкого назначения. Такое оборудование оказывается экономически более выгодным по сравнению с универсальным, так как затраты на его создание и эксплуатацию распределяются на большое число изделий и окупаются повышением качества изделий.

Особенности специализированных станков: упрощенная (по сравнению с универсальным оборудованием) система управления и контроля; большая жесткость; более высокая степень автоматизации процесса (специализированные станки, как правило, полуавтоматы или автоматы); повышенная (по сравнению с универсальными станками) точность обработки ввиду упрощения конструкции и более короткой кинематической цепи; возможность встройки в автоматизированные производства и автоматические линии. Специализированными шлифовальными станками являются вальцешлифовальные станки и полуавтоматы для шлифования валков прокатных станов и машин бумажно-целлюлозной промышленности, копировально-шлифовальные полуавтоматы для распределительных кулачковых валов, круглошлифовальные станки для колеччатых валов, круглошлифовальные станки для обработки шпинделей, гильз, пинолей прецизионных станков, станки для обработки деталей топливной аппаратуры, поршней, буровых долот, клапанов, поршневых колец, лопаток, колец подшипников и т. д.

### 10.2. ШЛИФОВАНИЕ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Внутренние (рис. 10.1, а, б) и наружные (рис. 10.1, в, г) кольца подшипников качения имеют дорожки качения (желоба), служащие опорой для тел качения: шариков, роликов и иголок. Роликовые

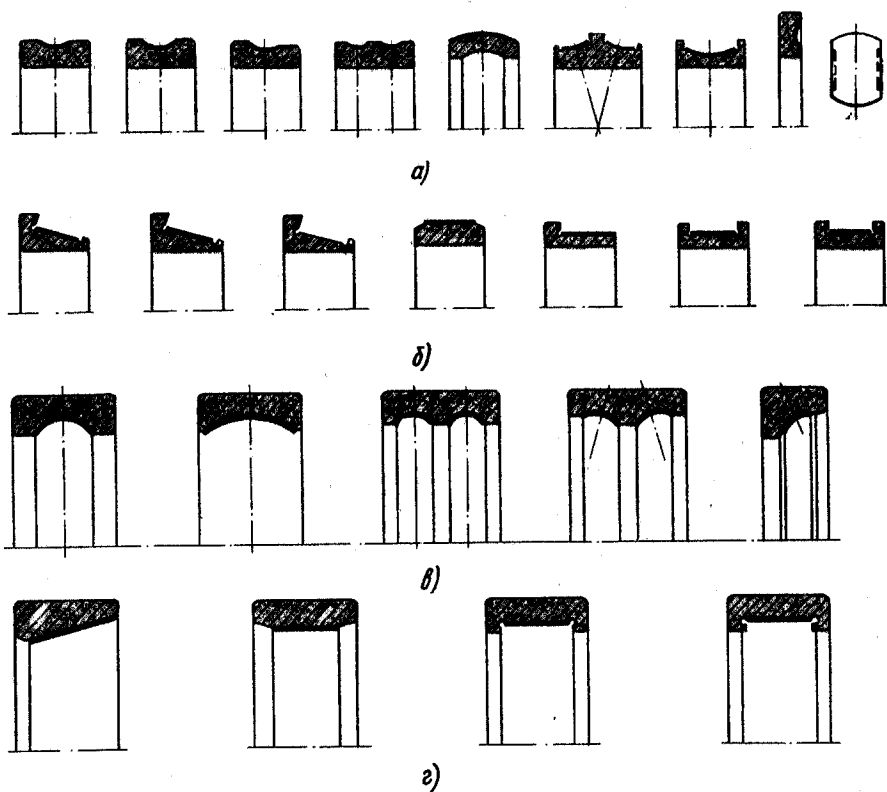


Рис. 10.1. Профиль внутренних (а, б) и наружных (в, г) колец подшипников

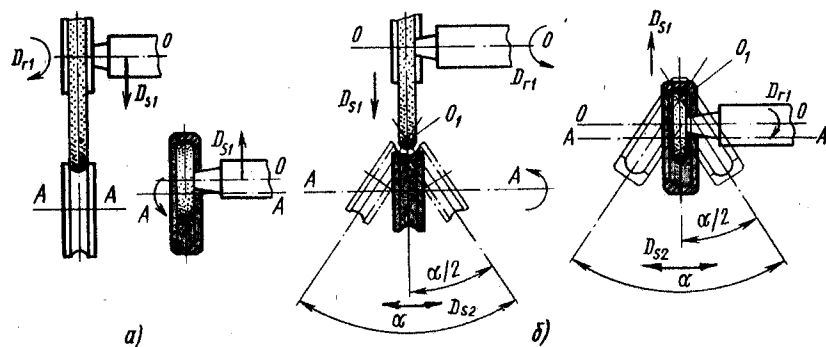


Рис. 10.2. Движения подачи при шлифовании врезанием (а) и методом качения заготовки или круга (б) дорожек качения подшипников

и игольчатые подшипники имеют также бортовые поверхности, предназначенные для опоры и направления тел качения. К дорожкам качения предъявляются высокие требования по качеству поверхности: отсутствие прижогов, параметр шероховатости  $R_a = 0,32 \div 0,63$  мкм, отклонение от круглости менее 1–3 мкм, отклонение осевого профиля менее 2–5 мкм.

Поверхности тел качения шлифуют двумя основными методами: врезным шлифованием (рис. 10.2, а) и шлифованием с относительным качением заготовки или шлифовального круга (рис. 10.2, б). При шлифовании методом качения используют три движения подачи: вращение заготовки относительно своей оси (круговая подача), поступательное перемещение на врезание (поперечная подача) в направлении, перпендикулярном оси заготовки, возвратно-вращательное движение заготовки или инструмента относительно оси, проходящей через центр кривизны профиля и перпендикулярной плоскости, проходящей через оси заготовки и круга. Шлифование качением является эквидистантным шлифованием, так как шлифуемая поверхность образуется рабочей поверхностью круга, точки осевого профиля которого описывают окружности, центры которых совпадают с центром кривизны профиля дорожки качения. Дополнительное качательное движение подачи предназначено для распределения износа по профилю круга. Эта схема шлифования позволяет использовать такие круги, которые работают в режиме самозатачивания рабочей поверхности, что позволяет обходиться без периодической правки. Однако припуск по профилю желоба непостоянен, что вызывает неравномерный износ круга по осевому профилю. Получить профиль желоба требуемой формы часто не удается, поэтому этот вид шлифования чаще используется на предварительных операциях.

Вторым методом является врезное шлифование без дополнительных осциллирующих движений заготовки или круга. Рабочая поверхность кругов периодически правится алмазными инструментами по профилю. Врезное шлифование может осуществляться по цилиндрической заготовке (рис. 10.3, а) или на заготовке с более или менее равномерным припуском по профилю (рис. 10.3, б, в). Поддержание геометрии рельефа рабочей поверхности круга в стабильном состоянии путем регламентированной правки через заданное количество циклов обработки, а в необходимых случаях и в каждом цикле перед чистовым шлифованием обеспечивает однородность и высокое качество шлифуемых колец. Кольца устанавливают либо в специальных приспособлениях (центровое шлифование), либо на жестких опорах (бесцентровое шлифование).

При бесцентровом шлифовании используют три способа базирования: шлифование наружной поверхности кольца с базированием на жестких опорах А, Б (рис. 10.4, а) по той же наружной поверхности; шлифование наружной поверхности кольца с базированием на опорах А, Б по внутренней поверхности (рис. 10.4, в); шлифование внутренней поверхности кольца с базированием на опорах А, Б по наружной поверхности (рис. 10.4, б). Заготовка 2 совершает вращательное движение подачи  $D_{S2}$  с помощью торцового магнитного патрона 3.

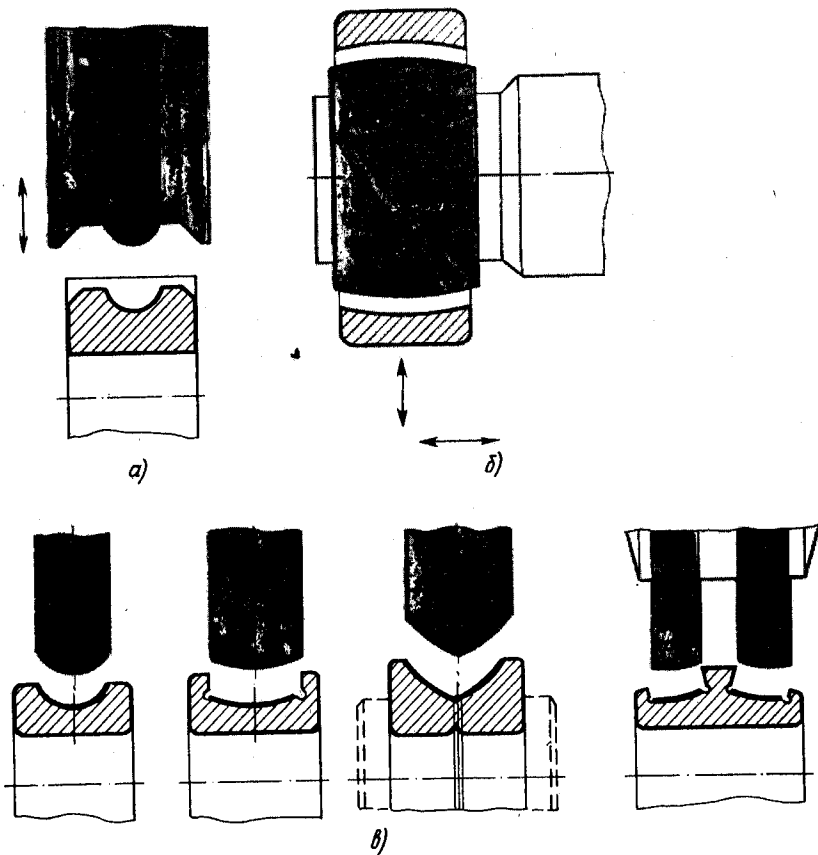


Рис. 10.3. Шлифование дорожек подшипников врезанием

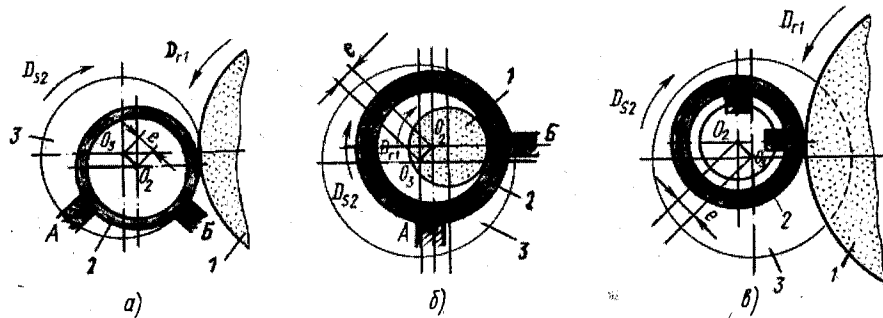


Рис. 10.4. Базирование колец при шлифовании на жестких опорах

Оси заготовки и патрона  $O_2$  и  $O_3$  имеют смещение  $e$ , обеспечивающее прижимы заготовки к башмакам (жестким опорам).

В зоне контакта заготовки с опорой возникают силы трения. Работа сил трения вызывает нагревание поверхностного слоя. Во избежание на заготовке следов изнашивания («натиров») скорость круговой подачи ограничивают: при базировании по обработанным поверхностям 60–120 м/мин, по шлифуемой поверхности 35–60 м/мин. Скорость круга  $l$  выбирают достаточно высокой (60–80 м/с), однако (так как качество обработки зависит не только от скорости резания, а также от целого ряда других факторов) иногда необходимо шлифовать со скоростью 40–60 м/с.

### 10.3. СОВМЕЩЕННОЕ ШЛИФОВАНИЕ РАЗОБЩЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВАЛОВ

В машинах часто используют детали, имеющие несколько соосных цилиндрических и конических поверхностей, обработка которых должна выполняться шлифованием. К таким деталям относят коленчатые валы многоцилиндровых двигателей и компрессоров, распределительные кулачковые валы, валы коробок передач, валы и оси редукторов, шпиндели станков и др.

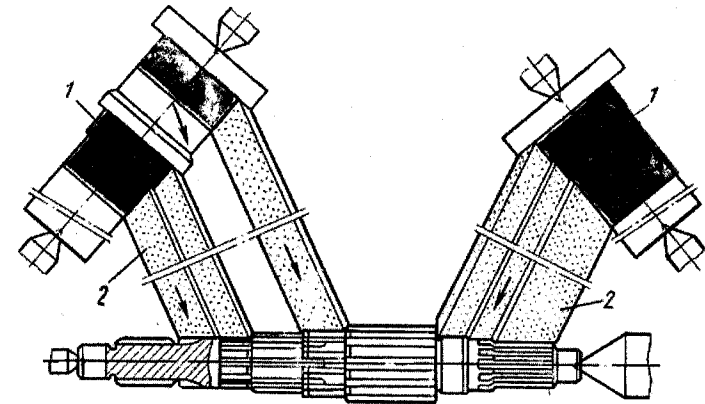


Рис. 10.5. Совмещенное шлифование цилиндрических и торцовых поверхностей вала и правка кругов блоками алмазных роликов:  
1 – ролики, 2 – круги

Если эти поверхности расположены близко друг от друга, то шлифование можно осуществлять широкими кругами соответствующего профиля, который формируется и поддерживается в процессе правки рабочей поверхности. При правке используют копирующие устройства и специальные правящие устройства, обеспечивающие движение алмаза по требуемой траектории, или применяют алмазные ролики (рис. 10.5).

Если поверхности заготовки расположены на значительных расстояниях друг от друга в осевом направлении, то используют

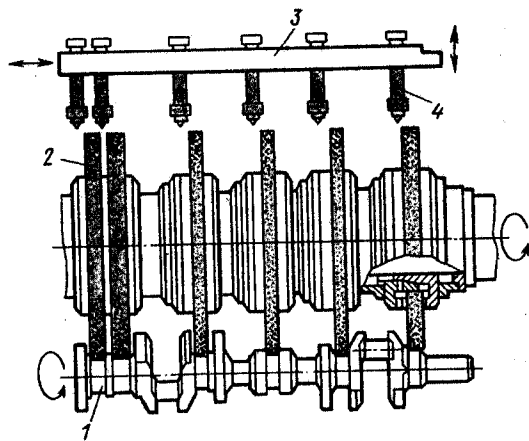


Рис. 10.6. Совмещенное шлифование шеек коленчатого вала:  
1 — коленчатый вал, 2 — шлифовальный круг, 3 — суппорт, 4 — оправка

обеспечивает отклонение от соосности в пределах 5 мкм, что в 3–4 раза меньше, чем при раздельном шлифовании шеек. Высокая точность коленчатого вала повышает качество двигателя, снижает эксплуатационные расходы, увеличивает моторесурс двигателя.

Многокруговая обработка коленчатого вала автомобиля «Жигули» предусматривает черновое шлифование пяти коренных шеек и шейки под сальник комплектом из шести кругов со съемом припуска 0,7 мм при подаче на врезание 1,5–1,8 мм/мин. Правка кругов осуществляется автоматически через заданное число заготовок (например, через каждые 20 валов) алмазным роликом. Затем на том же станке производится чистовое шлифование тех же поверхностей. Режим правки кругов для чистового шлифования изменяется — уменьшается продольная подача или подача на врезание алмаза при правке. Чистовое шлифование проводится при той же скорости круга (42 м/с), частоте вращения заготовки (110 об/мин), но с уменьшенной и изменяющейся по заданному циклу подачей на врезание (0,47–0,10 мм/мин).

Многокруговая обработка пяти коренных шеек распределительного вала автомобиля «Жигули» осуществляется на специализированном пятикруговом станке комплектом кругов. Припуск (0,23–0,5 мм) на диаметр сошлифовывается методом врезания с подачей 0,95 мм/мин. Скорость круга 32 м/с, частота вращения заготовки 125 об/мин. Правка кругов осуществляется специальным правящим инструментом — гребенкой, содержащей 77 кристаллов алмаза. Периодичность правки, осуществляемой в автоматическом режиме, зависит от стойкости кругов (например, после шлифования 20 заготовок).

многокруговое шлифование, при котором шпиндель имеет две концевые опоры, позволяющие закрепить на нем несколько шлифовальных кругов с требуемыми радиальными и осевыми размерами. Правка рабочих поверхностей кругов проводится несколькими алмазами, установленными в специальном приспособлении, или алмазными роликами, установленными на специальной оправке (рис. 10.6). Совмещенное шлифование коренных шеек коленчатых валов двигателя автомобиля

#### 10.4. ШЛИФОВАНИЕ КУЛАЧКОВ

В состав кулачковых механизмов входит звено, выполненное в виде поверхности переменной кривизны и называемое кулачком. Профиль кулачка определяется координатами его точек и обеспечивает заданный закон движения выходного звена. При повороте кулачка с заданным угловым шагом перемещение выходного звена (толкателя) изменяется неравномерно. Обработка криволинейной поверхности проводится методом копирования на специальных станках или на станках с числовым программным управлением с дискретными подачами, обеспечивающими относительное перемещение оси шлифовального круга по эквидистантной траектории по отношению к конструктивному профилю кулачка. Условия шлифования на разных участках профиля отличаются (рис. 10.7): при заданной частоте вращения заготовки на основной окружности радиуса  $r_0$  скорость круговой подачи наименьшая, а на участке наиболее удаленных точек профиля — наибольшая. При шлифовании промежуточных участков увеличивается дуга контакта заготовки с рабочей поверхностью круга и объемная интенсивность съема может существенно возрасти. Поэтому, прогрессивная технология предусматривает использование таких станков, которые имеют программируемую переменную частоту вращения заготовки, обеспечивающую оптимальную объемную интенсивность съема материала на каждом участке профиля и для каждой из операций шлифования: чернового, чистового и выхаживания (без врезной подачи).

На рис. 10.8, а приведена схема, поясняющая относительное расположение круга 1, заготовки 2, люльки 3 с копиром 4 и роликом 5 при шлифовании кулачка методом прямого копирования профиля. Круг 1 помимо главного движения  $D_{r1}$  совершает также движения подачи на врезание и движения подачи вдоль оси (осциллирующая подача).

На рис. 10.8, б приведена схема обработки кулачка с помощью копировального суппорта 3, на котором установлены шпиндель шлифовального круга 1 и ролик 5. При вращении заготовки 2 и копира 4 суппорт совершает поступательное перемещение, обеспечивая движение подачи  $D_{s1}$  шлифовальному кругу. Профиль копира согласован с профилем кулачка и траекторией оси круга в относительном движении с помощью эквидистантных профилей.

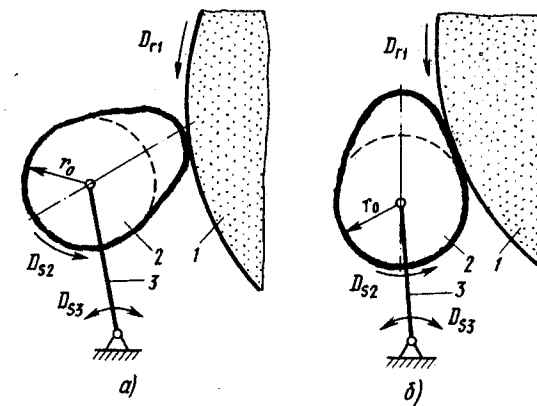


Рис. 10.7. Шлифование дискового кулачка на участках:  
а — наибольшего радиуса, б — наименьшего радиуса; 1 — шлифовальный круг, 2 — кулачок, 3 — поворотная бабка



На рис. 10.8, в приведена схема обработки на станке с ЧПУ кулачка 6, закрепленного на валу, установленного в центрах 7 и 5 передней и задней бабок. Шаговый двигатель 12 через редуктор 11 и червячную передачу 10 обеспечивает

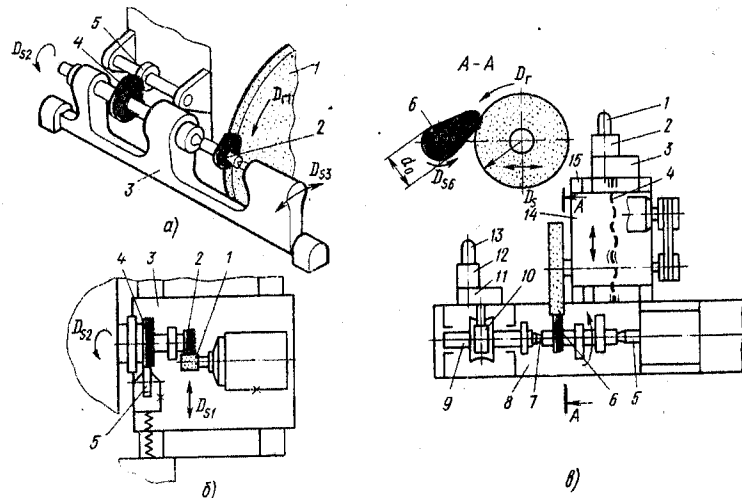


Рис. 10.8. Шлифование кулачков на специализированных станках

новочные перемещения осуществляются винтовой парой, установленной на плите 15. Требуемая согласованность движения подачи заготовки и шлифовального круга обеспечивается системой числового программного управления работой шаговых двигателей. Повышение производительности и качества поверхностного слоя по профилю кулачка обеспечивают специализированные станки, оснащенные более современными системами управления и регулирования режимов шлифования. На рис. 10.9 приведена схема шлифования кулачкового вала на станке с переменной программируемой угловой скоростью заготовки в пределах каждого оборота на 360°. Применение микропроцессора, аксиально-поршневого гидромотора для привода вращения заготовки позволяет поддерживать заданную объемную интенсивность съема металла на всех участках профиля и обеспечивает плавность движения в точках изменения радиусов кривизны (например, при переходе от начальной окружности радиуса  $r_0$  к боковым участкам с большими радиусами кривизны).

Структура передачи сигналов в системе управления поясняется на рисунке стрелками 1–9. Движения подачи сообщаются поворотному столу 2, на котором закреплены заготовка 1, шпиндель 3 и копир 4. Работа гидромотора 5 регулируется сервоклапаном 8 и регулятором 9. Измерение фактической угловой скорости заготовки осуществляется тахогенератором 7 и сельсином 6. Необходимые команды обрабатываются и вводятся системой управления 11 с пультом 12 и микропроцессором 10.

#### Контрольные вопросы

1. Расскажите о назначении специализированных шлифовальных станков.
2. Какие методы шлифования применяют для обработки колец подшипников качения?
3. Расскажите о закреплении и установке заготовок при шлифовании колец подшипников.
4. В чем заключаются особенности станков при совмещенном шлифовании разобширенных поверхностей?

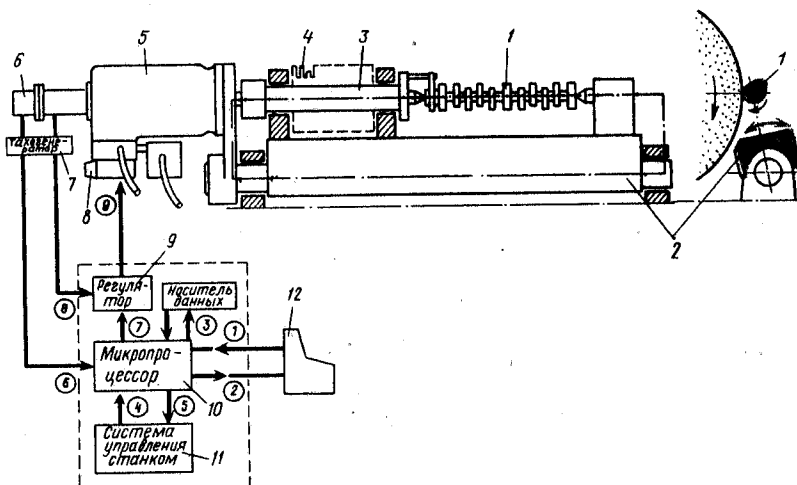
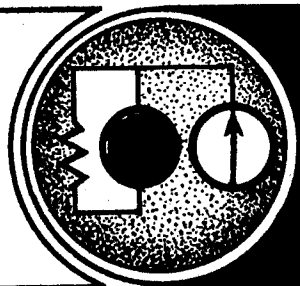


Рис. 10.9. Схема привода с программным управлением угловой скоростью кулачка при шлифовании

вращение шпинделя 9 по заданной программе. Бабки станка закреплены на столе 8. Шаговый двигатель 1 с гидроусилителем 2, редуктором 3 и шариковой винтовой передачей 4 обеспечивает поступательное перемещение шлифовальной бабке 14. Дополнительные уста-

## АКТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

11



### 11.1. ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ

Станки, работающие абразивным инструментом, как правило, завершают технологический процесс обработки и размеры изделия в дальнейшем не претерпевают изменений, т. е. они окончательные. Время, затрачиваемое на измерение шлифуемых заготовок, весьма велико и составляет не на автоматизированных станках до 30% вспомогательного время. Поэтому используют автоматизацию контроля размеров, которая значительно повышает производительность процесса шлифования. Станки, использующие информацию о текущем состоянии обрабатываемой заготовки, снабжены системой активного контроля.

Финишная абразивная обработка является основной областью применения средств активного контроля. Основная задача использования активного контроля заключается в повышении размерной точности деталей, предупреждении и исключении брака, обеспечении наивысшей производительности при заданном качестве обрабатываемой поверхности, снижении потребности в контролерах.

В процессе активного контроля действительный размер заготовки до обработки (или размеры обрабатываемой заготовки, или обработанного изделия) сравнивается с заданным размером. Технические устройства, с помощью которых осуществляется такое сравнение размеров и которые вырабатывают соответствующий сигнал измерительной информации в той или иной форме, называют приборами (или средствами) активного контроля.

Средства активного контроля разделяют по ряду признаков. По используемому методу измерения их разделяют на средства контроля с приборами, измеряющими отклонения размеров от заданных (относительный метод), и на средства контроля приборами, непосредственно измеряющими размер заготовки (абсолютный метод). По типу измерительных приборов, используемых в средствах активного контроля, их разделяют на механические, электроконтактные, пневматические, индуктивные и др.

При измерении заготовки до обработки, с последующей установкой инструмента на требуемую величину, система активного контроля превращается в систему, управляющую размером. Однако при этом положение инструмента относительно заготовки не может контролироваться постоянно.

Средства активного контроля, измеряющие заготовку после обработки, называют подналадчиками, так как информация о размерах заготовки используется для подналадки станка, заключающейся в установке рабочей поверхности инструмента относительно заготовки на требуемый размер. Ввиду запаздывания информации результат подналадки проявляется только на последующих заготовках и возможно, что несколько заготовок могут быть выполнены в пределах допустимых размеров или бракованными.

Средства активного контроля обычно содержат следующие основные элементы: измерительный прибор, измерительную оснастку, командное устройство, усилитель командных сигналов, устройства сигнализации, источники питания.

Измерительный прибор выдает информацию в виде показаний на шкале, проградуированной в принятых единицах измерения, либо в виде других показателей. Преобразование измерительной информации в форму дискретных сигналов-команд для автоматического управления технологическим процессом осуществляют с помощью командного устройства. Необходимые для измерения устройства в виде рычажных механизмов, скоб, призм, подводящих и отводящих устройств в совокупности называют измерительной оснасткой.

Электрические сигналы измерительных приборов усиливаются и используются для управления электромагнитными реле исполнительных устройств станка с помощью блоков усилителя командных сигналов. Информация об исполнении команд дается с помощью устройств сигнализации.

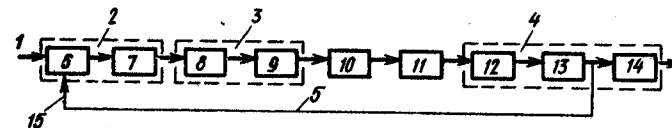


Рис. 11.1. Принципиальная схема системы активного контроля:  
1 — заданное значение измеряемого параметра, 2 — регулирующее устройство, 3 — позиционирующее устройство (управление перемещением), 4 — измерительное устройство, 5 — обратная связь, 6 — сравнивающее устройство, 7 — регулятор, 8 — привод установочного движения, 9 — исполнительный механизм, 10 — инструмент, 11 — изделие, 12 — датчик измеряемой величины, 13 — прибор, 14 — выход измеренной величины, 15 — вход измеряемой величины в сравнивающее устройство

На рис. 11.1 приведена принципиальная схема системы активного контроля. В зависимости от условий производства применяют упрощенные схемы активного контроля, в которых используют только некоторые из перечисленных выше элементов принципиальной схемы активного контроля.

На рис. 11.2 приведены структурные схемы измерительных средств с механическими (рис. 11.2, а) и пневматическими (рис. 11.2, б) приборами. Измерительный прибор 2 (рис. 11.2, а) жестко связан

с измерительной оснасткой 1. Информация о размере заготовки выдается по шкале прибора 2, а управление технологическим процессом осуществляется оператором вручную. Измерительная оснастка 1 (рис. 11.2, б) позволяет с высокой точностью проводить бесконтактные измерения с помощью пневматического измерительного прибора, питающегося от стабилизатора давления с фильтром

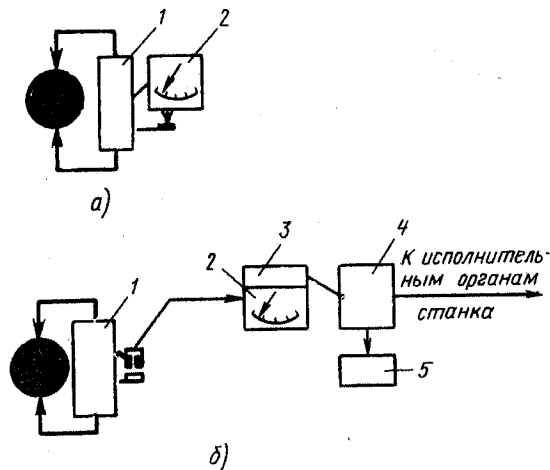


Рис. 11.2. Структурные схемы измерительных средств активного контроля

для очистки воздуха. Измерительная информация выдается по шкале прибором 2 и с помощью командного устройства 3 и усилителя 4 командных сигналов передается к исполнительным органам станка, осуществляющим необходимые движения. Исполнение командных сигналов контролируется, а необходимая информация вырабатывается блоком сигнализации 5.

## 11.2. ПРИБОРЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ

Выбор прибора для применения в средствах активного контроля зависит от многих факторов, основными из которых являются: тип производства, используемое технологическое оборудование и поставленная задача, которую необходимо решать в процессе контроля. Из механических приборов наибольшее применение получили зубчатые, рычажно-пружинные и пружинные измерительные головки с ценой деления 0,01; 0,002 и 0,001 мм.

В индикаторе часового типа ИЧ-10 (рис. 11.3) измерительный стержень 1 имеет зубчатую рейку, которая преобразует измеряемое перемещение с помощью зубчатых колес  $z_1 = 10$  и  $z_2 = 100$ ,  $z_3 = 16$  и  $z_4 = 100$  в угол поворота стрелок: основной 2 и ука-

зателя 4 числа оборотов основной стрелки. Пружина 3 в этих головках позволяет выбрать люфты и устранить «мертвый ход» в зубчатой передаче.

В рычажно-зубчатых головках (рис. 11.4) применены однорычажные или двухрычажные механизмы с неравноплечими

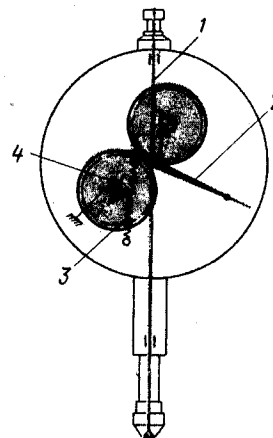


Рис. 11.3. Индикатор часового типа ИЧ-10

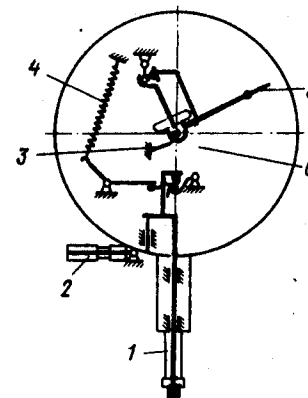


Рис. 11.4. Рычажно-зубчатая измерительная головка типа ИМКМ

рычагами 6. Угловой поворот основной стрелки 5 и стрелки-указателя числа оборотов основной стрелки осуществляется с помощью зубчатой передачи. Подъем измерительного стержня 1 осуществляют с помощью арретира 2. Пружина 3 устраняет мертвый ход в передаче, а пружина 4 создает измерительное усилие.

В пружинных измерительных головках (микраторах) вместо рычажно-зубчатых механизмов используют иной принцип преобразования движения (рис. 11.5). В качестве преобразователя используется ленточная пружина 5, у которой одна половина ленты закручена влево, а вторая — вправо. Если к концам ленты приложить растягивающее усилие, то лента будет раскручиваться, что можно зафиксировать, наблюдая за поворотом указателя, закрепленного в середине ленты. Измерительный стержень 1 микроатора (рис. 11.5, а) поддерживается плоскими пружинами 2 и 4. Измерительное усилие создает пружина 3. Подъем измерительного стержня обеспечивается арретиром 7. При измерительном перемещении стержня 1 закрученная ленточная пружина 5 растягивается и поворачивает на определенный угол стрелку 6.

Если вместо стрелки на закрученную ленту установить маленькое зеркальце (размером  $1,5 \times 1,5 \times 0,1$  мм и массой 0,5–2 мг) с соответствующим осветителем, то угловой поворот его можно преобразовать в соответствующий поворот пучка света. Такая

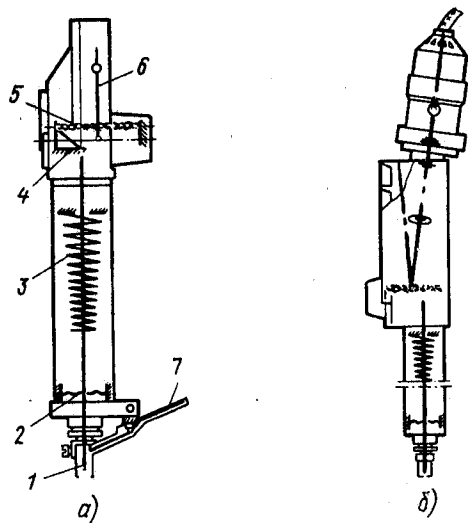


Рис. 11.5. Пружинные измерительные головки

органов станка. Такие приборы несложны в эксплуатации, имеют простую настройку и большой диапазон измерений. Однако они имеют ряд недостатков: подают сигнал о предельных значениях измеряемой величины, не сообщая текущую информацию о ее значении; при больших передаточных отношениях за счет механической части, расположенной в зоне обработки, затрудняется осуществление надежной герметизации, просачивающаяся эмульсия вызывает подгорание контакта, что нарушает надежность и точность работы; частицы абразива иногда попадают на направляющие измерительного стержня датчика и вызывают его повышенный износ; малая инерционность датчиков не гасит вибрации; ограниченное число команд не дает возможность применять датчики для управления сложными циклами.

Принцип действия пневматических приборов (см. рис. 11.2, б) основан на зависимости между расходом воздуха и площадью проходного сечения канала истечения воздуха, которая может изменяться за счет линейного перемещения преобразователя при измерении параметров заготовки или детали. Точность и надежность пневматических приборов достаточно высокие из-за отсутствия контакта между поверхностями заготовок и преобразователя, что исключает износ измерительных элементов; можно производить дистанционные измерения, использовать приборы в автоматизированном оборудовании, они мало чувствительны к вибрациям, более просты в эксплуатации.

По способу преобразования расхода воздуха в давление пневматические преобразователи разделяют на дроссельные, дроссельно-эжекторные, струйные, пневмочастотные и др.

Принципиальная схема дроссельных преобразовате-

пружинно-оптическая головка называется оптикатором (рис. 11.5, б).

Электроконтактные приборы имеют перемещающийся измерительный штифт, который вызывает замыкание или размыкание электрического контакта и подает команду (сигнал) о выходе размера обрабатываемой детали за допустимые пределы. Эти приборы измеряют или заданный предельной величиной размер обрабатываемой заготовки, или отклонение формы заготовки от номинальной величины. Сигналы от электроконтактных датчиков усиливаются и преобразуются для управления движением исполнительных

лей приведена на рис. 11.6. Воздух при постоянном давлении питания  $P_H$ , обеспечиваемом стабилизатором давления воздуха, поступает в измерительную камеру, в которой устанавливается измерительное давление  $P_h$ , величина которого зависит от проходной площади  $F_d$  дроссельного канала. Площадь  $F_d$  канала определяется геометрической формой канала, направлением движения газового потока и размерами заготовок, определяющими величину проходного отверстия. В ряде преобразователей канал образуется либо стенками измеряемого отверстия малых размеров (рис. 11.6, а), либо кольцевой щелью в сопряжении: втулка-шар, втулка-вал (рис. 11.6, б), сопло-проволока (рис. 11.6, в). При бесконтактном контроле заготовок с цилиндрическими (рис. 11.6, г) и плоскими (рис. 11.6, д) поверхностями проходная площадь зависит от размера  $Z$  измерительного зазора, а воздушный поток при измерении изменяет направление движения. При использовании контактных приборов преобразователи имеют дросселирующий элемент типа «сопло-заслонка» конической (рис. 11.6, е) или сферической (рис. 11.6, ж) формы. Измерительные сопла имеют каналы цилиндрической или прямоугольной (щелевые) формы. Размеры цилиндрического сопла 1; 1,5 и 2 мм, щелевого — 0,5×3; 0,5×4 мм.

Схема дроссельно-эжекторного преобразователя приведена на рис. 11.7. Сжатый воздух под постоянным давлением  $H$  истекает из входного сопла 1 в сопло дросселирующего элемента 2. Эта пара сопел образует струйный аппарат, называемый эжектором. Дросселирующий элемент 2 может воспринимать линейные перемещения непосредственно (рис. 11.7, а) или с помощью выносного сопла 5 (рис. 11.7, б). Давление  $h$  в измерительной камере контролируют манометром 4, шкала которого проградуирована в линейных размерах измеряемой заготовки 3. Информацию об этих размерах получают по зависимости давления  $h$  в измерительной камере от относительного положения сопел 1 и 2, определяемого зазором  $z$  (рис. 11.7, в).

Измерительные схемы пневматических приборов могут иметь либо прямое измерение давления в камере первичного преобразователя, либо измеряемое давление сравнивают с некоторым постоянным давлением. При использовании дифференциальной схемы с двумя вставками в одной ветви устанавливается постоянное давление, соответствующее установленной величине зазора, а в другой—

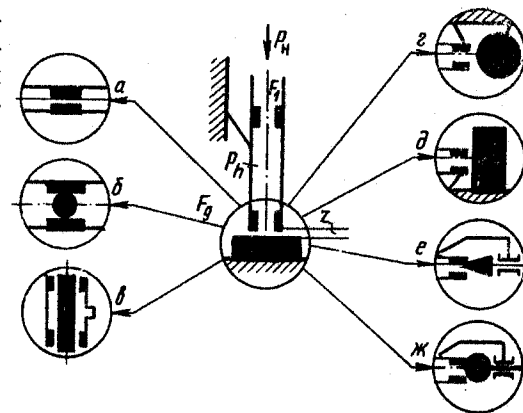


Рис. 11.6. Принципиальная схема дроссельных преобразователей

переменное измерительное давление, величина которого зависит от измерительного зазора  $z$ . Разность давлений в этих двух ветвях является источником информации о размерах заготовки или детали. Дифференциальная схема менее чувствительна к колебаниям рабочего давления сжатого воздуха.

Индуктивные приборы имеют высокую точность и большие пределы измерения; позволяют производить дистанционные измерения; небольшие размеры современных индуктивных преобразователей позволяют создавать компактные измерительные устройства. Индуктивные приборы имеют высокую стабильность показаний во времени и малую инерционность. Недостатком приборов является некоторая сложность конструкции и необходимость тщательной герметизации измерительных устройств.

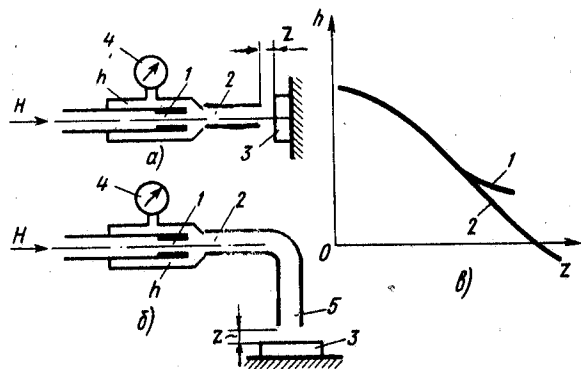


Рис. 11.7. Принципиальная схема дроссельно-эжекторного преобразователя:  
а — с жестким соплом, б — с выносным соплом, в — тарировочный график (давление  $h$  — зазор  $z$ )

В индуктивных приборах используется свойство катушек (обмоток) преобразователя менять коэффициент самоиндукции или взаимной индукции при перемещении якоря и, таким образом, линейное перемещение преобразуется в электрический сигнал.

Современные индуктивные устройства, выполненные с ферритовыми магнитопроводом и якорем, являются наиболее чувствительными преобразователями. Эти устройства являются замкнутыми магнитными системами и в незначительной степени подвергаются воздействию внешних магнитных полей.

Индуктивный прибор имеет преобразователь, расположенный в измерительном устройстве, и отсчетно-командное устройство, обеспечивающее питание преобразователя и преобразующее его выходной сигнал в перемещение стрелки и управляющие команды.

В современных индуктивных приборах активного контроля используются в основном дифференциальные преобразователи соленоидного типа и недифференциальные одинарные преобразователи в форме цилиндра с крышкой (рис. 11.8). Соленоидный преобразо-

ватель (рис. 11.8, а) имеет две катушки 3 с обмотками 1, включенные в магнитопровод 2, и якорь 4, перемещающийся внутри катушки 3.

Для уменьшения габаритных размеров преобразователя и увеличения индуктивности системы магнитопровод и якорь изготавливают из ферритов или пермаллоя (материал с высокими магнитными свойствами), а катушки делают бескаркасными.

Одинарный преобразователь (рис. 11.8, б) состоит из круглого ферритового магнитопровода 1, ферритовой пластинки 3, служащей якорем, и катушки 2.

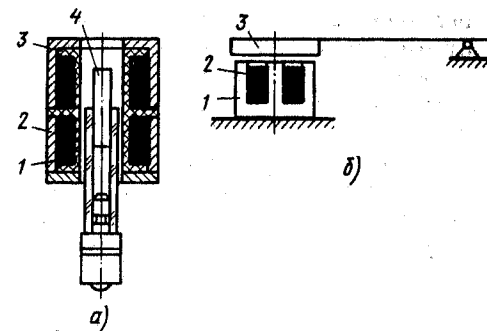


Рис. 11.8. Малогабаритный индуктивный преобразователь

### 11.3. АКТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ ПРИ КРУГЛОМ ШЛИФОВАНИИ

Одноконтное измерительное устройство (рис. 11.9) для измерения радиуса заготовки 1, закрепленной в центрах станка с помощью отсчетного устройства 2, не требует сложной конструкции. Однако эта схема измерений включает в измерительную цепь элементы станка: стол, заднюю и переднюю бабки с центрами. Эти элементы подвергаются деформациям под влиянием силовых и температурных факторов, что часто не позволяет обеспечить требуемую точность измерений.

Измерительное устройство БВ-220 получило широкое применение в шарикоподшипниковой промышленности (рис. 11.10). Оно используется для контроля диаметра желоба колец шарикоподшипников в процессе их обработки на станке и обеспечивает требуемую точность обработки. Устройство закрепляется на бабке изделия с помощью кронштейна 19, который устанавливается при настройке на размер вращением гайки 16 относительно винта 15. Настройка на размер производится по образцовой детали или по калибру, размер которого соответствует середине поля допуска. Измерительное усилие, создаваемое пружинами 17 (50—60 Н), передается на измерительный стержень 13, снабженный алмазным наконечником 14. Хомутик 1, закрепленный на измерительном стержне 13, выступом 2 перемещает измерительный наконечник индикатора 3, с помощью которого можно визуально наблюдать за изменением размера заготовки в процессе обработки.

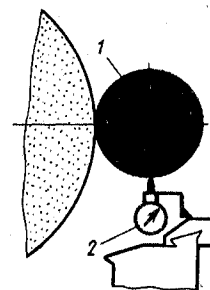


Рис. 11.9. Одноконтное измерительное устройство

Перемещение измерительного стержня 13 с помощью планки 12 преобразуется в угловой поворот двуплечего рычага 11, снабженного на конце вольфрамовыми контактами 10, замыкающимися с контактами 7 и 6. При повороте рукоятки 18 влево до упора измерительный стержень опускается вниз до касания наконечника с поверхностью образцовой детали. Гайкой 16 и левым настроечным барабаном 5 устанавливают необходимое положение стержня 13. Контакты 6 и 10 при этом должны быть замкнуты, красная сигнальная лампа 4 горит, а индикатор 3 настроен на нулевое деление.

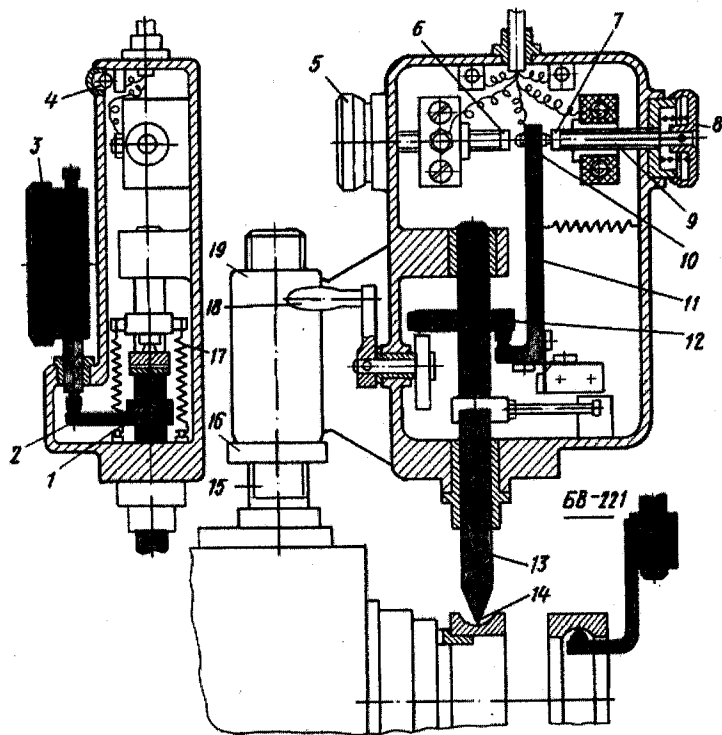


Рис. 11.10. Одноконтактное измерительное устройство БВ-220

Настроечный барабан 8 и винт 9 служат для настройки положения правого контакта 7 и загорания делений сигнальной лампы, соответствующего припуску на чистовое шлифование. При черновом шлифовании контакты 7 и 10 замкнуты. По мере съема припуска до расчетного значения контакты 7 и 10 размыкаются, зеленая сигнальная лампа гаснет и подается команда на изменение подачи с черновой на чистовую. По достижении заданного размера заготовки контакты 6 и 10 замыкаются, подается команда на окончание обработки и загорается красная сигнальная лампа.

Двухконтактное измерительное устройство в виде скобы показано

на рис. 11.11. Скоба подводится к заготовке 2 с помощью подводящего устройства 6, которое закрепляется на станке. Такое подводящее устройство достаточно просто автоматизировать. На каретках 5 и 7 закреплены измерительные наконечники 1 и 3. На одной из кареток закрепляют упор 8, а на другой — измерительный элемент с отсчетным устройством 4. При такой схеме деформации практически не оказывают влияния на результаты измерения размеров детали.

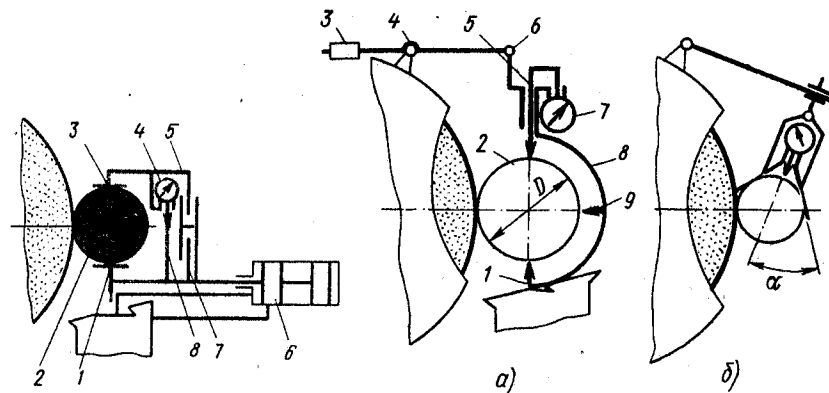


Рис. 11.11. Двухконтактное измерительное устройство  
Рис. 11.12. Трехконтактное измерительное устройство

Трехконтактное измерительное устройство со скобой для измерения размера  $D$  на заготовке 2 приведено на рис. 11.12, а. Конструкция устройства скобы 8 допускает ее самоустанавливаемость на поверхности заготовки 2 с помощью наконечников 1 и 9, постоянно прижимаемых с помощью рычажной системы с шарнирами 4 и 6, под действием груза 3 (или пружины). Измерительными являются наконечники 1 и 5, а наконечник 9 выполняет роль базового элемента. Измерительный стержень 5 может перемещаться относительно скобы 8, а величина этого перемещения воспринимается отсчетным устройством 7 или другими измерительными приборами. При контроле диаметров больших размеров или при обработке деталей на лонетах используют измерительные устройства с призмой (рис. 11.12, б), которые крепят или к кожуху шлифовального круга, или к столу станка, или к передней бабке станка.

#### 11.4. АКТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ ПРИ ВНУТРЕННЕМ ШЛИФОВАНИИ

Для управления циклом шлифования отверстий на внутришлифовальных станках наиболее широкое применение получили два метода: измерение жесткими калибрами и двухконтактными приборами непосредственно размеров обрабатываемого отверстия. В некоторых случаях вместо прямого метода применяют косвенный метод контроля положения образующей рабочей поверхности шлифовального круга

или комбинированный метод контроля положения базовых точек на узлах станка (например, положение шлифовальной бабки).

Устройство для контроля диаметра отверстия калибром показано на рис. 11.13. В отверстие обрабатываемой детали 5 попеременно вводятся шлифовальный круг 6, установленный на шлифовальном суппорте 7, и калибр-пробка с двумя ступенями 4 и 3, установленный на штоке 2. Диаметр ступени 3 калибра соответствует диаметру отверстия изделия, а диаметр ступени 4 меньше его на величину удвоенного припуска, установленного для окончательного шлифования отверстия. При черновом шлифовании калибр не может войти в отверстие, так как его диаметр больше, чем диаметр отверстия. После съема чернового припуска при очередном подводе калибра стержень его сможет войти в отверстие, что приведет

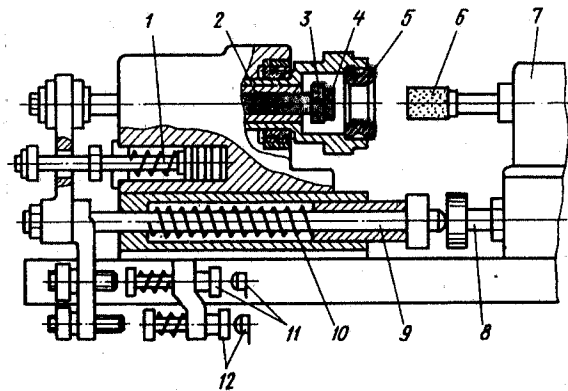


Рис. 11.13. Устройство для контроля диаметра отверстия жесткими калибрами-пробками

к замыканию контактов 11 и выдаче сигнала — команды на автоматическую правку шлифовального круга. После правки рабочая поверхность круга восстанавливает режущие свойства и геометрическую форму в заданных пределах. В процессе чистового шлифования наступает состояние, при котором в отверстие может войти ступень 3 калибра, что вызовет замыкание контактов 12 и выдачу сигнала — команды на окончание цикла обработки. В процессе обработки положение калибра регулируется упором 8, а его движение осуществляется стержнем 9 при воздействии того же упора 8, закрепленного на суппорте 7, или пружины 10 при обратном ходе суппорта. Отвод калибра в исходное положение по окончании цикла выполняет гидроцилиндр со штоком 1.

На рис. 11.14 приведена схема измерительной системы с отсчетно-командным прибором, который выдает в схему управления станком три команды: переход на чистовое шлифование, переход на выхаживание и прекращение обработки при достижении заданной величины диаметра отверстия. Измерительная головка 14 вводится

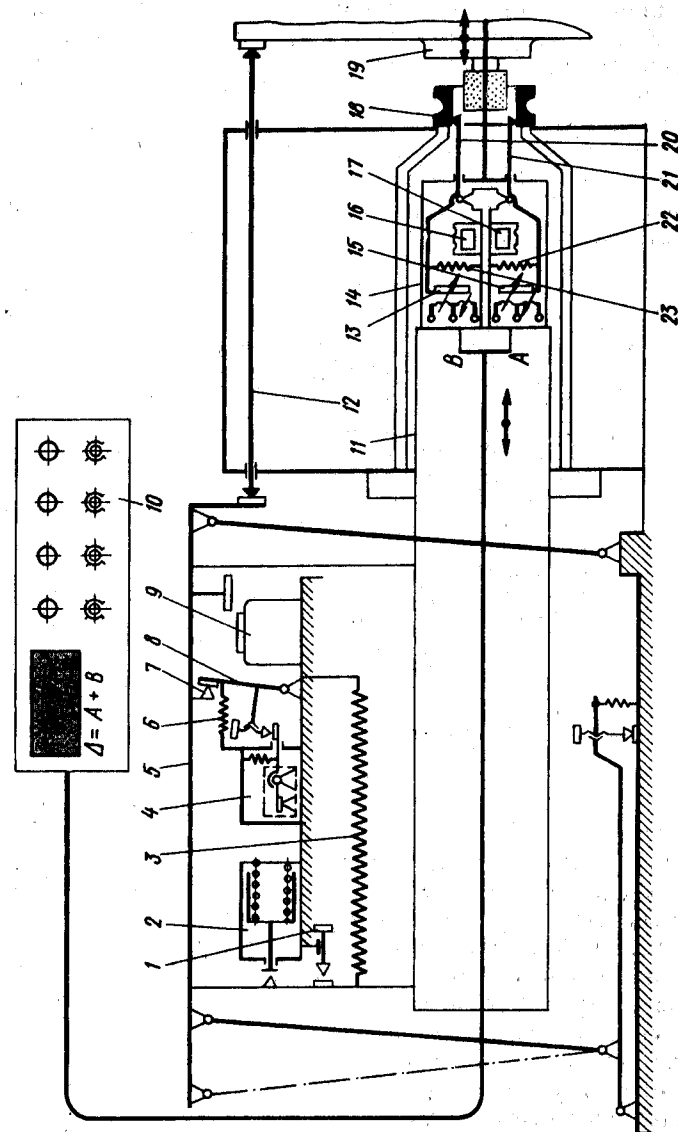


Рис. 11.14. Схема измерительной системы активного контроля отверстия в заготовке

в обрабатываемое отверстие заготовки 18 через полый шпиндель 11 бабки изделия. Измерительные рычаги 20 и 21 оснащены алмазными наконечниками и ферритовыми сердечниками 13 и 15, которые взаимодействуют с дифференциальными индуктивными преобразователями А и В. Измерительное усилие на рычагах создается пружинами 22 и 23 и демпферами 16 и 17, которые исключают появление вибраций рычагов вследствие прерывистого характера измерений. Перемещение ферритовых стержней относительно катушек изменяет их сопротивление. Выходной сигнал индуктивных преобразователей А и В пропорционален сумме линейных перемещений измерительных наконечников. Измерительные наконечники вводятся в шлифуемое отверстие попеременно со шлифовальным кругом за счет механической связи головки 14 со шлифовальной бабкой 19 с помощью толкателя 12 и пружины 3.

Исходное положение измерительной системы — левое крайнее — обеспечивается гидроцилиндром 2 при нагнетании масла в правую камеру. При этом положении с помощью бесконтактного переключателя 9 отсчетно-командное устройство получает сигналы о подготовке системы к работе. После закрепления заготовки 18 в магнитном патроне шпинделя 11 выдаются команды на возвратно-поступательное синхронное перемещение шлифовальной бабки и каретки 5, прижатой к толкателю 12 пружины 3. В конце рабочего хода упор 7 поворачивает рычаг 8 и замыкает контакты переключателя 4, которые включают электронную систему 10 регистрации показаний индуктивных преобразователей А и В. При обратном ходе каретки 5 угловой рычаг поворачивается под действием пружины 6, что приводит к размыканию контактов переключателя 4 и прерыванию процесса измерения диаметра отверстия. Ход каретки 5 ограничен упором 1. Результаты измерения запоминаются электронным устройством, а стрелка показывающего прибора дискретно перемещается в новое положение после каждого двойного хода шлифовальной бабки.

Когда заданные размеры отверстия будут обеспечены, то с помощью преобразователей и отсчетно-командного устройства формируются команды на включение режимов чистового шлифования и выхаживания. Окончательная команда вырабатывается в момент получения диаметра отверстия в пределах допуска, заданного на размер диаметра. Измерительная головка и шлифовальный шпиндель отходят в исходное положение, а деталь освобождается.

#### 11.5. АКТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ НА БЕСЦЕНТРОВО-ШЛИФОВАЛЬНЫХ И ПЛОСКОШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ

Рассмотренные устройства активного контроля основывались на измерении заготовок в процессе обработки и выдаче команд на прекращение цикла при достижении заранее установленного размера. На бесцентрово-шлифовальных станках этот способ используется при обработке деталей по методу врезания. При обработке деталей напроход обычно применяют подналадочные устройства, которые получают команды после измерения обработанных заготовок вне

зоны резания. Принципиальная схема подналадочной системы приведена на рис. 11.15. Обработанная на станке деталь 1 транспортирующим устройством переносится на позицию 2 для измерения преобразователем 3. В том случае, когда контролируемый размер детали 1 выйдет за пределы поля допуска в связи с износом шлифовального круга или по другим причинам, преобразователь 3 вырабатывает сигнал-команду, которая поступает в исполнительное устройство 4 — электромагнит с храповым механизмом. При включении электромагнита храповое колесо поворачивается и перемещает

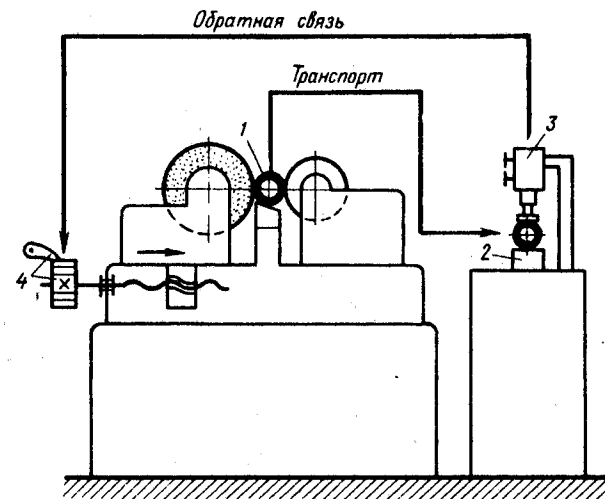


Рис. 11.15. Схема подналадочной системы для бесцентрово-шлифовального станка

винтовым механизмом шлифовальную бабку на величину, соответствующую наладочному импульсу. В случае обработки врезанием происходит смещение упора, ограничивающего ход шлифовальной бабки.

В современных бесцентрово-шлифовальных автоматах минимальная величина подналадочного импульса соответствует 1–2 мкм.

Схема универсального измерительного устройства для контроля заготовок в процессе их обработки на плоскошлифовальном станке показана рис. 11.16. Измерительный рычаг 1 с алмазным или твердосплавным наконечником 22 под действием пружины 21 опускается до контакта с поверхностью заготовки. Измерительный зазор  $z$  между соплом 7 и заслонкой 6 на рычаге 1 зависит от размера измеряемой заготовки. Сжатый воздух, поступающий при постоянном давлении через входное сопло 17, истекает через сопло 7, а информация о величине измерительного давления поступает к отсчетно-командному устройству 9. Для задержки ложной измерительной информации универсальный прибор имеет фрикционный тормозной механизм, удерживающий измерительный рычаг 1 в предельном



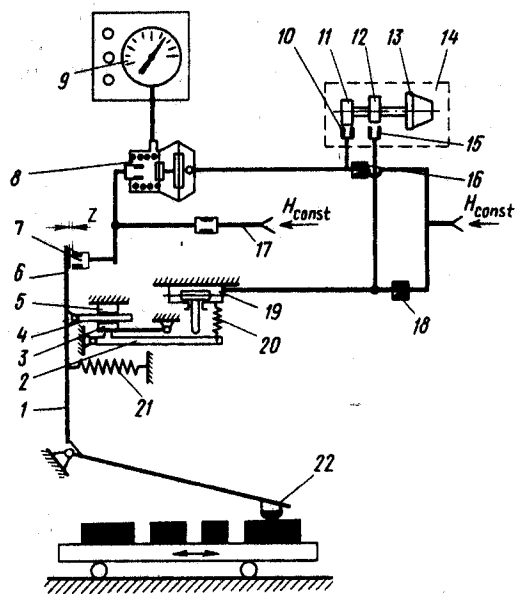


Рис. 11.16. Схема измерительного устройства для контроля заготовок на плоскошлифовальном станке

лирована так, что при отсутствии детали и измерительного давления на наконечнике 22 рычаг 1 не опускается. Если высота детали больше установленного расстояния между плитой и наконечником 22, то рычаг 1 поворачивается, планка 4, шарнирно связанная с рычагом, проскальзывает между пятками 3 и 5 и фиксирует положение рычага 1, соответствующее размеру детали. Цикл измерения начинается с закрытия управляющего сопла 15 командоаппарата 14, срабатывания арретира 19 и освобождения измерительного рычага 1. В комплект измерительного устройства входят установочный кронштейн, измерительная головка, командоаппарат и пневматическое отсчетно-командное устройство.

Ознакомление с некоторыми конструкциями средств активного контроля позволяет составить представление о типовой измери-

положении, соответствующем наибольшему измерительному размеру, и блокировочное устройство, фиксирующее этот размер в отсчетно-командном устройстве с помощью блокировочного клапана 8. Клапан периодически открывается в тот момент, когда измерительный рычаг 1 заторможен с помощью пневматического преобразователя с соплами 10 и 16, кулачка 12 и рычага 2. Пружина 20 рычага 2 отрегу-

тельно-управляющей системе (рис. 11.17) на базе средств активного контроля, которая включает в себя: измерительную скобу 9 с измерительными рычагами 7 и измерительными наконечниками 6, взаимодействующими с поверхностью детали 5, с помощью подводящего устройства 12. Преобразователь 8 линейных перемещений выдает информацию о размерах, которая с помощью электронного блока 10 преобразуется в электрические импульсы. Передача этих импульсов в отсчетно-командное устройство 11 позволяет осуществить обратную связь 13, с помощью которой осуществляется управление циклом станка. Информация поступает в устройство 1 сравнения и через регулятор 2, привод 3 механизма подачи преобразуется в требуемое перемещение исполнительного органа 4 станка, соответствующее заданному циклу шлифования.

#### Контрольные вопросы

1. Какие основные элементы входят в средства активного контроля?
2. Используя схему, расскажите о принципе действия механических, пневматических и индуктивных приборов, используемых в средствах активного контроля.
3. Расскажите об использовании средств активного контроля при круглом наружном шлифовании.
4. Как осуществляется активный контроль на бесцентрово- и плоскошлифовальных станках?

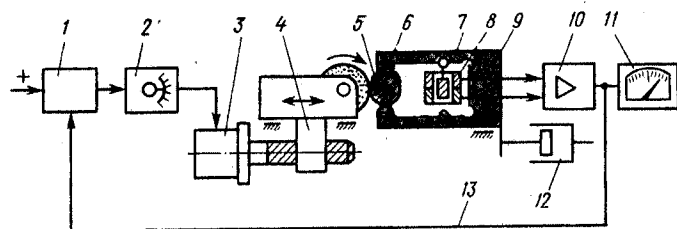


Рис. 11.17. Типовая измерительно-управляющая система с использованием средств активного контроля



### 12.1. ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АБРАЗИВНОГО ЗЕРНА С ЗАГОТОВКОЙ

Взаимодействие абразивных зерен инструмента с поверхностью заготовки в процессе абразивной обработки определяется тремя основными факторами: внешним силовым воздействием; кинематикой (перемещением, скоростью и ускорением) относительного движения абразивных зерен и заготовки; физико-химическими свойствами материалов заготовки и абразивного зерна.

В зависимости от характера и величины внешних сил  $P_y$  (рис. 12.1), приложенных к абразивному зерну на обрабатываемой поверхности заготовки возникают механические деформации, которые могут быть обратимыми и необратимыми. При обратимых (упругих) деформациях частицы материала после снятия внешних сил возвращаются под действием внутренних сил в первоначальное состояние. При необратимых деформациях под действием внешних сил наступает либо пластическая деформация (рис. 12.1, а), либо хрупкое разрушение (рис. 12.1, б).

При пластической деформации часть металла выдавливается в виде «навалов» 1 (рис. 12.1, а). При хрупком разрушении возникают круговые трещины 2 (рис. 12.1 б). Зона образования трещины носит название зоны разрушения, которая по своим размерам значительно превосходит зону контакта 1 абразивного зерна с материалом заготовки.

При перемещении абразивного зерна, имеющего твердость, значительно большую, чем материал заготовки, на поверхности детали образуются механические царапины и риски. Кроме того, в зоне взаимодействия возникают напряжения, которые иногда превосходят предел прочности материала заготовки и вызывают его разрушение. Поэтому говорят, что результат взаимодействия обрабатываемого материала с абразивными зёрнами определяется совокупностью упругих, пластических и прочностных свойств материалов, объединяемых общим термином — механические свойства.

При абразивной обработке для удаления припуска материала необходимо преодолеть значительное сопротивление и затратить для этого некоторое количество энергии. Эта энергия должна

быть накоплена абразивным зерном предварительно или передана ему от источника энергии с помощью среды: движущегося газа, жидкости или твердого тела. При первом способе абразивные зерна разгоняют потоком газа (обычно воздуха) или жидкости (обычно вода), и они запасают кинетическую энергию  $T$ , которая зависит от массы  $m$  и квадрата скорости  $v$  зерен:  $T = mv^2/2$ . Поэтому, чем выше скорость потока зерен, тем выше эффективность струйно-абразивной обработки. Большое значение имеет также угол, под которым происходит встреча зерен с поверхностью заготовки. При втором способе эффективность передачи сил на абразивные частицы зависит от свойств твердого или упругого тела и степени закрепленности зерна в этом теле.

Наибольшая эффективность по глубине внедрения отдельных абразивных зерен и по величине съема материала в единицу времени достигается при жестком закреплении зерен в инструментах путем их цементирования с помощью органических, керамических и других связей.

Абразивный инструмент оценивают по его характеристике. Различают статическую и динамическую характеристики, выражаемые в физических величинах. Под физической величиной понимают характеристику объекта или явления, общую в качественном отношении для множества объектов или явлений, но индивидуальную для каждого из них в количественном отношении. К статической характеристике относят такие физические величины, которые не изменяются в процессе абразивной обработки: шлифовальный материал, его зернистость, связка, наполнитель, структура, твердость, звуковой индекс и др. К динамической характеристике относят такие физические величины, которые зависят от условий абразивной обработки и могут изменяться в некоторых пределах. К динамической характеристике относят режущую способность, стойкость, самозатачиваемость, относительный расход шлифовального материала, неуравновешенность инструмента и др.

Характеристика инструмента является основой при выборе его для конкретных операций абразивной обработки. Выбор характеристики зависит от требуемой производительности процесса, шероховатости и качества обработанной поверхности, точности обработки и стойкости инструмента для заданных условий работы.

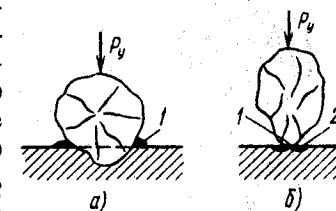


Рис. 12.1. Механизмы взаимодействия абразивной частицы с пластичным (а) и хрупким (б) материалом

### 12.2. РАБОЧАЯ ПОВЕРХНОСТЬ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

Стандартная маркировка шлифовальных кругов и других абразивных инструментов отражает только некоторые характерные особенности, но не является достаточно полной. Например, зернистость

характеризует только верхний предел размера зерен основной фракции и зерновой состав совокупности абразивных зерен, но не отражает форму зерен, содержание зерен различных размеров и фактические размеры зерен.

Исключительно важное значение имеют структура и геометрия рабочей поверхности, ибо они определяют эффективность и эксплуатационные свойства абразивных инструментов.

Рельеф рабочей поверхности абразивного инструмента может характеризоваться разными величинами: числами режущих элементов (или кромок) абразивных зерен, приходящихся на единицу площади поверхности инструмента; средневероятным расстоянием между режущими кромками; разновысотностью режущих кромок, характеризующей их расположение по высоте рельефа; величиной контактной площади рельефа рабочей поверхности.

Процесс снятия стружки при абразивной обработке существенно зависит от числа контактирующих зерен, размера площадок контакта, т.е. от общей площади контактной поверхности и среднего расстояния между зернами. На рис. 12.2 схематически показано

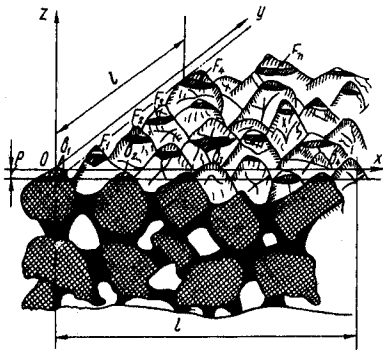


Рис. 12.2. Рельеф режущей поверхности абразивного инструмента:

$l$  — базовая длина вдоль профиля рельефа;  $F_1, F_2, \dots, F_n$  — площади сечения рельефа плоскостью на уровне  $p$ ;  $b_1, b_2, b_3, b_4$  — длина отрезков профиля на уровне  $p$



Рис. 12.3. Микрофотография шлифа шлифовального круга на заданном уровне сечения 50 мкм:

1 — абразивные зерна, 2 — связка, 3 — поры

расположение зерен на рабочей поверхности инструмента. Если от нулевой плоскости отсчета  $хоу$  углубиться в тело инструмента на глубину  $p$ , то получим представление о сечении определенного участка рабочей поверхности. Реально это сечение можно получить путем изготовления шлифа (рис. 12.3).

Рассматривая шлиф под микроскопом или по его фотографии, можно определить площади, занимаемые зернами ( $t_{pa}$ ), связкой ( $t_{pc}$ ) и порами ( $t_{pn}$ ), и выразить их в процентах или относительных величинах:  $t_{pa} + t_{pc} + t_{pn} = 1$  (или 100%).

Если изготовить несколько шлифов, последовательно удаляясь в тело инструмента, то можно построить кривые изменения этих

коэффициентов по высоте рельефа. Для примера такие графики показаны на рис. 12.4 для круга 24A25C1K5. Площадь, занимаемая связкой, изменяется незначительно — от 7 до 9%. Площадь,

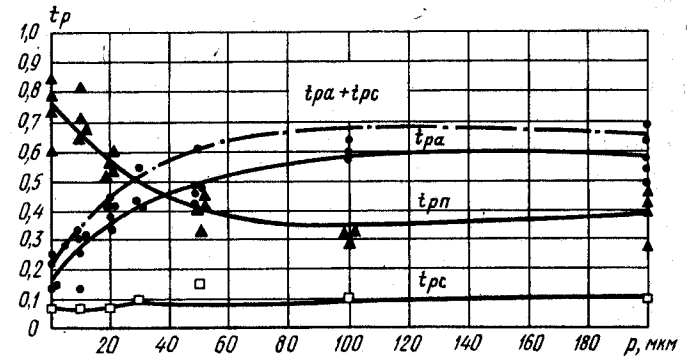
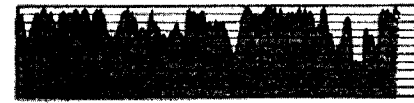
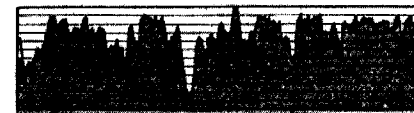


Рис. 12.4. Изменение относительной площади, занимаемой на шлифе разными фазами по высоте профиля



а)

Рис. 12.5. Профилограммы режущих поверхностей электрокорундовых шлифовальных кругов на керамической связке твердостью СМ2, зернистостями 12 (а), 16 (б), 25 (в), 40 (г)

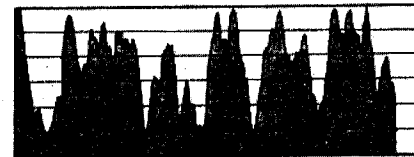


б)

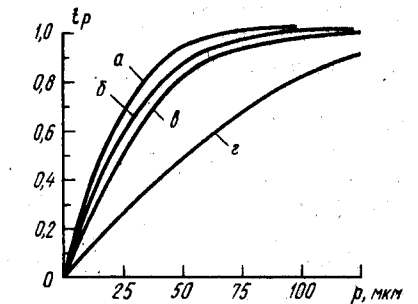
Рис. 12.6. Изменение относительной опорной длины профиля от уровня сечения рельефа режущей поверхности шлифовальных кругов зернистостями 12 (а), 16 (б), 25 (в), 40 (г)



в)



г)



занимаемая абразивными зернами, существенно увеличивается с 15 до 58%. Площадь, приходящаяся на поверхностные поры, пропорционально уменьшается (кривая  $t_{рп}$ ). Изучение шлифов дает наглядное представление о строении режущей поверхности. Использовать метод шлифов для контроля качества инструментов затруднительно из-за большой трудоемкости их изготовления и малого размера их площади. Поэтому для количественной оценки геометрии рельефа рабочей поверхности был разработан метод снятия профилограмм рабочей поверхности шлифовальных кругов алмазной иглой с записью профиля на бумажную ленту с помощью самопишущих устройств или осциллографов.

На рис. 12.5 показаны профилограммы с рабочей поверхности кругов разной зернистости на керамической связке. При рассмотрении этих профилограмм видно, что профили имеют нерегулярный, случайный характер. Форма, размеры и относительное расположение выступов зерен на рабочей поверхности изменяются в широких пределах. При меньшей зернистости в верхних слоях находится значительно большее количество зерен, а расстояние между ними меньше по сравнению с кругами больших номеров зернистости.

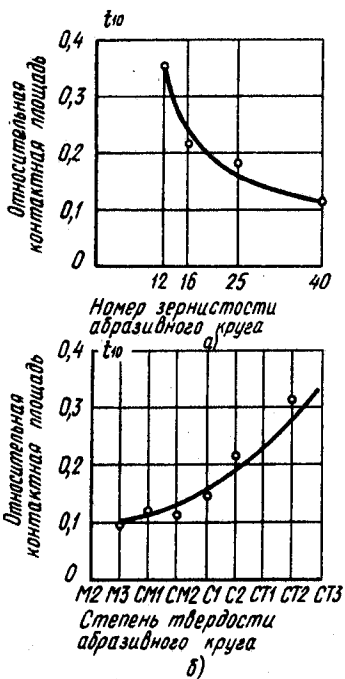


Рис. 12.7. Влияние зернистости (а) и степени твердости (б) на изменение коэффициента контактной площади на уровне профиля 10 мкм для кругов из электрокорунда на керамической связке

Для получения количественных характеристик разделим профиль рельефа профилограмм горизонтальными линиями. На каждой секущей линии часть отрезков попадает внутрь контура, а другая часть расположена вне контура кривой. Если просуммировать длину отрезков, попадающих внутрь контура профиля ( $b_1 + b_2 + b_3 + \dots + b_n$ ) и разделить полученную сумму на общую длину трассы измерения  $l$ , то получим выражение  $t_p = (b_1 + b_2 + b_3 + \dots + b_n) / l = \sum b_i / l$ , определяющее контактную площадь в относительных величинах. Если это выражение умножить на 100, то получим значения контактной площади в процентах. На рис. 12.6 приведены кривые, показывающие изменение контактной площади по высоте рельефа рабочей поверхности для шлифовальных кругов разной зернистости. Чем больше крупность зерен, тем меньшую контактную площадь имеют шлифовальные круги на всех уровнях.

Чтобы проследить влияние характеристики кругов на величину контактной площади, достаточно знать изменение ее для одного какого-либо фиксирован-

ного уровня (например, для уровня в 10 мкм). На рис. 12.7 приведены зависимости, показывающие изменение контактной площади рабочей поверхности на уровне 10 мкм для кругов разных номеров зернистости и степеней твердости.

Располагая подобными зависимостями, можно обоснованно выбирать характеристику кругов и других абразивных инструментов для конкретных условий обработки или вносить коррективы, если выбранный инструмент не обеспечивает требуемых производительности, шероховатости и точности обработки.

### 12.3. ОБРАЗОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

Рабочая поверхность абразивного инструмента не имеет определенных геометрических параметров, присущих металлическому инструменту. Пространственное расположение и распределение режущих граней и поверхностей абразивных зерен разнообразной формы и размеров определяет существенное отличие процесса образования поверхности при абразивной обработке от процесса резания лезвийными инструментами.

При абразивной обработке образуется большое число (до сотни миллионов в минуту) очень малых по размеру стружек: толщина составляет всего несколько микрометров (микрон); ширина больше в 8–15 раз их толщины, а длина зависит от размера зоны контакта и при шлифовании обычно менее 1–2 мм. Абразивные зерна, беспорядочно расположенные на рабочей поверхности круга, срезают стружки с шероховатой поверхности обрабатываемой заготовки. Поэтому сечение срезаемого отдельными зернами металла может практически изменяться в широких пределах и приобретать разнообразную форму и размеры.

В действительности не все абразивные зерна, находящиеся на поверхности круга, имеют возможность срезать стружку. Активно участвуют в резании только около 10% (иногда меньше или больше) абразивных зерен, расположенных на той части поверхности круга, которая в данный момент находится в контакте с обрабатываемой поверхностью. Остальные зерна либо не имеют фактического контакта с заготовкой, либо только скользят по поверхности и заглаживают шероховатости, образованные предшествующими зернами.

Большое влияние на процесс резания оказывает форма вершин зерен, имеющих различную степень остроты (или округленности). В зависимости от радиуса округления  $\rho$  режущих кромок абразивных зерен, глубины их внедрения  $l$  и молекулярного взаимодействия абразивного и обрабатываемого материалов будет различным характер резания отдельными зернами (рис. 12.8, а, б). Есть глубина внедрения режущей кромки зерна при шлифовании без охлаждения будет не меньше 0,1 радиуса округления вершины, то такое зерно будет производить микрорезание с различной формой стружек (зона С). Такие зерна условно можно назвать режущими.

Если глубина внедрения будет меньше, то такое зерно будет производить пластическое оттеснение материала (зона *B*). Подобные зерна иногда называют «давящими». В случае, когда глубина внедрения зерна менее 0,01 радиуса округления вершины, происходит упругое оттеснение материала (зона *A*). Зерна в этом случае условно называют «скользящими». Переходу от упругого деформирования к пластическому и от пластического оттеснения к микрорезанию соответствуют определенные критические нагрузки  $P_y$  (рис. 12.8, б). В зоне пластического деформирования металл не отделяется от основной массы, а обтекает абразивное зерно и выдавливается в направлении, перпендикулярном скорости резания. Объем оттесненного металла, выдавленного по краям канавки, может быть значительным (до 80% от объема царапины). При увеличении относительного внедрения зерен оттеснение материала сменяется его торможением относительно движущегося зерна, т. е. образованием стружки, которая отделяется от основного металла.

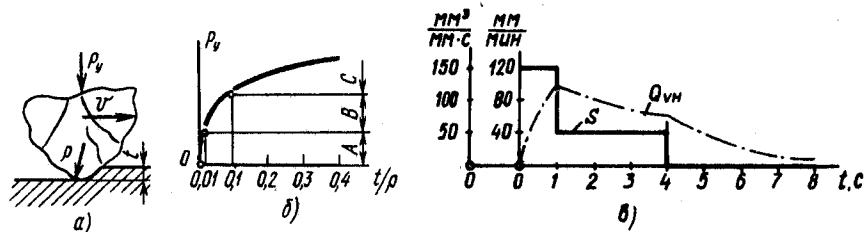


Рис. 12.8. Схема зоны контакта зерна с заготовкой (а), зависимости между нагрузкой и глубиной относительного внедрения абразивного зерна (б), интенсивностью съема  $Q_{vH}$ , подачей  $S$  и временем цикла (в): *A* — зона упругого деформирования, *B* — зона пластического деформирования и оттеснения металла, *C* — зона микрорезания

Рабочий цикл шлифования, т. е. процесс съема металла в пределах припуска, осуществляется в три этапа (рис. 12.8, в). С момента контакта круга с заготовкой на первом этапе происходит процесс постепенного врезания. Действительный съем металла в этот период меньше, чем следовало бы ожидать, если рассчитать его исходя из номинальной поперечной подачи. Это объясняется тем, что при внедрении абразивных зерен в металл появляется сила сопротивления, которая действует на круг со стороны шлифуемого изделия и называется *радиальной силой*. Под действием радиальной силы в механизмах станка происходит выбор имеющихся зазоров, люфтов и деформация некоторых деталей. В системе станок — круг — заготовка в этот период создается натяг. С увеличением натяга возрастает и съем металла.

Время этапа врезания зависит от режима шлифования, например подачи  $S$  на врезание (мм/мин), и от способности системы сопротивляться силам, стремящимся ее деформировать, или, иными словами, от жесткости системы. Жесткость технологической системы станка  $j$  (Н/мм) определяется отношением силы  $P_y$  к вели-

чине деформации  $y$  (перемещения), вызываемой этой силой:  $j = P_y / y$ .

После создания определенного натяга в системе устанавливается примерно постоянная интенсивность съема металла. В этот период, называемый установившимся процессом, толщина слоя снимаемого металла примерно соответствует по величине поперечной подаче  $S$  (см. кривую  $Q_{vH}$  на рис. 12.8, в).

В третий период шлифование производится с уменьшенной (см. кривую  $S$  на рис. 12.8 в) или выключенной (нулевой) поперечной подачей. Интенсивность съема металла убывает, так как глубина врезания абразивных зерен и натяг в системе постепенно уменьшаются. Этот период называется *зачисткой* или *выхаживанием*. При выхаживании уменьшается шероховатость шлифуемой поверхности и повышается точность обработки.

#### 12.4. СИЛЫ РЕЗАНИЯ, РАБОТА И МОЩНОСТЬ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Для снятия в процессе шлифования материала массой  $M$  или объемом  $Q$  приходится затрачивать определенное количество энергии, т. е. совершать работу  $A$  по преодолению трения, сопротивления обрабатываемого материала пластическому и упругому деформированию его инструментом. При взаимодействии инструмента с заготовкой возникают силы, определяющие совершаемую при шлифовании работу. Если измерить работу, приходящуюся на единицу объема снимаемого материала, то такая работа называется удельной  $A_{уд}$  и определяется по формуле:  $A_{уд} = A / Q$ , где  $A$  — вся работа, затрачиваемая на сошлифовывание материала объемом  $Q$ . Если работу выразить в Дж, а объем снятого материала в  $мм^3$ , то удельная работа будет выражаться в Дж/мм<sup>3</sup>. Удельная работа шлифования может быть выражена и через объем материала, снимаемый в единицу времени  $Q_m$  — интенсивность съема материала, по формуле:  $A_{уд} = 10^3(N_d / Q_m)$ , где  $N_d$  — фактическая мощность шлифования, кВт, т. е. работа, совершаемая в единицу времени.

Между интенсивностью съема материала  $Q_m$  и силой нормального давления  $P_y$  в зоне контакта шлифовального круга с заготовкой существует зависимость:  $Q_m = Q_{уд} P_y$ , где  $Q_{уд}$  — удельная интенсивность шлифования, мм<sup>3</sup>/(с · Н), т. е. объем материала, снимаемого силой в 1 Н за 1 с.

Силой резания  $P$  называют равнодействующую всех действующих сил на инструмент в процессе шлифования. Для практических целей удобно разложить силу  $P$  на три составляющие:  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$ ;  $P_z$  — составляющая силы резания, совпадающая по направлению со скоростью главного движения (при шлифовании — это окружная скорость инструмента), называется *главной* или *касательной* составляющей силы резания,  $P_y$  — составляющая силы резания при шлифовании, направленная по радиусу главного вращательного движения, называется *радиальной* составляющей (она же — сила нормального давления  $P_y$  в зоне контакта круга с заготовкой),

$P_x$  — составляющая силы резания, направленная параллельно оси главного вращательного движения резания, называется осевой составляющей.

Фактическая мощность (кВт) шлифования  $N_d = P_z v / 10^3$ , где  $v$  — скорость круга, м/с;  $P_z$  — главная составляющая силы резания, Н.

Между составляющими силы резания  $P_z$  и  $P_y$  (при шлифовании большинства материалов различными кругами) существует зависимость  $f = P_z / P_y \approx 0,3 \div 0,45$ ; величина  $f$  при этом называется коэффициентом абразивного резания. Зная  $f$ ,  $Q_{уд}$  или  $A_{уд}$ , можно рассчитывать составляющие силы резания, работу и мощность шлифования для конкретных условий шлифования при заданных режимах работы. Некоторые значения приведенной к единице радиальной силы интенсивности съема материала при обработке электрокорундовыми, алмазными и эльборовыми инструментами приведены в табл. 12.1.

12.1. Приведенная интенсивность шлифования

Абразивный инструмент	Обрабатываемый материал	Приведенная интенсивность шлифования $Q_{уд} \times 100$ , мм <sup>3</sup> / (с · Н)	
		средняя	пределы изменения
Электрокорундовые круги твердостью СМ1—СМ2 на керамической связке	Углеродистые закаленные и незакаленные стали	33	25—50
	Легированные стали	20	13—30
	Инструментальные быстрорежущие стали	5	3,5—10
Алмазные круги на бакелитовой связке	Твердый сплав	6,5	3,5—10
		5	3,5—6,5
То же, на металлической связке	Твердый сплав со стальной державкой	0,8	0,5—1,7
	Быстрорежущая сталь	2,5	1,7—5
Эльборовые круги на бакелитовой связке	Твердый сплав	10	6,5—17
	Подшипниковая сталь	6,5	3,5—8
Круги из карбида кремния	Быстрорежущие стали	0,3	0,2—0,8
	Твердый сплав	1,2	0,8—2,5
	То же	1,2	0,8—2,5

## 12.5. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЕ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Силы, которые возникают при шлифовании, производят работу срезания и деформирования стружек и преодолевают трение абразивных зерен по обрабатываемой поверхности. Около 80% внешней работы, затрачиваемой на шлифование, обычно переходит в теплоту. Часть образующейся теплоты уносится со стружкой, часть остается в обрабатываемой заготовке, а некоторая часть уходит в абразивный инструмент или излучается в окружающую среду.

С увеличением скорости съема металла  $Q_m$  почти пропорционально увеличивается количество выделяющейся теплоты, в том числе увеличивается доля теплоты, переходящей из зоны контакта в заготовку (рис. 12.9, а). Теплота, поглощаемая стружкой, нагревает ее до высокой температуры, стружка частично оплавливается, а частично сгорает за счет окисления углерода, содержащегося в металле, кислородом воздуха. Различные примеси, содержащиеся в металле, определяют интенсивность окисления, форму и цвет пучка искр. Например, при шлифовании углеродистых сталей пучок искр получается светлого желтого цвета со звездочками, количество которых увеличивается с повышением содержания углерода в стали. При шлифовании быстрорежущей стали образуется пучок искр темно-красного цвета с редкими звездочками на концах. По окраске искр в производственных условиях иногда контролируют марку шлифуемого металла.

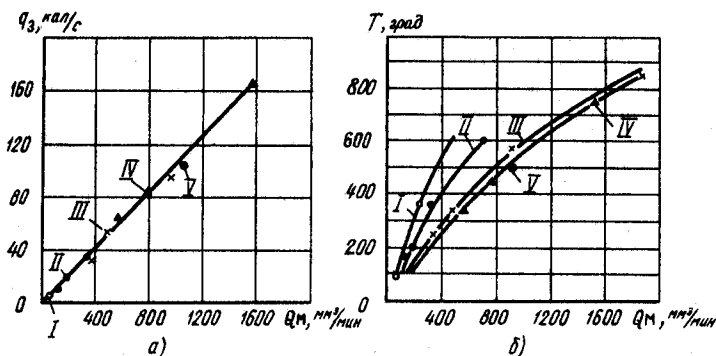


Рис. 12.9. Влияние интенсивности съема твердого сплава Т15К6 на мощность теплового потока, действующего на заготовку (а) и температуру поверхности (б) при плоском шлифовании алмазным кругом АС2 80/63—Б1—100% с продольными подачами (м/с): I — 0,02; II — 0,05; III — 0,13; IV — 0,22; V — 0,37

При шлифовании различают следующие основные температуры: среднюю установившуюся температуру поверхности заготовки, изменяющуюся в пределах от 20 до 400°C в зависимости от режима шлифования, размеров и материала детали и условий охлаждения; мгновенную контактную температуру в зоне резания, изменяющуюся в пределах от 150 до 1200°C;

мгновенную температуру резания отдельными абразивными зернами, которая колеблется в пределах от 1000°C до температуры плавления шлифуемого металла.

Наличие высоких мгновенных температур в зоне резания приводит к изменению структуры поверхностного слоя шлифуемой заготовки, появлению тепловых деформаций детали, остаточных деформаций, шлифовочным прижогам и трещинам.

Прижоги и трещины возникают в основном при шлифовании закаленных стальных деталей, имеющих высокую твердость и проч-

ность, или появляются на деталях, изготовленных из металлов с низкой теплопроводностью (например, жаропрочные сплавы). Быстрорежущая сталь имеет меньшую теплопроводность по сравнению с углеродистыми сталями, поэтому при ее шлифовании чаще могут появляться трещины. Причина появления трещин заключается в том, что под влиянием выделяющейся при шлифовании теплоты в поверхностных слоях происходит разложение мартенсита, связанное с уменьшением объема. Структурные превращения протекают с различной скоростью по глубине поверхностного слоя, что приводит к возникновению внутренних напряжений и к появлению сетки шлифовочных трещин.

Прижоги уменьшают твердость и износостойкость поверхностного слоя детали, т. е. ухудшают его качество. Появление прижогов и трещин наблюдается при завышенной подаче, при шлифовании слишком твердыми кругами при недостаточном охлаждении. Для устранения прижогов и трещин надо правильно подбирать характеристику круга, имея в виду, что уменьшение степени твердости, применение крупнозернистых кругов, увеличение номера структуры, снижение контактной площади рельефа на рабочей поверхности круга приводят к уменьшению теплоты, образующейся при шлифовании.

При появлении прижогов и трещин иногда приходится уменьшать интенсивность съема металла снижением поперечной подачи. Полезно также увеличивать скорость детали. В этом случае, сохраняя скорость съема металла неизменной, можно снизить температуру на поверхности заготовки.

На рис. 12.9, б приведены кривые зависимости температуры поверхности твердого сплава в зоне контакта с шлифовальным кругом от интенсивности съема при разных продольных подачах.

Пластическая деформация металла абразивными зернами в зоне резания приводит к возникновению остаточных напряжений сжатия в обрабатываемой поверхности. Наряду с этим проявляется воздействие и термического фактора: высокие температуры в условиях неравномерного нагрева по глубине поверхностного слоя первоначально вызывают напряжения сжатия, а после остывания наблюдаются остаточные напряжения растяжения. Эти напряжения растяжения обычно достигают своего максимума не на поверхности, а на некоторой глубине порядка 5—20 мкм. Остаточные напряжения растяжения особенно опасны, так как они сопровождаются трещинами в поверхностных слоях.

Для того чтобы достичь высокой производительности шлифования при надлежащем качестве поверхностного слоя изделий, применяется охлаждение заготовки смазочно-охлаждающими жидкостями. Эти жидкости подаются в зону контакта шлифовального круга с заготовкой и оказывают существенное влияние на процесс шлифования за счет охлаждающего, смазочного, абсорбционного, смывающего и антикоррозионного действий.

Охлаждающее действие жидкости заключается в отводе теплоты из зоны шлифования за счет теплопередачи и поглощения теплоты жидкостью при ее испарении. Наилучшей охлаждающей способ-

ностью обладает вода, имеющая достаточно высокие теплоемкость, теплопроводность и скорость испарения. Применение в водных растворах так называемых поверхностно-активных веществ (животные жиры, растительные масла, жирные и нефтяные кислоты, мыло и т. п.) приводит к образованию на абразивных зернах шлифовального круга и поверхности шлифуемого металла прочно удерживаемых тончайших пленок смазки. Эти пленки способствуют уменьшению трения при шлифовании, а также обеспечивают лучшую растекаемость жидкости по поверхности металла и способствуют улучшению условий теплоотвода. Поверхностно-активные вещества также проникают в микротрещины поверхностного слоя шлифуемой заготовки и образуют там тончайшие пленки, оказывающие расклинивающее воздействие. В результате такого воздействия облегчается пластическая деформация срезаемого слоя металла. Смазочно-охлаждающие жидкости удаляют из зоны резания, а также с поверхности заготовки и шлифовального круга мелкую стружку и продукты износа абразивных зерен и связки.

Применение воды может привести к появлению ржавчины детали и частей станка, т. е. к коррозии. Для устранения коррозии к воде добавляют мыло, углекислый натрий, кальцинированную соду, тринатрийфосфат, нитрит натрия, силикат натрия, которые образуют защитные пленки. При обычном шлифовании чаще всего пользуются мыльными и содовыми растворами, а при чистовом — низкоконцентрированными масляными эмульсиями. Иногда охлаждающие жидкости подают через отверстие шлифовального круга с помощью специальных устройств. Под действием центробежных сил жидкость проникает через поры в тело круга и далее на периферию круга непосредственно в зону контакта круга со шлифуемой заготовкой. При охлаждении через поры круга повышается стойкость кругов и повышается качество поверхностного слоя заготовки. Иногда применяют двойное охлаждение: обычная подача эмульсии в зону контакта круга с заготовкой и подача через поры круга масла в количестве 2—3 г/мин. При двойном охлаждении вследствие высокой охлаждающей способности эмульсии и хорошего смазывающего действия масла удается значительно уменьшить износ кругов, повысить качество шлифуемой поверхности.

#### 12.6. ИЗНОС РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КРУГА ПРИ ШЛИФОВАНИИ И ПРАВКА КРУГА

При шлифовании металлов происходит износ рабочей поверхности абразивного инструмента, который в зависимости от условий шлифования может проявляться в следующем:

зерна, слабо удерживаемые связкой или невыгодно ориентированные на поверхности, вырываются из связки под действием сил резания. Такой отрыв может происходить либо по мостикам связки (рис. 12.10, а), либо за счет объемного разрушения зерен (рис. 12.10, б);

режущие грани и вершины наиболее выступающих абразивных зерен частично обламываются (рис. 12.10, в), частично истираются и заглаживаются (рис. 12.10, г) вследствие трения об обрабатываемый

металл. На поверхности абразивных зерен появляются плоские площадки износа, которые затрудняют внедрение абразивных зерен в металл;

снимаемая стружка совместно с продуктами износа абразивных зерен и связки попадает в поры круга и постепенно их заполняет (рис. 12.10, д);

обрабатываемый металл прилипает к абразивным зернам (рис. 12.10, е). Свойство абразивного инструмента непрерывно вос-

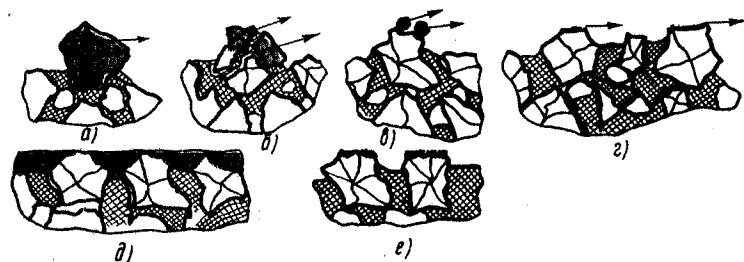


Рис. 12.10. Различные виды износа абразивных инструментов

становливать способность производить обработку с заданными параметрами называют *самозатачиваемостью* инструмента. Самозатачиваемость является следствием изнашивания, т. е. процесса постепенного уменьшения размеров рабочего слоя инструмента, при котором происходит постепенное скалывание и выкрашивание абразивных зерен, сопровождающееся соответствующим износом связки. Свойством самозатачивания обладают круги мягкие и среднемягкие по шкале твердости, работающие при интенсивном съеме металла. В остальных случаях обычно говорят о преобладании либо затупления, либо «засаливания» рабочей поверхности круга. Выкрашивание абразивных зерен, сопровождающееся затуплением и засаливанием рабочей поверхности круга, приводит к искажению первоначальной геометрической формы круга, снижению его режущей способности, возникновению вибраций и появлению характерных шумов, к увеличению шероховатости шлифуемой поверхности и уменьшению точности обработки.

Для восстановления заданной геометрической формы и режущей способности рабочей поверхности абразивного инструмента производится его правка. При правке снимается абразивный материал и связка с рабочей поверхности круга специальными правящими инструментами. Объем работы, выполненный абразивным инструментом в заданный промежуток времени, называют *наработкой* абразивного инструмента. Свойство абразивного инструмента сохранять работоспособность (т. е. способность осуществлять обработку с заданными параметрами) до наступления предельного состояния (т. е. такого состояния, при котором дальнейшая правка его невозможна) называют *долговечностью* инструмента. Машинное время работы абразивного инструмента от момента установки нового инструмента до

наступления его предельного состояния называют *ресурсом* абразивного инструмента. Величина, равная отношению объема (или массы) израсходованного рабочего слоя абразивного инструмента к длительности обработки, называется *расходом* инструмента по объему (или по массе) в мм<sup>3</sup>/с (или г/с). Свойство абразивного инструмента оказывать сопротивление его изнашиванию при абразивной обработке называют *износостойкостью* инструмента. Время между двумя правками, измеряемое в минутах шлифования, называется периодом стойкости абразивного инструмента. Период стойкости зависит от режима шлифования, характеристики абразивного инструмента, условий шлифования и колеблется в широких пределах: от 0,5 до 10 мин при внутреннем шлифовании, от 3 до 80 мин — при круглом наружном шлифовании.

Увеличение поперечной и продольной подач, применение крупнозернистых кругов вместо мелкозернистых, увеличение пористости, уменьшение твердости приводит к повышению износа кругов. Увеличение окружной скорости круга, применение кругов из электрокорунда белого и монокорунда вместо кругов из электрокорунда нормального, керамической и бакелитовой связки вместо вулканитовой приводят к повышению периода стойкости.

Правка абразивных кругов производится алмазным и безалмазным правящими инструментами. При алмазной правке применяют: алмаз с естественными гранями и с определенной их ориентацией, закрепленный пайкой или зачеканкой в оправку — алмаз в оправке (рис. 12.11, а);

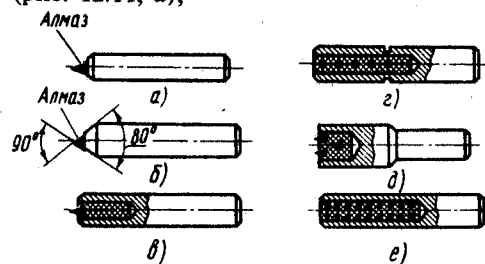


Рис. 12.11. Кристалльные алмазные инструменты для правки: а — алмаз в оправке, б — игла алмазная для правки резьбошлифовальных кругов, в — карандаш однослойный, г — карандаш типа 01 с алмазами, расположенными цепочкой вдоль оси, д — карандаш типа 04 с неориентированными алмазами, е — карандаш типа 02

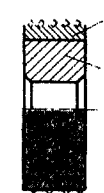


Рис. 12.12. Ролик алмазный для правки абразивных кругов: 1 — алмазоносный слой, 2 — корпус

алмазные карандаши, вставка которых изготавливается из алмазных зерен на металлической связке и запрессовывается в оправку (рис. 12.11, в—е); общая масса алмазов в карандаше составляет от 100 до 200 мг; алмазные зерна во вставке (рис. 12.11, г—е) могут располагаться цепочкой вдоль оси карандаша (тип 01), слоями (тип 02), на сферической поверхности (тип 03) или произвольно (тип 04);

алмазные иглы и резцы, режущая часть которых подвергается



искусственной огранке для придания ей определенных геометрических параметров (рис. 12.11, б);

алмазно-металлические правящие круги и ролики для непрерывной или периодической правки (рис. 12.12).

В настоящее время алмазная правка разрешается только для ограниченного числа операций при определенных требованиях к точности размера, формы, к расположению поверхности и шероховатости шлифуемых поверхностей деталей. Например, при наружном шлифовании алмазы можно применять при изготовлении деталей с предельными отклонениями по 6-му качеству в сочетании с шероховатостью поверхности детали ( $Ra \leq 0,63$  мкм).

Для безалмазной правки применяют следующие виды инструментов: диски твердосплавные монолитные и из зерен на металлической связке, диски и звездочки металлические, абразивные круги и бруски из карбида кремния. Обычно эти инструменты укрепляют в специальных державках, наибольшее применение из которых получили ДО40, ДО75 и АТР-18МУ для твердосплавных дисков.

При работе на заточных станках правка обычно производится алмазно-металлическими карандашами или бруском из карбида кремния зернистостью 125—50, твердостью Т1—ВТ1. Брусок следует надежно закреплять в тиски или в крайнем случае удерживать в руках, соблюдая правила безопасности труда. Правка обдирочных кругов обычно производится звездочками и шарошками в специальных державках, которые при правке должны иметь опору на станине или столе станка. Круги на бакелитовых связках обычно в правке не нуждаются. Если же в этом возникает необходимость, то правку можно осуществлять на заточном станке абразивными брусками из электрокорунда белого 22А—25А зернистостью 8—10, твердостью СМ2.

Восстановление режущих свойств алмазных кругов производится путем очистки рабочей поверхности от стружки, частиц твердого сплава и продуктов износа и вскрытия новых вершин алмазных зерен, ранее не принимавших участия в резании.

Правка обтачиванием применяется для шлифовальных кругов, предназначенных для обработки заготовок высокой точности (обычно 6-го качества) при малой шероховатости поверхности ( $Ra \leq 0,63$  мкм). Станки в этом случае снабжают механизмами автоматической правки или механизмами для правки по определенному профилю. Используют одиночные кристаллы алмазов — зерна ограненные или природные без огранки в оправках и резцовых державках, или группы зерен, закрепленные в связке — карандаши, гребенки и т. п. (см. рис. 12.11, а—е).

Алмазные зерна природной формы в оправке используют для профильной правки, для правки кругов высокой твердости (СТ1 и выше), при одновременной правке рабочих поверхностей нескольких кругов, установленных на общей оправке при шлифовании разоблиценных участков на заготовке, при высоких требованиях к точности (6-й класс) и шероховатости поверхности ( $Ra \leq 0,63$  мкм). Ограненные одиночные зерна алмазов в резцах или гребенках используются при правке одиночных и многониточных резьбошлифовальных кругов,

при шлице- и зубошлифовании, профильном шлифовании, при одновременном шлифовании торцевой и цилиндрической поверхности (шейка с галтелью), на станках с угловым перемещением шлифовальной бабки.

Алмазные ролики для правки абразивных кругов (см. рис. 12.12) изготавливают по ГОСТ 16014—78, они состоят из алмазосодержащего слоя 1 (алмазы в твердосплавной связке) и корпуса 2, изготовленного из стали марки 35 или 45. Для изготовления алмазосодержащего слоя ролика используют алмазы в виде целых кристаллов с незначительным искажением от правильной формы. Алмазы располагаются на поверхности ролика равномерно. Гарантийный срок работы ролика при правке шлифовального круга твердостью С2 не меньше 20 000 правок при следующем режиме: продольная подача 0,005 м/с, поперечная подача 0,02 мм/дв. ход, частота вращения ролика 2800 об/мин.

Наиболее широкое применение при правке обтачиванием получили алмазные карандаши (см. рис. 12.11, з—е), в которых используются зерна различной крупности, закрепленные в алмазосодержащих

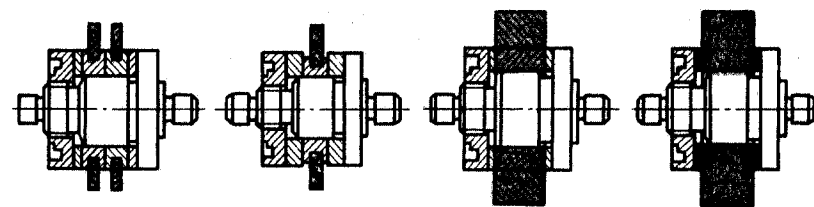
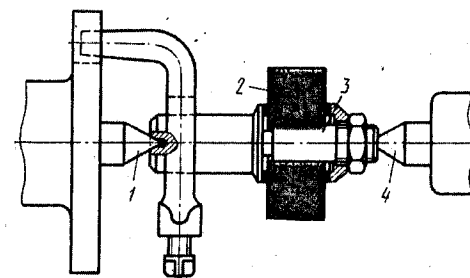


Рис. 12.13. Установка различных правящих инструментов в державке ДО-40

Рис. 12.14. Схема установки инструмента при правке методом шлифования:

1 — центр передней бабки, 2 — шлифовальный правящий круг, 3 — оправка-скалка, 4 — центр задней бабки



вставках, расположенных в оправках разного исполнения: цилиндрических (А), с коническим конусом (В) или ступенчатых (С). В ГОСТ 607—80 определены группы алмазов с массой (0,03—0,05; 0,05—0,10; 0,10—0,20; 0,20—0,50; 0,31—0,50 кар) или зернистость порошка. Выбор типа карандаша зависит от вида шлифования, диаметра и высоты шлифовального круга. Для правки абразивных кругов прямого профиля карандаши применяют на операциях, при выполнении которых шероховатость детали  $Ra$  менее 1,25 мкм при врезной подаче и менее 0,63 мкм при продольной подаче.

При правке обкатыванием используют металлические, твердосплавные или абразивные диски, устанавливаемые на осях в

специальных державках (рис. 12.13). При правке они вводятся в соприкосновение со шлифовальным кругом и получают от сил трения вращение с очень большой частотой. При продольном перемещении вдоль образующей круга происходит дробление абразивных зерен и образование определенного рельефа на рабочей поверхности. Этот метод правки обычно используют при черновом шлифовании и на некоторых других операциях с небольшими требованиями к качеству поверхности и точности деталей.

При правке шлифованием используют абразивные круги высокой твердости и алмазные ролики, которые получают принудительное вращение от привода передней бабки станка (рис. 12.14), а иногда от индивидуального привода.

## 12.7. БАЛАНСИРОВКА ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

Шлифовальный круг, установленный и закрепленный на шпинделе станка, в процессе работы вращается с большой угловой скоростью. Если масса круга распределена несимметрично относительно оси его вращения, то при вращении шпинделя с кругом появляются дополнительные периодические нагрузки на его подшипники. При значительной величине этих нагрузок появляются нежелательные колебания (вибрации станка), которые приводят к ухудшению точности и качества шлифуемой поверхности, к увеличению расхода абразива из-за повышенного и неравномерного износа рабочей поверхности круга. Во избежание этого шлифовальные круги необходимо балансировать, добиваясь симметричного распределения вращающихся масс относительно оси. Подобная операция, выполняемая после изготовления кругов, называется *балансировкой*.

Обнаружить неуравновешенность можно с помощью специальных устройств: балансировочных приспособлений, установок, балансировочных машин, станков, различающихся по конструкции и принципу работы. Наиболее простыми являются приспособления для статической балансировки кругов, которые имеют пару стальных цилиндрических валиков одинакового диаметра. Валики закалены до твердости HRC 54–60, а шероховатость поверхности  $Ra < 0,32$  мкм, отклонение от прямолинейности 4–5 мкм, износ рабочей поверхности 4–5 мкм; отклонение от круглости шеек оправки и их биение относительно посадочной конусной поверхности не более 2–3 мкм. Оправки хранят вертикально для устранения возможного прогиба под действием силы тяжести.

Балансировка кругов цилиндрическими валиками производится следующим образом:

круг с оправкой устанавливают таким образом, чтобы он располагался между валиками симметрично, а ось балансировочной оправки была перпендикулярна валикам приспособления;

компенсирующие грузики во фланцах устанавливают в нейтральное положение, т. е. в положение, при котором они взаимно уравновешиваются относительно оси фланца;

отмечают радиальной чертой с помощью мела «легкое место»

и проверяют правильность отметки путем покачивания круга в одну и другую стороны;

перемещают балансировочные сухарики по пазу в рабочем фланце, добиваясь статического равновесия (обычно средний сухарик устанавливают симметрично относительно меловой черты, а два крайних примерно на равном расстоянии от него); если «тяжелая» часть по-прежнему стремится занять нижнее положение, то крайние сухарики приближают последовательно к среднему и наоборот.

Уравновешенный круг остается неподвижным на валиках в любом положении относительно меловой черты.

Имеются и другие приспособления для балансировки шлифовального круга вне станка. Это балансировочные станки и балансировочные «весы». Они отличаются принципом уравновешивания, продолжительностью балансировки (10–40 мин) и ее точностью (определяется остаточным смещением центра тяжести). Все шлифовальные круги диаметром более 125 мм и высотой более 8 мм балансируются перед установкой на станке.

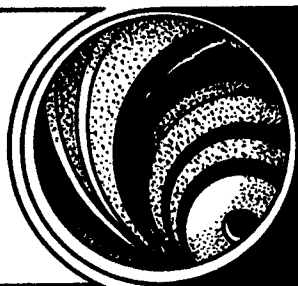
В настоящее время при конструировании шлифовальных станков предусматривается возможность балансировки шлифовальных кругов непосредственно на станке. Такая балансировка имеет следующие достоинства: экономию времени на снятие и установку круга для балансировки после правки; высокую точность балансировки и постоянный контроль величины остаточного дисбаланса.

### Контрольные вопросы

1. Расскажите, как вы представляете процесс снятия металла при абразивной обработке.
2. Какие параметры характеризуют рельеф рабочей поверхности абразивного инструмента?
3. Какие основные этапы различают в рабочем цикле шлифования?
4. Какие факторы влияют на силы резания при шлифовании?
5. Что является причиной появления прижогов и трещин в поверхностном слое детали при шлифовании?
6. Какие методы используются для обнаружения прижогов и трещин в поверхностном слое детали?
7. Какую роль при шлифовании играют смазочно-охлаждающие жидкости?
8. Как проявляется износ абразивного инструмента при шлифовании?
9. Какое основное назначение правки шлифовальных кругов?
10. Какие инструменты применяют для правки кругов?
11. Почему необходимо уравновешивать шлифовальные круги?

# ШЛИФОВАЛЬНЫЕ КРУГИ И ВЫБОР ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

13



## 13.1. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ФОРМА И РАЗМЕРЫ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

**Основные виды абразивных инструментов.** Абразивные инструменты, предназначенные для шлифования, в зависимости от геометрической формы разделяют на шлифовальные круги, головки, сегменты, бруски, шлифовальные ленты и шкурки. Каждый вид инструмента имеет свои особенности, обусловленные назначением инструмента, конструкцией станка, выполняемой операцией, материалом заготовки и требованиями к обработанной детали.

Шлифовальными кругами называют абразивные инструменты, представляющие собой тела вращения и имеющие сквозное осевое отверстие, предназначенное для крепления круга на шпинделе станка.

Шлифовальными головками называют абразивные инструменты, представляющие собой тела вращения, имеющие несквозное отверстие. Головку наклеивают на шпильку, один конец которой изготовляют гладким или с накаткой и устанавливают в отверстие головки, а другой зажимают в патроне станка.

Брусками и сегментами называют абразивные инструменты (или их часть), имеющие одинаковый профиль поперечного сечения по всей длине. Бруски и сегменты не вращаются вокруг своей оси при работе. Бруски предназначены для закрепления в специальных патронах или головках и применяются в виде единичного инструмента или в собранном виде. Шлифовальные сегменты крепятся обычно на переходных фланцах, которые устанавливают затем на шпиндель станка. Бруски, кроме того, применяют для ручной обработки при отделочных и заточных операциях.

Лентами и шкурками называют абразивный инструмент, представляющий собой тонкую гибкую основу с закрепленным на ней слоем абразивного зерна. Шлифование лентами и шкурками производится или вручную, или на специальных станках.

Типы шлифовальных кругов и их основные размеры регламентированы ГОСТ 2424-83, который предусматривает ряд типов и несколько сотен типоразмеров. На рис. 13.1 приведены формы сечения и условное обозначение типов шлифовальных кругов. Шлифовальные круги с диаметром отверстия от 1 до 13 мм можно наклеи-

вать на шпильку. Шлифовальные круги с диаметром отверстия от 6 до 20 мм и наружным диаметром до 100 мм закрепляют на шпинделе или оправке станка винтами или гайками. Круги с посадочным отверстием от 10 до 32 мм и наружным диаметром от 32 до 250 мм закрепляют на шпинделе или оправке фланцами. Круги с диаметром отверстия от 32 до 508 мм крепят на переходных фланцах винтами или гайками. Круги формы *K* наклеивают на переходные фланцы.

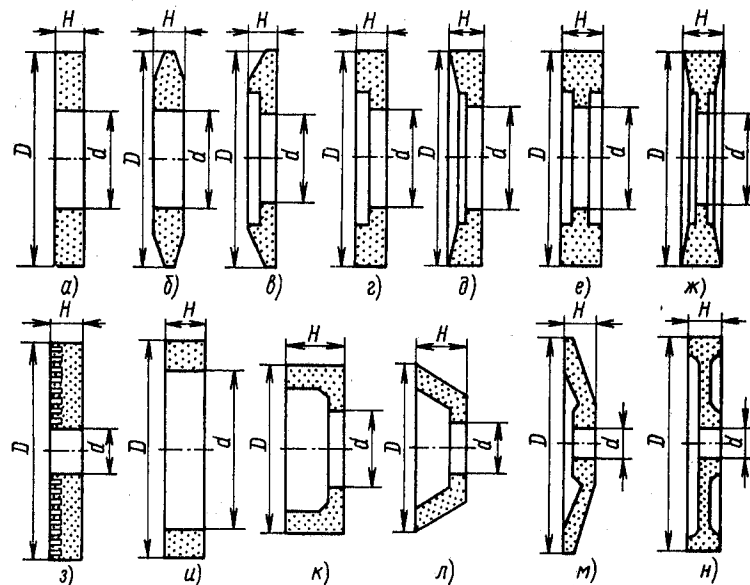








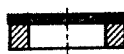
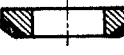




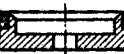
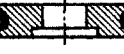









Рис. 13.1. Формы сечений шлифовальных кругов:


*a* — прямого профиля (ПП), *б* — с двусторонним коническим профилем (2П), *в* — с коническим профилем (3П), *г* — с выточкой (ПВ), *д* — с конической выточкой (ПВК), *е* — с двусторонней выточкой (ПВД), *ж* — с двусторонней конической выточкой (ПВДК), *з* — специальный (ПР), *и* — кольцевой (К), *к* — чашечный цилиндрической (ЧЦ), *л* — чашечный конический (ЧК), *м* — тарельчатый (Т), *н* — с двусторонней выточкой и ступицей (ПВДС); *D* — наружный диаметр, *H* — высота, *d* — диаметр посадочного отверстия

При креплении кругов необходимо между опорными поверхностями абразивного инструмента и деталями зажимных устройств устанавливать прокладки из картона, резины, войлока или кожи для более равномерного распределения давления на круг.

Алмазные и эльборовые шлифовальные круги классифицируют по ГОСТ 24747-90. В зависимости от формы корпуса, формы и расположения алмазо- и эльборосодержащего слоя, а также от модификации корпуса устанавливают определенные обозначения формы кругов (табл. 13.1). Первые одна или две цифры (с 1 по 15) в обозначении характеризуют форму сечения корпуса; следующие одна или две буквы (А, АН, В, С, СН, D, DD, E, EE, F, FF, G, GG, H, J, L, LL, M, P, Q, QQ, R, S, V, Y, U) — форму сечения

Наименование кругов	Форма сечения круга	Обозначение формы кругов
Круги алмазные шлифовальные плоские прямого профиля		1A1
		1A6
Круги алмазные шлифовальные плоские прямого профиля без корпуса		A8
Круги алмазные шлифовальные плоские с односторонним коническим профилем		1V1
Круги алмазные шлифовальные плоские с двусторонним коническим профилем		1EE1X
Круги алмазные шлифовальные плоские с полукругло-выпуклым профилем		1F1X
		1FF1X
Круги алмазные шлифовальные плоские с полукругло-вогнутым профилем		2FF6
Круги алмазные шлифовальные плоские прямого профиля		2A2
Круги алмазные шлифовальные профильные		4D5
Круги алмазные шлифовальные плоские		5A6
Круги алмазные шлифовальные плоские с выточкой		6A2

Наименование кругов	Форма сечения круга	Обозначение формы кругов
Круги алмазные шлифовальные плоские прямого профиля		6A9
Круги алмазные шлифовальные профильные		6FF6V
Круги алмазные шлифовальные плоские с двусторонней выточкой		9A3
Круги алмазные шлифовальные чашечные конические		11A2
		11V4
		11V5
		11V9
		12A2
Круги алмазные шлифовальные тарельчатые		12V5
		12R4
Круги алмазные шлифовальные плоские прямого профиля		14A1
Круги алмазные шлифовальные плоские с двусторонним коническим профилем		14EE1X

Наименование кругов	Форма сечения круга	Обозначение формы кругов
Круги алмазные шлифовальные плоские прямого профиля трехсторонние		14U1

абразивосодержащего слоя; последующие один или два цифровые и буквенные индексы (1, 1P, 1R, 1V, 1X, 2, 3, 4, 4V, 4X, 5, 5V, 5X, 6, 6V, 6X, 7, 8, 9, 10) обозначают расположение абразивосодержащего слоя на корпусе, а следующие за ними (B, C, H, T, M) — модификацию корпуса. При маркировке алмазных и эльборовых кругов индексы модификации корпуса можно опускать.

### 13.2. Применение основных типов шлифовальных кругов

Тип шлифовального круга	Назначение
Плоские прямого профиля (ПП)	Универсальное применение. Наиболее распространенные виды шлифования в зависимости от диаметра круга, мм: до 150 — внутреннее шлифование; 150—500 — заточка инструментов; 250—1100 — круглое наружное шлифование; 250—600 — бесцентровое шлифование; 200—450 — плоское шлифование периферией круга; 150—600 — ручное обдирочное шлифование; 100—500 — резбошлифование
Плоские с выточкой (ПВ, ПВК, ПВД, ПВДК)	Универсальное применение подобно кругам ПП. Назначение выточек: обеспечить лучший доступ круга к обрабатываемой заготовке и возможность одновременного шлифования цилиндрических и торцовых поверхностей («в упор»); уменьшить площадь соприкосновения торцовой поверхности круга с обрабатываемой поверхностью при обработке буртов, фланцев (ПВК, ПВДК)
Плоские с коническим профилем (2П, 3П)	Резбошлифование; шлицшлифование; зубошлифование (2П); заточка некоторых видов многолезвийного инструмента (3П)
Плоские с рифлениями (ПР)	Обдирочное плоское шлифование, иногда чистовое шлифование на специальных станках, рифленая поверхность кругов ПР снижает нагрев обрабатываемой заготовки
Кольцевые (К)	Плоское шлифование торцом круга (крепление кругов на планшайбе)
Чашечные цилиндрические (ЧЦ)	Заточка и доводка режущего лезвийного инструмента; внутреннее и плоское шлифование (например, шлифование направляющих станин и корпусных деталей)
Чашечные конические (ЧК)	Заточка и доводка лезвийных инструментов; плоское шлифование в случае, когда затруднена обработка кругами других форм (например, шлифование направляющих станин)
Тарельчатые (Т)	Заточка и доводка многолезвийного режущего инструмента; зубошлифование; шлифование труднодоступных мест
Специальные (С)	Шлифование калибров-скоб и пазов

**Выбор круга по форме и размерам.** Форму абразивного инструмента выбирают в зависимости от конструкции станка, крепежных приспособлений и характера выполняемой работы. В табл. 13.2 указаны области применения шлифовальных, а в табл. 13.3 — алмазных и эльборовых кругов различной формы.

При выборе размеров круга следует брать возможно большие диаметр и ширину, так как это улучшает условия шлифования и снижает стоимость обработки. Верхний предел размеров круга ограничивается конструкцией и размерами станка, иногда — размерами и формой обрабатываемой заготовки.

### 13.3. Применение алмазных и эльборовых кругов

Обозначение формы круга	Назначение
1A1	Шлифование и доводка цилиндрических наружных и внутренних поверхностей; плоское шлифование; обработка пазов; заточка инструментов; бесцентровое шлифование; шлифование канавок на резцах для схода стружки
A8 14U1	Шлифование и доводка отверстий Обработка цилиндрических и плоских поверхностей; прорезка пазов; шлифование торцов пазов и канавок
6A2	Заточка и доводка элементов измерительных инструментов; плоское шлифование
9A3	Заточка и доводка режущих инструментов; обработка скоб, микрометров и других элементов измерительного инструмента; шлифование торцов
12A2 с углом 45°	Заточка и доводка режущих инструментов по передним и задним поверхностям; шлифование торцов; полирование деталей типа тел вращения с силовым замыканием контакта
11V9 с углом 70°	Заточка и доводка многолезвийных режущих инструментов по передним и задним поверхностям; обработка плоскостей при больших глубинах резания
12V5 с углом 45°	Заточка и доводка задних поверхностей многолезвийных режущих инструментов с винтовыми зубьями; шлифование с большими подачами на глубину
12A2 с углом 20°	Заточка и доводка передних поверхностей многолезвийных режущих инструментов
12R4 с углом 45° 12V5 с углом 20°	То же Заточка и доводка передних поверхностей многолезвийных инструментов с винтовыми зубьями
12D9	Заточка и доводка зубьев червячных и шлицевых фрез по передним поверхностям
14EE1X; 1EE1X	Шлифование и доводка фасонных поверхностей твердосплавных деталей штампов на профилешлифовальных станках; шлифование резьбы на резбошлифовальных станках; вышлифовка стружколомающих канавок
1FF1X	Обработка канавок для схода стружки и шлифование поверхностей с фасонным профилем
14A1	Вышлифовка канавок для схода стружки у концевой инструмента

### 13.2. АБРАЗИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Вещества природного или искусственного происхождения, содержащие минералы высокой твердости и прочности, зерна и порошки которых способны обрабатывать поверхности других твердых тел

путем царапания, скобления или истирания, называют *абразивными материалами*. Из природных абразивных материалов применяют алмаз, кварц, корунд, кремнь и др. К искусственным абразивным материалам относятся: электрокорунд и его разновидности; карбиды кремния и бора; синтетические алмазы, кубический нитрид бора и др.

Корунд — минерал, состоящий из кристаллического оксида алюминия  $Al_2O_3$  (глинозем) с различными примесями. Запасы корунда в природе невелики, поэтому применяют его ограниченно, главным образом до доводочных операций и обработки оптического стекла.

Наибольшее применение в настоящее время получили искусственные электрокорундовые абразивные материалы, так как они обладают более высокими и стабильными качествами.

Электрокорунд, получающийся при плавке шихты, составленной из естественных бокситов и других веществ, представляет собой корунд с незначительными примесями других минералов и выпускается следующих разновидностей: нормальный; белый; монокорунд; хромистый; титанистый; циркониевый.

Электрокорунд нормальный, получающийся в процессе плавки боксита в электродуговых печах, содержит главным образом оксид алюминия  $Al_2O_3$ . В зависимости от содержания оксида алюминия, а также примесей различают несколько марок нормального электрокорунда: 13А, 14А, 15А. Основную массу зерна выпускают марки 15А. Цвет зерен — от розового и светло-коричневого до темно-коричневого.

Электрокорунд белый получают в процессе плавки глинозема в электродуговых печах. Содержание оксида алюминия в нем от 98 до 99%, т. е. значительно выше, чем в электрокорунде нормальном. Электрокорунд белый выпускают следующих марок: 23А, 24А, 25А. В настоящее время в основном выпускают электрокорунд белый марок 24А и 25А с содержанием  $Al_2O_3$  99% и выше. Цвет зерен — бело-розовый или белый.

Электрокорунд хромистый (технический рубин) получают путем плавки в электродуговых печах глинозема с добавкой оксида хрома. Он содержит не менее 97%  $Al_2O_3$  и 0,4—1,2%  $Cr_2O_3$ . Зерна хромистого электрокорунда по цвету сходны с рубином, имеют розовую или темно-вишневую окраску, обладают более высокой по сравнению с электрокорундом белым стабильностью физико-механических свойств и содержат больший процент монокристаллов. Хромистый электрокорунд выпускают марок 33А, 34А.

Электрокорунд титанистый (технический сапфир), выпускаемый марки 37А, получают также путем плавки глинозема, но с присадками диоксида титана. Форма зерен титанистого электрокорунда более изометричная, что позволяет повысить абразивную способность инструментов.

Электрокорунд циркониевый, выпускаемый марки 38А, получают путем плавки в электродуговых печах из сырья, в состав которого входит глинозем, циркониевая руда или чистый диоксид циркония, оксиды титана и восстановитель.

Карбид кремния (карборунд), содержащий около 97—99%  $SiC$  и незначительное количество других минералов, получают в электро-

печах сопротивления. Промышленность выпускает две разновидности карбида кремния — зеленый и черный; кроме цвета они различаются и некоторыми механическими свойствами. Зеленый карбид кремния имеет повышенную по сравнению с черным хрупкость, цвет — от светло-зеленого до зеленого с отдельными прозрачными кристаллами. Черный карбид кремния имеет черный или темно-синий цвет. Марки карбида кремния черного — 53С, 54С, карбида кремния зеленого — 63С, 64С.

Карбид бора, получаемый в дуговых электропечах, представляет собой твердый раствор бора в  $W_4C$  и содержит до 93%  $W_4C$  и 1,5% свободного углерода. В карбиде бора элементарного бора содержится до 74%.

В 1957 г. было получено новое вещество — кубический нитрид бора, который обладает весьма большой твердостью (царапает алмаз) и уникальными абразивными свойствами. Абразивный материал из кубического нитрида бора выпускают под названием эльбор (условное обозначение Л). В других странах кубический нитрид бора получил названия кубонит, боразон. Теоретическая плотность эльбора меньше плотности алмаза (3,48 и 3,51 г/см<sup>3</sup> соответственно).

Природный алмаз, состоящий из углерода с незначительным количеством примесей, является минералом, добываемым в месторождениях. Многие сорта алмаза относятся к драгоценным камням первого класса, так как после огранки они по красоте и блеску превосходят другие драгоценные камни. Алмаз хрупок, но обладает наибольшей твердостью из всех известных веществ. Он способен царапать любые минералы и вещества, встречающиеся в природе. Добыча алмазов сопряжена с большими трудностями, так как даже в богатых месторождениях в 1 т породы содержится от 0,02 до 0,1 г алмазов. Поэтому для абразивных инструментов в основном используют искусственные алмазы, получаемые путем синтеза. Природный алмаз имеет условное обозначение А, синтетические — АС, синтетические поликристаллические материалы — АР (АРВ1, АРК4, АРС3) с добавлением условного обозначения типа алмазного поликристалла.

Сведения об основных физико-механических свойствах алмазно-абразивных материалов приведены в табл. 13.4.

**Выбор круга по абразивному материалу.** Измельченный и классифицированный абразивный материал носит название шлифовального материала. Область применения того или иного шлифовального материала определяется физико-механическими свойствами обрабатываемой заготовки и условиями шлифования.

Круги из электрокорунда белого применяют в основном на чистовых и отделочных операциях обработки заготовок из закаленных сталей и инструментов из углеродистых, быстрорежущих, легированных и нержавеющей сталей. Абразивные зерна из электрокорунда белого имеют более высокую износостойкость по сравнению с зернами из электрокорунда нормального, большую хрупкость, в процессе шлифования инструментом из электрокорунда образуется меньшее количество теплоты и поэтому этот абразивный материал

### 13.4. Физико-механические свойства алмазно-абразивных материалов

Абразивный материал	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Насыпная масса шлифпорошка зернистостью 16, г/см <sup>3</sup>	Микротвердость*, кгс/мм <sup>2</sup>	Абразивная способность** порошка зернистостью 16, г/цикл	Теплоустойчивость, °С
Алмаз природный	3,5	1,48	8600—10000	0,77	700—800
Алмаз синтетический			5300—9600	0,7	600—700
Эльбор			8000—10000	0,6	1400—1500
Электрокорунды: нормальный белый	3,9	1,76	1900—2000	0,145	1250—1300
хромистый	3,95	1,73	2000—2100	0,155	1700—1800
титанистый		1,77	2000—2200	0,101	
циркониевый	4,1	1,9	2300—2400	—	1900—2000
монокорунд	3,97	1,99	3300—3600	0,15	1700—1800
Карбид кремния: зеленый	3,2	1,48		0,45	1300—1400
черный			0,4		
Карбид бора	2,5	1,04	4000—4500	0,5	700—800
Сфорокорунд	3,95	—	2000—2100	—	1700—1800
Корунд	4,00	1,75	1900—2200	0,135	1700—1800

\* Измерена с помощью прибора ПМТЗ.

\*\* По стеклу.

используют во всех случаях, где имеется опасность образования трещин и прижогов.

Круги из электрокорунда нормального широко применяют на обдирочных и черновых операциях обработки заготовок из материалов, имеющих высокий предел прочности на растяжение.

Абразивные инструменты из карбида кремния применяют в основном для обработки твердых материалов, так как абразивные зерна имеют более высокую микротвердость и прочность на изгиб по сравнению с зернами из электрокорунда, меньшие радиусы округ-

ления вершин зерен и низкую степень химического взаимодействия с твердыми сплавами и чугунами. Крупнозернистые круги из карбида кремния используют для обработки неметаллических материалов и правки шлифовальных кругов.

Круги из монокорунда используют в основном на получистовых и чистовых операциях обработки заготовок из средне- и высоколегированных сталей, подвергнутых поверхностной обработке (хромированию, азотированию и т. п.).

Круги из хромистых и титанистых электрокорундов обладают более высокими режущими свойствами и выделяют меньше теплоты при шлифовании по сравнению с кругами из обычного и белого электрокорунда. Это позволяет использовать эти инструменты на операциях, где имеется опасность появления прижогов или недостаточная стойкость инструментов (особенно по сохранению профиля рабочей поверхности).

Для заточки твердосплавных лезвийных инструментов, обработки заготовок из твердого сплава, технического стекла и керамики, для обработки камня, бетона, для обработки твердосплавных элементов правящего и бурового инструмента используют круги из природных и синтетических алмазов.

Для обработки труднообрабатываемых инструментальных сталей и сплавов используют эльбор. Рекомендации по выбору некоторых марок шлифовальных материалов приведены в табл. 13.5.

### 13.5. Применение шлифовальных материалов

Материал	Марка	Применение материала в абразивном инструменте
Электрокорунды: нормальный	13А	Инструмент на органической связке для обдирочного шлифования. Обработка незакрепленным зерном
	14А	
	15А	
белый	23А, 24А	Инструмент на керамической и бакелитовой связках для скоростного шлифования, в том числе прецизионный классов АА, А; шлифовальная шкурка
	25А	
	25А	
хромистый	33А	Инструмент на керамической и бакелитовой связках для скоростного шлифования, в том числе прецизионный классов АА, А для скоростного шлифования, обработка труднообрабатываемых сталей и сплавов
	34А	
титанистый	37А	Инструмент на керамической связке; шлифовальная шкурка; обработка незакрепленным зерном
	37А	
циркониевый	38А	Инструменты на керамической связке для обработки сталей
Сфорокорунд	ЭС	Инструменты на бакелитовой связке для обдирочно-скоростного шлифования
		Инструменты на различных связках для обработки мягких и вязких материалов — цветных металлов, резины, пластмассы, кожи и др.

Материал	Марка	Применение материала в абразивном инструменте	
Монокорунд	43А, 44А	Инструмент на керамической связке; шлифовальная шкурка для шлифования труднообрабатываемых сталей и сплавов	
	45А	Прецизионный инструмент на керамической связке; шлифовальная шкурка; обработка незакрепленным зерном	
Карбид кремния черный	53С, 54С, 55С	Инструмент; шлифовальная шкурка; обработка незакрепленным зерном на всех связках для обработки заготовок из чугуна, цветных металлов и сплавов	
Карбид кремния зеленый	63С, 64С	Инструмент на всех связках для обработки заготовок из чугуна, меди, алюминия, камня (гранит, мрамор); шлифовальная шкурка; обработка незакрепленным зерном	
Карбид бора	КБ	Порошки и пасты для доводки заготовок из твердых сплавов и чугунов	
Эльбор	ЛО, ЛП	Инструмент на органической, керамической и металлокерамической связках для шлифования и заточки заготовок и лезвийных инструментов из труднообрабатываемых инструментальных сталей и сплавов; шлифовальная шкурка; абразивные пасты	
Алмаз природный	ЛВМ, ЛПМ	Микрошлифпорошки с высоким и повышенным содержанием основной фракции для абразивных паст	
	А8	Инструмент буровой, для камнеобработки и стройиндустрии, для правки шлифовальных кругов	
	А5	Инструмент на металлической связке, дисковые пилы и инструменты на гальванической связке	
	А3	Инструмент на металлической связке для обработки заготовок из камня, технического стекла, бетона	
	А1, А2	Инструмент на металлической, органической и керамической связках для шлифования твердого сплава, технического стекла, керамики, камня, бетона	
	АМ	Инструмент, пасты и суспензии для доводки и полирования деталей машин и приборов из закаленных сталей, стекла, полупроводниковых и других материалов	
	АМ5	Пасты и суспензии для сверхтонкой доводки и полирования	
	АН	Инструмент, пасты и суспензии для доводки и полирования твердых и труднообрабатываемых материалов, корунда, керамики, алмазов, драгоценных камней и др.	
	Алмаз синтетический	АС2	Инструмент на органических связках для чистовых и доводочных операций при обработке твердого сплава и сталей
		АС4	Инструмент на органических, керамических и металлических связках для сплавов, керамики и других хрупких материалов
АС6		Инструмент на металлических связках для работы при повышенных удельных нагрузках, обработки стекла, керамики и других неметаллических материалов	
АС15		Инструмент на металлических связках для работы в тяжелых условиях: при резке и обработке стекла, шлифовании и полировании камня; резке и обработке железобетона; при хонинговании закаленных чугунов и труднообрабатываемых материалов	
АС20, АС32		Инструмент на металлических связках для работы в тяжелых условиях: при бурении, резке камня, черновом хонинговании, алмазной правке шлифовальных кругов карандашами	

Материал	Марка	Применение материала в абразивном инструменте
Алмаз синтетический	АС50	Инструмент для работы в особо тяжелых условиях: при бурении пород высокой категории крепости, резке гранитов, обработке керамики, кварцевого стекла, корунда и др.
	АРВ1	Инструмент для черного хонингования чугунов, резки стеклопластиков
	АРС3	Инструмент для работы в особо тяжелых условиях при бурении, правке шлифовальных кругов, камнеобработке и в стройиндустрии
	АСМ	Инструмент, пасты и суспензии для доводки и полирования деталей машин и приборов из закаленных сталей, сплавов, керамики, стекла, полупроводниковых материалов
	АСН	Инструмент, пасты и суспензии с повышенной абразивной способностью
	АСМ1	Пасты и суспензии для сверхточной доводки и полирования деталей радиотехнической и электронной промышленности

### 13.3. ЗЕРНИСТОСТЬ ШЛИФОВАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИНСТРУМЕНТОВ

Абразивные материалы, добытые в рудниках, полученные искусственно в электрических печах или синтезированные на специальных установках, в зависимости от их состава и требований к качеству подвергаются операциям сортировки, дробления, измельчения и очистки от посторонних веществ путем химического или магнитного обогащения и термической обработки.

Обогащенное зерно классифицируют по крупности частиц либо путем просеивания через сита специальных установок, либо путем осаждения в жидкости (гидравлическая классификация), если требуется разделить частицы с размерами менее 40 мкм. Зерно представляет собой как совокупности кристаллов и отдельные кристаллы, так и осколки кристаллов, обычно неправильной формы, размером не более 5 мм. Измельченный и классифицированный абразивный материал, предназначенный для абразивной обработки, называется *шлифовальным материалом*.

Шлифовальные материалы из искусственных и природных абразивных материалов в соответствии с ГОСТ 3647-80 делят на четыре группы в зависимости от размера зерен, мкм:

Шлифзерно	2000-160
Шлифпорошки	125-40
Микропорошки	63-14
Тонкие микрошлифпорошки	10-3

Совокупность абразивных зерен шлифовального материала в установленном интервале размеров называют *фракцией*, а преобладающую по массе, объему или числу зерен фракцию называют



основной. Интервал размеров зерен определяют по установленной методике ситовым или микроскопическим методом.

Помимо основной фракции шлифовальный материал содержит зерна, размеры которых могут отличаться от установленного интервала размеров зерен основной фракции. Характеристикой совокупности зерен является зерновой состав шлифовального материала, представляющий совокупность отношений количества абразивных зерен каждой фракции к общему количеству зерен.

Кроме основной различают крупную, предельную и мелкую фракции. *Крупной* называют смежную с основной фракцию, размеры зерен которой превышают размеры зерен основной фракции. *Предельной* называют смежную с крупной фракцию, размеры абразивных зерен которой превышают размеры зерен крупной фракции. *Мелкой* называют фракцию, размеры зерен которой меньше размеров зерен основной фракции.

Условное обозначение шлифовального материала, соответствующее размеру абразивных зерен основной фракции, называют *зернистостью*. В зависимости от группы шлифовальных материалов приняты следующие обозначения зернистости:

шлифзерно и шлифпорошки — 0,1 размера в свету стороны ячейки сита (мкм), на котором задерживаются зерна основной фракции, например 40, 25, 16 (соответственно 400, 250, 160 мкм);

микрошлифпорошки — верхний предел размера зерен основной фракции (мкм) с добавлением индекса М, например М40, М28, М10;

алмазные шлифзерно и шлифпорошки — дробь, у которой числитель соответствует размеру стороны ячеек верхнего сита (мкм), а знаменатель — размеру стороны ячеек нижнего сита основной фракции (мкм), например 400/250, 400/315, 160/100, 160/125;

алмазные микропорошки и субмикропорошки — дробь, у которой числитель соответствует наибольшему (мкм), а знаменатель — наименьшему размеру зерен основной фракции (мкм), например 40/28, 28/20, 10/7;

шлифзерно и шлифпорошки эльбора подразделяются в зависимости от метода контроля: при ситовом методе — 0,1 размера в свету ячеек сита, измеренного в мкм, на котором задерживаются зерна основной фракции, например Л20, Л16, Л10; при микроскопическом методе — аналогично обозначению зернистости алмазных шлифзерна и шлифпорошков, например 250/200, 200/160, 125/100.

Требования к зерновому составу шлифовальных материалов приведены в ГОСТ 3647—80, алмазных порошков общего назначения — в ГОСТ 9206—81, эльбора в зерне — в ОСТ2—МТ 79—2—75. Обобщенные сведения о содержании фракций в различных шлифовальных материалах приведены в табл. 13.6.

**Выбор круга по зернистости** зависит от вида шлифования, требуемой шероховатости поверхности, точности обработки шлифуемого материала и величины снимаемого припуска. Наиболее широко применяют абразивные круги зернистости 40—16, которые обеспечивают высокую производительность при достижении требуемой шероховатости поверхности и точности обработки. Зернистость круга следует

13.6. Зерновой состав шлифовальных материалов

Группа материала	Зернистость	Индекс основной фракции*	Содержание фракций в шлифовальном материале, %			
			предельной	крупной	основной	мелкой
Шлифзерно	200—16	П	0	15	55	2
		Н			45	3
	25—16	Д	0,2	20	41	3,5
Шлиф-порошки	12—4	П	0	15	55	3
	12—18	Н			45	
	6—5			20	40	10
	4				15	
Микрошлифпорошки	М63—М5	В	0,5	12—20	60—55	3—5
		П	1—4	15—25	50—45	5—8
		Н	2—5	20—27	45—40	7—9
	М40—М7		4—6	25—30	43—49	8—11

\* Показывает содержание основной фракции: В — высокое, П — повышенное, Н — нормальное, Д — допустимое.

увеличивать (т. е. применять зернистость более 40—16) в следующих случаях:

- при увеличении припусков на обработку;
- для уменьшения опасности засаливания кругов и появления прижогов на шлифуемой поверхности;
- для повышения производительности шлифования;
- при увеличении окружной скорости шлифовального круга;
- при увеличении вязкости и уменьшении твердости шлифуемого материала.

При выборе зернистости алмазных кругов можно пользоваться следующими рекомендациями: для предварительного шлифования — 200/160—100/80 (марок АС4, АС6); для чистового шлифования — 80/63—50/40 (марок АС2, АС4); для доводки — 40/28 и мельче.

В случае, когда предварительное и окончательное шлифование производятся одним кругом, следует применять круги зернистостью 100/80—63/50 с алмазами марок АС4 и АС6.

В табл. 13.7 приведены области применения инструментов различной зернистости.

### 13.7 Применение абразивных инструментов различной зернистости

Зернистость инструментов		Область применения
абразивных	алмазных	
Меньше 1 мкм M40-M5	1/0	Доводка особо точных заготовок
	40/28-5/3	Окончательная доводка заготовок с точностью 3-5 мкм и менее, параметром шероховатости $Ra$ 0,16-0,01 мкм; суперфиниширование; окончательное хонингование; резбобшлифование с мелким шагом
8; 6	63/50-50/40	Доводка режущего инструмента; резбобшлифование с мелким шагом резбь; отделочное шлифование заготовок из твердых сплавов, металлов, стекла и других неметаллических материалов; чистовое хонингование
12; 10	125/100-80/63	Алмазное чистовое шлифование; заточка режущих инструментов; отделочное шлифование заготовок с параметром шероховатости $Ra$ 0,63-0,16 мкм; предварительное хонингование
25; 20; 16	200/100-125/100	Чистовое шлифование заготовок; заточка режущих инструментов; предварительное алмазное шлифование; шлифование фасонных поверхностей с параметром шероховатости $Ra$ 1,25-0,16 мкм; шлифование хрупких материалов
40; 32	315/250-250/200	Предварительное и окончательное шлифование заготовок с параметром шероховатости $Ra$ 2,5-0,32 мкм; заточка режущих инструментов
50; 63	-	Предварительное круглое наружное, внутреннее, бесцентровое и плоское шлифование с параметром шероховатости поверхности $Ra$ 5-0,63 мкм; отделка металлов и неметаллических материалов; шлифование вязких материалов; заточка крупных и средних резцов; отрезка заготовок; правка шлифовальных кругов
125; 100; 800	-	Правка шлифовальных кругов; ручные обдирочные операции; зачистка заготовок, сварных швов, литья, проката, штамповок

### 13.4. СТРУКТУРА АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

В абразивных инструментах различают несколько основных фаз: абразивную, занимаемую абразивными зёрнами; связующую, занимаемую связкой; газообразную, занимаемую порами. В некоторых инструментах имеется дополнительная фаза, занимаемая наполнителями. Содержание каждой фазы выражают в долях объема (объемная фазовая характеристика) или массы (массовая фазовая характеристика). Массовыми характеристиками пользуются при изготовлении абразивных паст. Долю объема или массы, которую занимает та или иная фаза в инструменте, обычно выражают в процентах от общего объема или массы инструмента (рис. 13.2).

Соотношение объемов шлифовального материала, связки и пор в абразивном инструменте называется его *структурой*. Объемное содержание абразивной фазы в инструменте принято характеризовать для инструментов из обычных абразивных материалов номером струк-

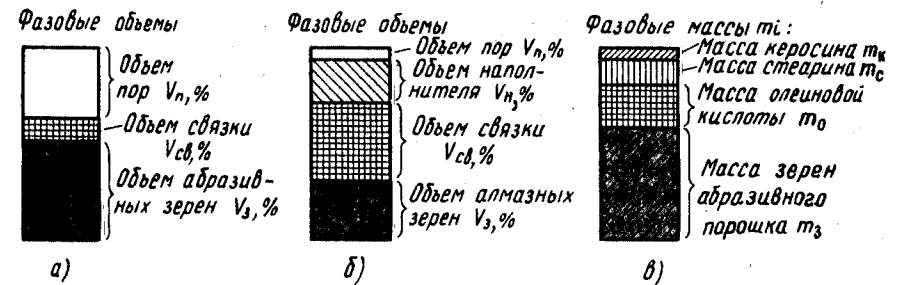


Рис. 13.2. Фазовый состав абразивных инструментов и паст:  
а — инструменты из обычных абразивов, б — инструменты из алмаза и эльбора, в — доводочная паста

туры (табл. 13.8). Структура обозначается номерами от 0 до 20. Чем меньше зерен в единице объема, тем выше порядковый номер структуры для традиционных абразивных инструментов. С увеличением структуры на один номер объем зерна в круге уменьшается на 2%, а объем связки соответственно увеличивается на 2%.

### 13.8. Объемная концентрация абразивных зерен в инструментах

Показатель	Структура										
	плотная		средняя		открытая		очень открытая				
Объемное содержание зерен в инструменте, %	62	60; 58; 56; 54	52	50	48; 46	44; 42; 40	38	36; 34; 32; 30; 28; 26	25	24; 22	18,8; 12,5; 6,25
Обозначение номера структуры инструментов из обычных абразивов	0	1; 2; 3; 4	5	6	7; 8	9; 10; 11	12	13; 14; 15; 16; 17; 18	19; 20		
Обозначение относительной концентрации зерен в алмазных и эльборовых инструментах (в условных %)	250		200		150		100				75; 50; 25

Содержание абразивного порошка из алмазов и эльбора, равномерно распределяемого в объеме, характеризуется относительной концентрацией (см. табл. 13.8). Действительное содержание алмазов в инструменте в 4 раза меньше, чем количественное обозначение концентрации зерен. Применяют круги 25, 50, 100 и 150%-ной относительной концентрации. В 1 мм<sup>3</sup> алмазоносного слоя таких кругов разной относительной концентрации содержится следующее количество алмаза (мг):

Для кругов с 25%-ной концентрацией	0,22
» » » 50%-ной	0,44
» » » 100%-ной	0,88

При 100%-ной относительной концентрации алмазный порошок фактически занимает только 1/4 часть (25%) объема круга, а остальные 75% приходятся на долю связки с наполнителем и поры.

Абразивные инструменты плотной структуры (0—3), имеющие очень тесное расположение зерен и малые поры, применяются ограниченно, главным образом для доводки (рис. 13.3, а). Открытая структура (9—12) характеризуется большим расстоянием между соседними абразивными зернами (рис. 13.3, б). Шлифовальные круги с открытой структурой позволяют лучше отводить срезаемую стружку и работать на повышенных режимах. Однако круги открытой структуры обладают меньшей прочностью.

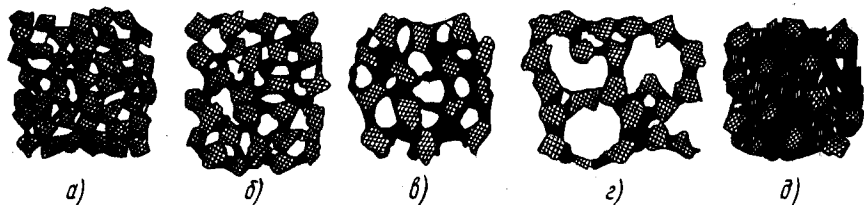


Рис. 13.3. Относительное расположение абразивных зерен, связки, наполнителя и пор в кругах разной структуры при постоянной пористости ( $V_n = 36\%$ ) и твердости С2: а — структура 3 ( $V_3 = 56\%$ ,  $V_c = 8\%$ ), б — структура 8 ( $V_3 = 46\%$ ,  $V_c = 18\%$ ), в — структура 16 ( $V_3 = 30\%$ ,  $V_c = 34\%$ ), г — структура 16 с выгорающим наполнителем ( $V_3 = 30\%$ ,  $V_c = 34\%$ ), д — при относительной концентрации алмаза 100% с мелкозернистым наполнителем при малой пористости ( $V_3 = 25\%$ ,  $V_c = 25\%$ ,  $V_n = 5\%$ )

В последнее время широкое применение находят высокопористые круги, величина пор у которых в поперечнике обычно больше, чем размеры абразивных зерен; поверхность такого круга напоминает по своему строению губку (рис. 13.3, в, г). Поры такой величины получаются в результате выгорания при термической обработке добавок (древесные опилки, мука, молотый уголь, пластмассы, бисер сополимера и т. д.), которые вводятся в формовочную массу перед прессованием в виде наполнителей. Высокопористые круги в основном предназначены для шлифования мягких и вязких материалов (резина, кожа, дерево, пластмассы и т. д.), так как повышенная пористость создает лучшие условия для размещения стружки и она меньше застревает в порах круга.

Рекомендуемые номера структур для абразивного инструмента различной зернистости:

Зернистость абразивного инструмента	125—80	50—40	25—12
Структура	3—4	5—6	6—7

При маркировке кругов по ГОСТ 16181—82 вместо обозначения относительной концентрации в процентах применяют сокращенное обозначение цифрами: 1(25%); 2 (50%); 3 (75%); 4 (100%); 5 (125%); 6 (150%).

Из табл. 13.8 видно, что алмазные и эльборовые круги имеют очень малое процентное содержание абразивных зерен по сравнению с обычными абразивными инструментами. Поэтому при изготовлении таких кругов в связующее вещество вводят различные наполнители, которые в отличие от высокопористых кругов остаются в композиции, улучшая ее физико-механические свойства (рис. 13.3, д).

**Выбор круга по структуре.** В большинстве случаев применяют круги, имеющие структуры 5—8. В табл. 13.9 приведены рекомендации по выбору структуры кругов.

13.9. Применение кругов различной структуры

Структура	Область применения
1—3	Шлифование заготовок с малым съемом металла кругами на бакелитовой и керамической связках (преимущественно при обработке некоторых деталей шарикоподшипников)
3—4	Профильное шлифование; шлифование твердых и хрупких материалов с малой шероховатостью поверхности, доводка; шлифование с большими подачами или переменной нагрузкой; отрезные работы
5—6	Почти все виды шлифования (круглое наружное, бесцентровое, плоское шлифование периферией круга) металлов с высоким сопротивлением разрыву
7—8	Шлифование вязких металлов с низким сопротивлением разрыву; плоское шлифование торцом круга; внутреннее шлифование; заточка инструментов
9—12	Скоростное шлифование для уменьшения теплообразования. Профильное шлифование мелкозернистыми кругами; шлифование резьбы
14—16	Шлифование неметаллических материалов и металлов с низкой теплопроводностью (устранение прижогов и трещин)

### 13.5. СВЯЗКА АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Материал или совокупность материалов, применяемых для закрепления абразивных зерен в абразивном инструменте, называют *связкой*. Механизм закрепления зависит от характера взаимодействия связки с зернами. В зависимости от химического состава и физических свойств входящих в связку материалов различают органические, минеральные (керамические) и металлические связки.

К органическим связкам относятся бакелитовая, вулканитовая, эпоксидная, глифталева и др. Для бакелитовой связки в качестве связующего компонента используют порошкообразный или жидкий бакелит с соответствующими наполнителями и увлажнителями. Основным компонентом вулканитовой связки является синтетический каучук. Введение в связку различных наполнителей и ускорителей вулканизации позволяет изменять технологические и эксплуатационные свойства абразивных инструментов. Глифталева смола используется в качестве связки для инструментов из карбида кремния зеленого зернистостью 6—М14, применяемых при полировании, а вспененный поливинилформаль — для порошковых кругов, объем пор в которых равен 80%.

Инструмент на бакелитовых связках обладает более высокой прочностью на сжатие по сравнению с керамикой. Круги на бакели-

товой связке, армированные стеклосеткой, работают на очень высоких скоростях (80 м/с и более). При достаточно длительном воздействии температуры 250–300°C бакелитовая связка выгорает, при 200°C и выше становится хрупкой и круги быстро срабатываются. При действии щелочных растворов бакелитовая связка разлагается, поэтому поверхность кругов на бакелитовой связке покрывают водонепроницаемой краской, лаком, суриком, серой или пропитывают парафином. Концентрация щелочного раствора, применяемого для охлаждения бакелитовых кругов, не должна превышать 1,5%. Работа кругами на бакелитовой связке часто ведется без охлаждения. Бакелитовая связка имеет три основные разновидности: пульвербакелит (Б, Б1), жидкий бакелит (Б2) и специальная (Б3), которая используется для профильных кругов при резьбошлифовании и для тонких отрезных кругов. Круги на бакелитовой связке обладают высокой прочностью и упругостью (модуль упругости связки в 20–50 раз меньше, чем у стали).

Вулканитовая связка по сравнению с другими видами связки более плотная и упругая, что вызывает повышенный нагрев обрабатываемой заготовки. Теплостойкость каучука низкая (150–180°C). Создать большие давления при шлифовании кругами на вулканитовой связке нельзя, так как зерна утапливаются в связку. Упругость связки позволяет создавать очень тонкие отрезные круги при значительном диаметре (десятые доли миллиметра по толщине при диаметре 150–200 мм). Вулканитовую связку выпускают нескольких разновидностей: В, В1, В2, В3. В связке В1 используют синтетический каучук, а круги формируют прокаткой на вальцах. Связку В2 используют в профильных кругах для шлифования резьб с малым шагом.

Абразивные инструменты на вулканитовой связке, имеющие большие упругость и плотность, хорошую водоупорность, но обладающие несколько меньшей прочностью и теплостойкостью, широко применяют при отрезании и шлифовании для получения малой шероховатости поверхности.

Керамические связки являются многокомпонентными смесями огнеупорной глины, полевого шпата, борного стекла, талька и других минеральных материалов, составленными по определенному рецепту с добавками клеящих веществ — растворимого стекла, декстрина и др. Спекующиеся керамические связки К2, К3 используют для закрепления зерен из карбида кремния. В процессе термической обработки они частично расплавляются и по своему состоянию и составу становятся близки к фарфору или стеклу. Плавящиеся керамические связки К1, К5, К8 обеспечивают прочное закрепление зерен из электрокорундовых материалов.

Недостатком керамической связки является ее высокая хрупкость, более сложный и длительный цикл изготовления инструментов, состоящий из приготовления связки, затем приготовления формовочной массы, формования, термической и механической обработки и испытаний. Формование абразивных инструментов в основном осуществляется прессованием в специальных пресс-формах. При термической обработке происходит окончательное скрепление абразивных зерен и придание инструментам определенных свойств. Круги на

керамической связке обладают высокой прочностью, теплостойкостью, жесткостью (табл. 13.10), имеют универсальное применение и используются для разнообразных шлифовальных операций. Однако из-за повышенной хрупкости их не применяют при ударной нагрузке и малой высоте круга. Тонкие круги (толщиной менее 3 мм) легко ломаются от боковой нагрузки. Выпуск абразивного инструмента на керамической связке составляет 50–60% от общего объема производства, на бакелитовой — 30–39%, на вулканитовой — 4–7% и на других связках — не более 1–2% (табл. 13.11).

13.10. Механические свойства абразивных кругов на различных связках

Параметр	Связка		
	керамическая	бакелитовая	вулканитовая
Предел прочности, Па: при:			
растяжении	30–50	30–35	46
сжатии	70–90	150	70–85
изгибе	45–60	60	80–100
Ударная вязкость, МДж/м <sup>2</sup>	0,12–0,5	0,5–0,6	1–1,5
Модуль упругости, 10 <sup>3</sup> МПа	50–85	4–10	1–4
Температура размягчения, °С	500–700	100–120	80–100
Плотность, 10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>	2,2–2,8	1,2–1,4	1–1,4

13.11. Связки для абразивных инструментов

Связки	Область применения
Керамические (К1, К2, К3, К4, К5, К6, К7, К8, К10)	Инструмент для всех основных видов шлифования, кроме прорезания узких пазов, а также обдирочного шлифования (К2, К3 — инструмент из карбида кремния; К2 — инструмент мелкозернистый; К1, К5, К8 — инструмент из электрокорунда)
Бакелитовые (Б, Б1, Б2, Б3, Б4, БУ, Б156, БП2)	Круги с упрочненными элементами для шлифования при скорости круга 65, 80 и 100 м/с; круги для скоростного, высокоскоростного и обдирочного шлифования, плоского шлифования торцом круга, отрезания, заточки режущих инструментов, шлифования прерывистых поверхностей; мелкозернистые круги для отделочного шлифования; алмазные и эльборовые круги; хонинговальные бруски, шлифовальные сегменты (в том числе для работы со скоростью 80 м/с)
Вулканитовые и другие органические (В, В1, В2, В3, В5, ГФ, ПФ, З5, Э6)	Ведущие круги при бесцентровом шлифовании; гибкие круги для полирования и отделочного шлифования (на связке В5); отрезные круги; круги для подрезания и шлифования пазов; круги для некоторых чистовых операций, профильного шлифования (сферошлифования и др.); шлифовальные круги (на связке Б3), изготовленные методом прессования; гибкие плиты (на связке В5); полировальные высокопористые круги (на связке ПФ); тонкозернистые круги для окончательного полирования (на глифталевой связке с графитовым наполнителем), инструмент для доводочного шлифования; абразивные шеверы (на эпоксидной связке)

Металлические связки представляют собой сплавы меди, олова, цинка, алюминия, никеля и других элементов и используются в основном для алмазных инструментов.

Алмазные и эльборовые круги состоят из корпуса и абразивного слоя в виде кольца. Корпус обычно изготавливают из алюминиевых сплавов АК6 и Д16, пластмасс или сталей Ст3, 20, 25, 30. Абразивный слой состоит из алмазного или эльборового порошка, связки и наполнителя. Толщина абразивного слоя зависит от связки, закрепляющей зерна, и может колебаться от нескольких десятых долей миллиметра до нескольких миллиметров (у большинства кругов она находится в пределах 1,5–3 мм). Алмазные и эльборовые круги в настоящее время изготавливают на четырех основных связках: органической, керамической, металлической порошковой или гальванической.

Из органических связок основной является бакелитовая, состоящая из связующего вещества — фенолформальдегидной смолы и различных наполнителей, объемное содержание которых в зависимости от различной концентрации алмазов составляет от 37,5 до 12,5%. В качестве наполнителя в бакелитовых связках используют абразивные материалы (связки Б1, Б3 и Б4), металлические порошки (связка Б2) или более сложные композиции (связки ТО2, БП2, Б156, Б8 и др.). Алмазные круги на бакелитовой связке обладают хорошими режущими свойствами, что позволяет работать с небольшими силами резания. Малое количество образующейся при шлифовании теплоты создает благоприятные условия для шлифования без охлаждения, поэтому эти круги широко используют при заточке многолезвийного инструмента, когда применение охлаждения не позволяет заточнику наблюдать за зоной шлифования.

Круги на керамической связке обладают наиболее высокими режущими свойствами и в основном предназначены для одновременной обработки режущей части и корпуса инструментов из твердого сплава со стальными державками или корпусами, а также для обработки некоторых высоколегированных сплавов и материалов.

Металлическую порошковую связку применяют в кругах, предназначенных для алмазной обработки при сравнительно невысоких требованиях к шероховатости поверхности (обычно  $Ra > 0,63$  мкм). Удельный износ алмаза и изменение размеров по профилю у кругов на металлической связке значительно меньше, чем на бакелитовой. Однако в процессе шлифования возникают сравнительно большие силы и работа без охлаждения невозможна.

Алмазные круги на металлической связке выбирают для шлифования твердосплавных деталей штампов, посадочных матриц, заточки твердосплавного инструмента и других видов шлифования, а также для обработки драгоценных и полудрагоценных камней, ферритов, керамики, стекла и т. п.

В кругах на никелевой связке используют метод гальванического закрепления алмазных зерен на металлический корпус той или иной конфигурации. Алмазные зерна могут закрепляться в один или несколько слоев.

Большое разнообразие связок для абразивных инструментов из

сверхтвердых материалов позволяет дифференцированно учитывать виды обработки и обрабатываемых материалов, технологические требования к качеству обработанных деталей, себестоимость обработки, особенности шлифовальных материалов разных марок. Рекомендации по выбору связок для алмазных кругов приведены в табл. 13.12.

13.12. Связки для алмазных кругов

Связки	Область применения
Органические с металлическим наполнителем (Б156, БП2, ТО2)	Шлифовальные круги для шлифования, заточки твердосплавного инструмента, профильного шлифования заготовок твердосплавных и керамических деталей
Органические с минеральными наполнителем (Б1, 01)	Круги для заточки твердосплавного инструмента без СОЖ, шлифования заготовок твердосплавных деталей
Органические для алмазов без покрытия (Б3, Б1, БР, Р9, Р14Е)	Инструменты для полирования, доводки шлифования и заточки твердосплавного инструмента
Металлические, обеспечивающие повышенную производительность (МВ1, ПМ1)	Инструменты для глубинного шлифования и заточки твердосплавного инструмента и шлифования деталей из твердых сплавов
Металлические повышенной стойкости (М1, МК, М15)	Инструменты для шлифования, профильного шлифования заготовок и заточки инструмента из твердого сплава
Гальваническая никелевая	Инструмент для врезного шлифования профильными кругами
Керамическая (К1)	Круги для шлифования и заточки инструментов (обработка твердого сплава совместно со сталью)
Токопроводящая органическая (БП3)	Инструмент для электрохимического шлифования заготовок из твердых сплавов, молибденовых, вольфрамовых и других специальных сталей и сплавов, для электроабразивной заточки лезвийных режущих инструментов

### 13.6. ТВЕРДОСТЬ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Величину, характеризующую свойство абразивного инструмента сопротивляться нарушению сцепления между зернами и связкой при сохранении характеристик инструмента в пределах установленных норм, называют *твердостью абразивного инструмента*. Это свойство абразивного инструмента оценивают определенными показателями, которые выбирают в зависимости от метода оценки твердости. Установлены шкала степеней твердости инструмента, их условные обозначения (табл. 13.13). Этой шкале соответствуют условные значения показателей твердости.

Чем выше твердость абразивного инструмента, тем прочнее связь между абразивными зернами в инструменте, тем большие силы способны они воспринять без выкрашивания. Чем выше твердость, тем меньше размеры пор, больше связки, зерно прочнее удерживается в круге, т. е. большую силу надо приложить для его вырывания. Поэтому более твердые круги изнашиваются меньше. Мягкими abra-

13.13. Твердость абразивных инструментов

Степень твердости круга	Обозначение		
	общее	в зависимости от связки	
		керамической и бакелитовой	вулкани-товой
Весьма мягкий	BM	BM1, BM2	
Мягкий	M	M1, M2, M3	
Среднемягкий	CM	CM1, CM2	
Средний	C	C1, C2	C
Среднетвердый	CT	CT1, CT2, CT3	CT
Твердый	T	T1, T2	T
Весьма твердый	BT		
Чрезвычайно твердый	CT	CT	

Примечание. Цифры 1, 2, 3 справа от буквенного обозначения степени твердости характеризуют возрастание твердости абразивного инструмента внутри степени.

живными инструментами в отличие от твердых называют такие инструменты, в которых абразивные зерна удерживаются слабо.

Твердость абразивных инструментов зернистостью 125–16 определяют на пескоструйном приборе измерением глубины лунки, образующейся на поверхности инструмента под действием струи кварцевого песка, выбрасываемого из рабочей камеры прибора сжатым воздухом под давлением 0,15 МПа. С увеличением твердости абразивного инструмента глубина лунки, полученная на пескоструйном приборе, уменьшается.

Твердость абразивных инструментов на бакелитовой связке, создающей незначительную объемную пористость, можно измерять путем внедрения другого твердого тела под действием заданной нагрузки с помощью специальных приборов, называемых твердомерами.

Твердость абразивных инструментов зернистостью 12–M14, а также алмазных и эльборовых кругов определяют на приборе Роквелла путем вдавливания стального шарика диаметром 5 или 10 мм в тело инструмента под действием нагрузки 981 или 1471 Н. Затем измеряют глубину (образовавшейся после вдавливания шарика) лунки.

Наиболее существенным фактором, определяющим силы сцепления между зерном и связкой в инструментах на бакелитовой связке, является степень полимеризации смолы при изготовлении кругов. При частичной полимеризации удерживающая способность связки ниже и круги по степени твердости относятся к мягким.

Твердость абразивных инструментов зависит от количества и качества связки, вида абразивного материала, степени шероховатости и конфигурации абразивных зерен и технологического процесса изготовления инструмента (давления, режима термической обработки и т. д.).

Определенной твердости круга соответствует определенный объем пор независимо от номера структуры (рис. 13.4). Процентный объем

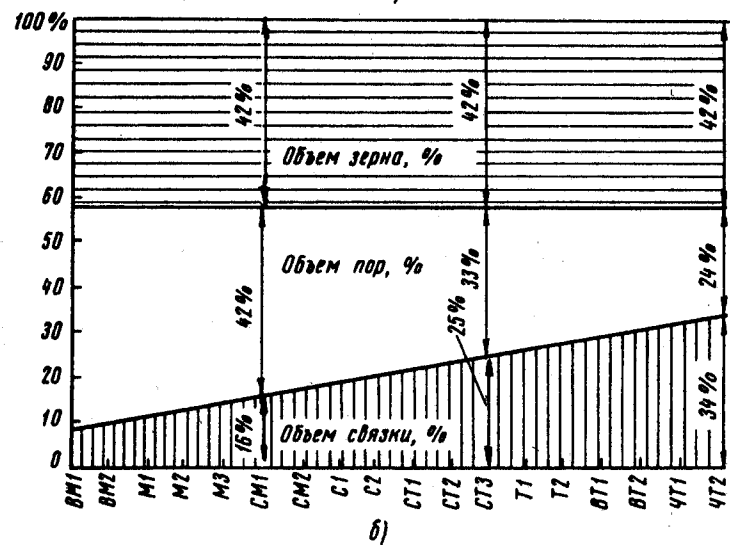
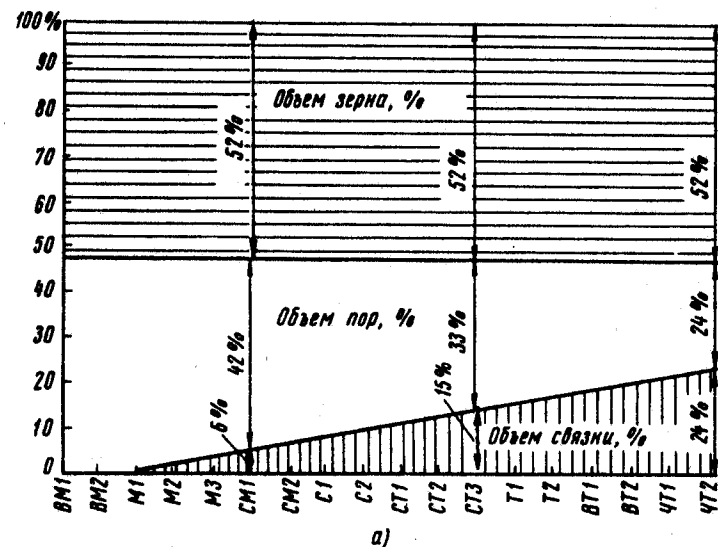


Рис. 13.4. Соотношение между объемом абразивных зерен, пор и связки (в процентах от общего объема) в кругах разной степени твердости для структур 5 (а) и 10 (б)

пор в абразивном инструменте на керамической связке различных степеней твердости:

Твердость абразивного инструмента	M1	M2	M3	CM1	CM2	C1	C2	CT1	CT2	CT3
Объем пор, %	46,5	45,0	43,5	42	40,5	39	37,5	36	34,5	33

Абразивный инструмент на керамической связке выпускают всех степеней твердости, на бакелитовой — от СМ1 до Т1, на вулканитовой — без указания степеней твердости. Допускается отклонение твердости инструмента на керамической и бакелитовой связках в пределах одной степени для инструментов класса А и в пределах двух степеней — класса Б.

Выбор круга по твердости зависит главным образом от вида шлифования, точности размера и формы деталей, физико-механических свойств обрабатываемого материала, типа станка. В большинстве случаев применяют круги средней степени твердости, обеспечивающие высокую производительность и большую стойкость. Некоторые общие рекомендации по выбору твердости кругов приведены в табл. 13.14.

13.14. Применение кругов различной твердости

Степень твердости	Область применения
Мягкие и среднемягкие М2—СМ2	Плоское шлифование торцом круга (на бакелитовой связке), периферией круга (на керамической связке); шлифование заготовок и заточка инструментов из твердых сплавов, минералокерамики и закаленных углеродистых и легированных сталей; шлифование цветных металлов и сплавов
Среднемягкие и средние СМ2—С2	Чистовое (круглое, бесцентровое, внутреннее, плоское периферией) шлифование заготовок из закаленных сталей; шлифование резьб с крупным шагом; заточка инструментов
Средние и среднетвердые С2—СТ2	Шлифование (круглое, бесцентровое, профильное, резьбошлифование) заготовок из незакаленных углеродистых и легированных сталей и сплавов, чугуна и других вязких металлов и материалов; плоское шлифование сегментами; хонингование брусками
Среднетвердые и твердые СТ2—Т2	Обдирочное и предварительное шлифование, шлифование профильное, прерывистых поверхностей, заготовок малого диаметра; снятие заусенцев на поковках и литье; отрезка; бесцентровое шлифование; хонингование закаленных сталей
Весьма твердые и чрезвычайно твердые ВТ—ЧТ	Правка шлифовальных кругов методом обкатки и шлифования; шлифование деталей приборов с малым съемом материала (часовые механизмы); шлифование шайб для подшипников

При выборе степени твердости кругов для конкретных условий шлифования необходимо учитывать следующие положения:

при работе на станках с высокой жесткостью и виброустойчивостью нужно использовать более мягкие круги, чем на нежестких станках;

при шлифовании периферией круга используют более твердые круги, чем при шлифовании торцом;

при бесцентровом, внутреннем и плоском шлифовании применяют более мягкие круги, чем при круглом наружном шлифовании;

при профильном шлифовании, резьбошлифовании, шлифовании прерывистых поверхностей и заготовок малых диаметров, точном

шлифовании цилиндрических поверхностей, ограниченных галтелями с жестким допуском на радиус, используют более твердые круги;

при шлифовании с применением смазочно-охлаждающих жидкостей применяют более твердые круги, чем при шлифовании без них;

при замене керамической связки на бакелитовую, электрокорунда нормального на электрокорунд белый, электрокорунда белого на монокорунд, крупнозернистых кругов на мелкозернистые следует повысить твердость круга на одну-две степени;

для устранения опасности появления прижогов и трещин следует применять более мягкие круги.

### 13.7. КЛАССЫ ТОЧНОСТИ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

В зависимости от величин, характеризующих абразивный инструмент в нормативно-технической документации по предельным отклонениям размеров, формы и расположения поверхностей, устанавливают классы точности абразивного инструмента.

Шлифовальные круги изготовляют трех классов точности — АА, А и Б. Для кругов класса точности Б используют шлифовальные материалы со всеми индексами, характеризующими содержание основной фракции: В, П, Н и Д, для кругов класса точности А — только с индексами В, П и Н, для кругов класса точности АА — только с индексами В и П, т. е. с высоким и повышенным (до 55% при зернистости 200—4) содержанием основной фракции.

Предельные отклонения зависят от номинальных размеров инструментов по наружному диаметру  $D$ , высоте  $H$ , диаметру  $d$  посадочного отверстия. Контроль размеров абразивного инструмента осуществляют с использованием универсальных измерительных инструментов и специальных калибров, шаблонов. Для обнаружения трещин инструмент подвергают простукиванию: круги с трещинами издадут дребезжащий звук. Инструмент с массой до 30 кг перед простукиванием надевают на металлический или деревянный стержень.

### 13.8. КЛАССЫ НЕУРАВНОВЕШЕННОСТИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

Состояние шлифовального круга, характеризующееся таким распределением масс, которое во время вращения вызывает переменные нагрузки на опорах шпинделя станка и его изгиб, называется неуравновешенностью круга. Неуравновешенной точечной массой круга называют условную массу, радиус-вектор (эксцентриситет) которой относительно оси посадочного отверстия равен радиусу наружной поверхности (периферии). В зависимости от допустимых неуравновешенных масс для шлифовальных кругов на керамической, бакелитовой, вулканитовой и специальных органических связках установлено четыре класса неуравновешенности шлифовальных кругов, обозначаемых цифрами 1, 2, 3 и 4 по ГОСТ 3060—86.

При условном обозначении кругов после класса точности круга указывают класс неуравновешенности; например, обозначение

35 м/с А 1 кл. соответствует кругу с рабочей скоростью 35 м/с, класса точности А, 1-го класса неуравновешенности. При маркировке указание на единицу СИ (м/с) и классы (кл.) может опускаться, например допускается обозначение типа 35 А1.

### 13.9. МАРКИРОВКА ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

На одной из сторон шлифовального круга водостойкой краской наносят условное обозначение, называемое маркировкой круга. Для инструментов диаметром менее 40 мм характеристика наносится на этикетке, наклеиваемой на коробку.

Маркировка круга должна содержать: код круга по общесоюзному классификатору продукции (ОКП); сокращенное наименование завода-изготовителя или его товарный знак (марку); типоразмер круга по ГОСТ 2424-83 (на кругах диаметром 250 мм и более); марку шлифовального материала; зернистость и ее индекс; степень твердости; номер структуры; марку связки (на кругах диаметром 50 мм и более, кроме кругов ЧК50 × 25 мм); рабочую окружную скорость (для кругов диаметром 150 мм и более); класс точности инструмента; класс неуровненности (на кругах диаметром 250 мм и более и высотой 6 мм и более); номер маршрутного листа.

Круги для скоростного шлифования должны иметь на торце по диаметру одну красную полосу (для скоростей 50 м/с) или две красные полосы (для скоростей 65 м/с при внутреннем шлифовании). На высокопористых кругах наносят дополнительные обозначения для зернистости наполнителя.

При маркировке условные обозначения располагают в определенной последовательности (рис. 13.5; 13.6). Иногда делают сокращенную маркировку шлифовальных кругов, приведенную ниже.

Маркировка	Расшифровка маркировки
44А 40 С2 6 К5	Монокорунд 44А, зернистость 40, твердость С2, структура 6, связка керамическая К5.
63С 16 СМ1 5 К3	Карбид кремния зеленый 63С, зернистость 16, твердость СМ1, структура 5, связка керамическая К3
24А 12 С В	Электрокорунд белый 24А, зернистость 12, твердость С, связка вулканитовая В
54С 80 СТ2 Б	Карбид кремния черный 54С, зернистость 80, твердость СТ2, связка бакелитовая Б

Выбор характеристики кругов для заточки и шлифования режущих инструментов проводят с учетом рекомендаций (табл. 13.15). Приведенные общие рекомендации по выбору характеристики абразивных и алмазных кругов на практике должны уточняться в зависимости от условий и режима работы. Приходится учитывать большое количество различных факторов, в частности вид шлифования, конструкцию и габариты шлифуемой детали и используемого оборудования, марку и физико-механические свойства обрабатываемого материала, величину припуска и требования к шероховатости и точности обрабатываемых поверхностей, размеры зоны контакта и т. п.

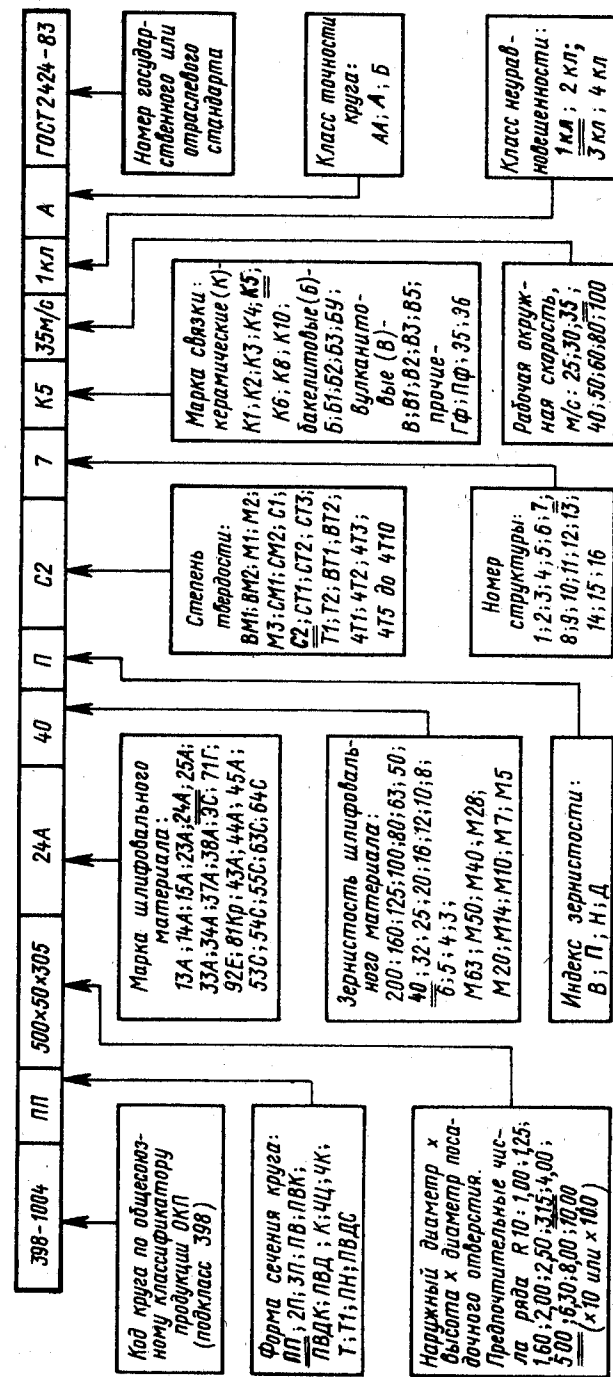


Рис. 13.5. Условное обозначение характеристики шлифовального круга и схема расшифровки



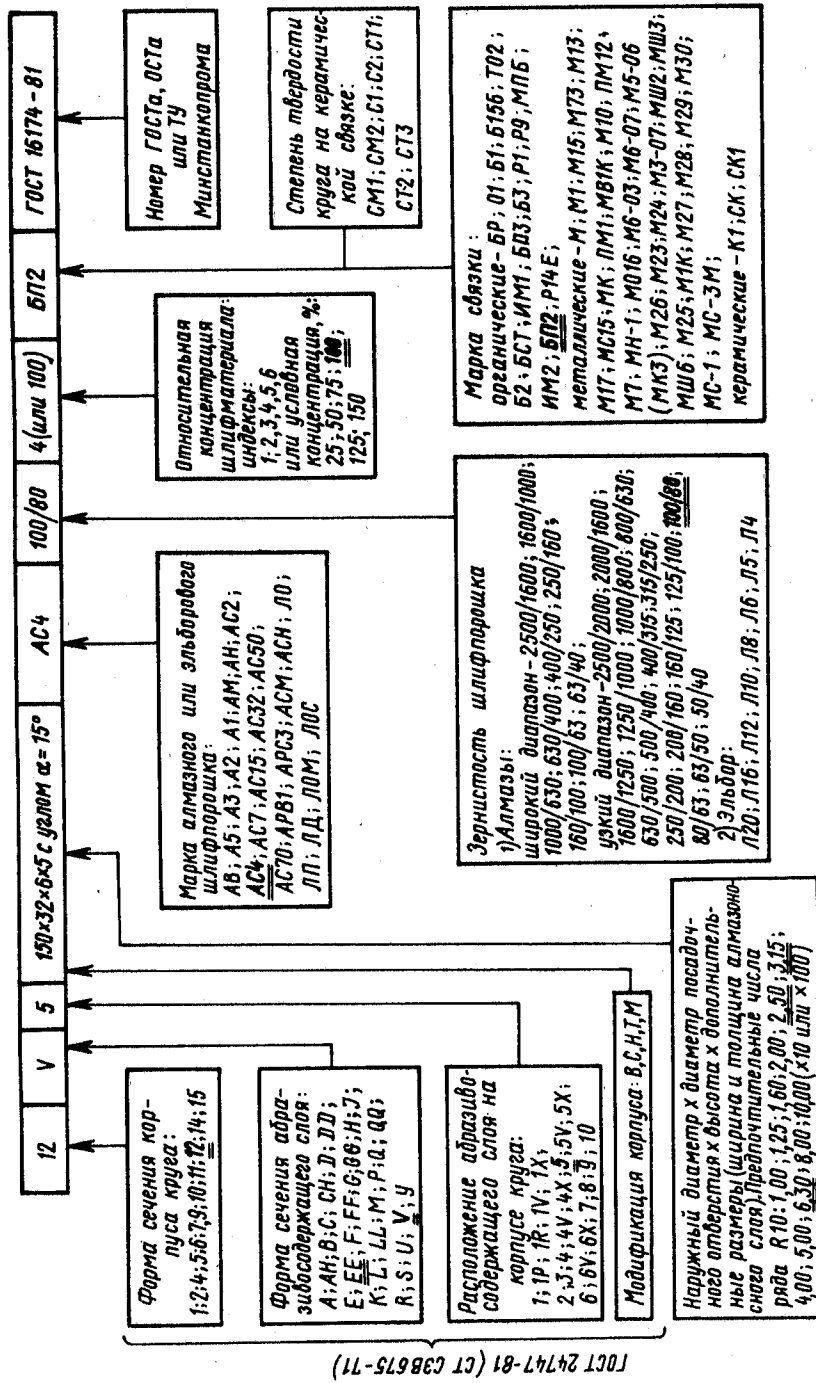
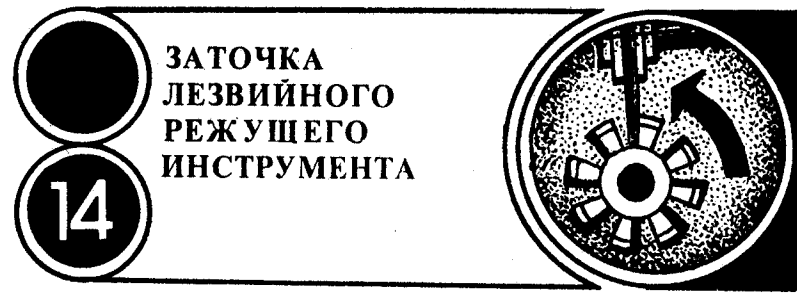


Рис. 13.6. Условное обозначение характеристики алмазного или эльборового круга и схема расшифровки

13.15. Выбор характеристики абразивных инструментов для заточки и шлифования режущих инструментов

Инструментальный материал	Вид лезвийного инструмента или шлифуемой заготовки	Вид абразивной обработки	Характеристика абразивного инструмента				
			Материал	Зернистость	Твердость	Структура или относительная концентрация зерен	Связка
Твердый сплав	Резцы, фрезы, развертки, сверла и другие инструменты, оснащенные твердым сплавом	Заточка предварительная	63С, 64С	25-40	СМ1-СМ2	5-8	К2, К3
			63С, 65С	16-25	СМ2-С2	-	Б, Б2
Быстрорежущая сталь	Резцы, фрезы, развертки, сверла, протяжки и т. д.	Заточка предварительная	63С, 64С		100/80-50/40	М3-СМ1	5-6
			АС4, АС6	СМ1-СМ2		-	Б, Б2
Быстрорежущая сталь	Резцы, фрезы, развертки, сверла, протяжки и т. д.	Доводка	АС2, АС4	125/100, 100/80	-	100%	М1, ТМ2, Б156
			64С, 63С	5-8	СМ2-С1	50-100%	Б1, Б156
Быстрорежущая сталь	Резцы, фрезы, развертки, сверла, протяжки и т. д.	Заточка предварительная	25А, 24А, 23А	25-40	СМ2-С1	-	Б, Б2, Б1
			43А, 44А, 45А		М3-СМ1	5-8	К1, К5, К8
							К5

Инструментальный материал	Вид лезвийного инструмента или шлифемой заготовки	Вид абразивной обработки	Характеристика абразивного инструмента				Связка
			Материал	Зернистость	Твердость	Структура или относительная концентрация зерен	
Быстрорежущая сталь	Резцы, фрезы, развертки, сверла, протяжки и т. д.	Заточка окончатая	25А, 24А, 23А	16-25	СМ1-СМ2	5-6	К1, К5
			Л0	10-16 5-8	-		100%
Инструментальная углеродистая сталь	Резцы, развертки, сверла и т. п.	Заточка предварительная	64С, 63С	5-6	СМ2-С1	-	Б, Б1
			25А, 24А, 23А	25-40	СМ2-С1		К1, К5 К8
Сталь конструкционная	Державки, корпуса	Заточка окончатая	43А, 44А, 45А		16-25	М3-СМ1	5-6
			25А 24А, 23А	СМ1-СМ2		К1, К5	
		Шлифование, заточка по задней поверхности инструмента	15А	40-50	С1-С2		К1, К8



#### 14.1. КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЗАНИЯ

Обработка заготовок резанием осуществляется режущими инструментами и заключается в проникновении лезвия инструмента в материал заготовки с последующим отделением слоя материала в виде стружки. Лезвие инструмента обычно имеет форму клина. Если рабочая часть инструмента имеет определенное число лезвий заданной формы, то такой инструмент называется лезвийным. Для осуществления резания инструменту и заготовке сообщаются необходимые движения: главное движение резания и движения подачи. Направление этих движений и их скорости зависят от вида лезвийного инструмента. На рис. 14.1 показаны векторы скорости главного движения резания при обтачивании (рис. 14.1, а), периферийном фрезеровании (рис. 14.1, б), при фрезеровании концевой фрезой (рис. 14.1, в) и при сверлении (рис. 14.1, г).

Главное движение резания  $D_r$  происходит с наибольшей скоростью по сравнению с остальными движениями, участвующими в процессе резания. Главное движение сообщается инструменту или заготовке, может быть прямолинейным поступательным или вращательным, плоским или пространственным. Скорость рассматриваемой точки режущей кромки или заготовки в главном движении резания обозначают  $v$  и называют скоростью главного движения резания (или скоростью резания).

Движение подачи  $D_s$  — прямолинейное поступательное или вращательное движение режущего инструмента или заготовки — предназначено для распространения процесса определения слоя материала заготовки на всю обрабатываемую поверхность. Скоростью движения подачи называют скорость рассматриваемой точки режущей кромки инструмента в движении подачи и обозначают  $v_s$ .

Направления главного движения  $D_r$ , движения подачи  $D_s$  и векторы скоростей главного движения резания  $v$ , а также подачи  $v_s$  для случаев точения, фрезерования и сверления показаны на рис. 14.1.

#### 14.2. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

В процессе резания лезвие режущего инструмента контактирует с поверхностями заготовки и срезаемого с нее слоя материала. Поверх-

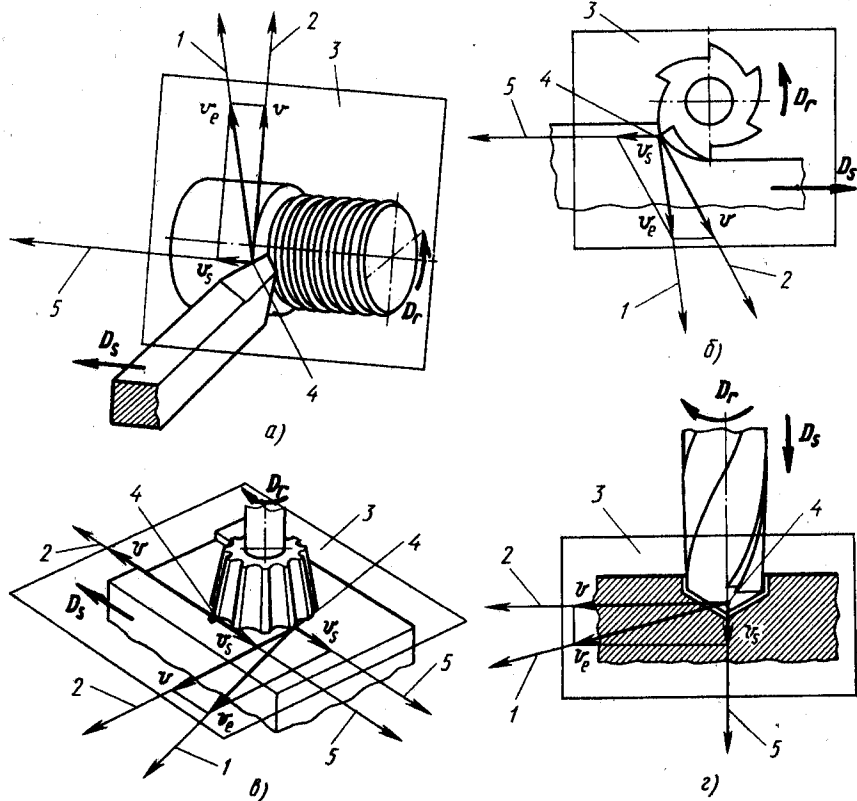


Рис. 14.1 Элементы движений в процессе резания: а — обтачивание, б — периферийное фрезерование, в — фрезерование концевой фрезой, г — сверление; 1 — направление скорости результирующего движения резания, 2 — направление скорости главного движения резания, 3 — рабочая плоскость  $P_S$ , 4 — рассматриваемая точка режущей кромки, 5 — направление скорости движения подачи

ность 1 лезвия инструмента, контактирующая в процессе резания со срезаемым слоем и стружкой, называется *передней поверхностью* (рис. 14.2). Поверхность 4 лезвия инструмента, контактирующая в процессе резания с поверхностями заготовки, называется *задней поверхностью лезвия*. Кромка лезвия инструмента, образуемая пересечением передней и задней поверхностей, называется *режущей кромкой* 2.

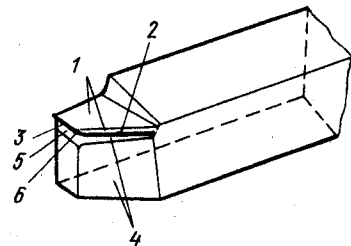


Рис. 14.2 Геометрические элементы токарного резца: 1 — передняя поверхность лезвия  $A_f$ , 2 — главная режущая кромка  $K$ ; 3 — вспомогательная режущая кромка  $K'$ ; 4 — главная задняя поверхность лезвия  $A_a$ ; 5 — вспомогательная задняя поверхность лезвия  $A'_a$ ; 6 — вершина лезвия

Различают главную 2 и вспомогательную 3 режущие кромки: часть режущей кромки, формирующая большую сторону сечения срезаемого слоя, называется *главной режущей кромкой*; часть режущей кромки, формирующая меньшую сторону сечения срезаемого слоя, называется *вспомогательной режущей кромкой*. Соответственно задняя поверхность 4 лезвия инструмента, примыкающая к главной режущей кромке, носит название *главной задней поверхности*; а задняя поверхность 5 лезвия инструмента, примыкающая к вспомогательной режущей кромке, — *вспомогательной задней поверхностью*. Участок режущей кромки в месте пересечения двух задних поверхностей носит название *вершины б лезвия* или просто *вершины*.

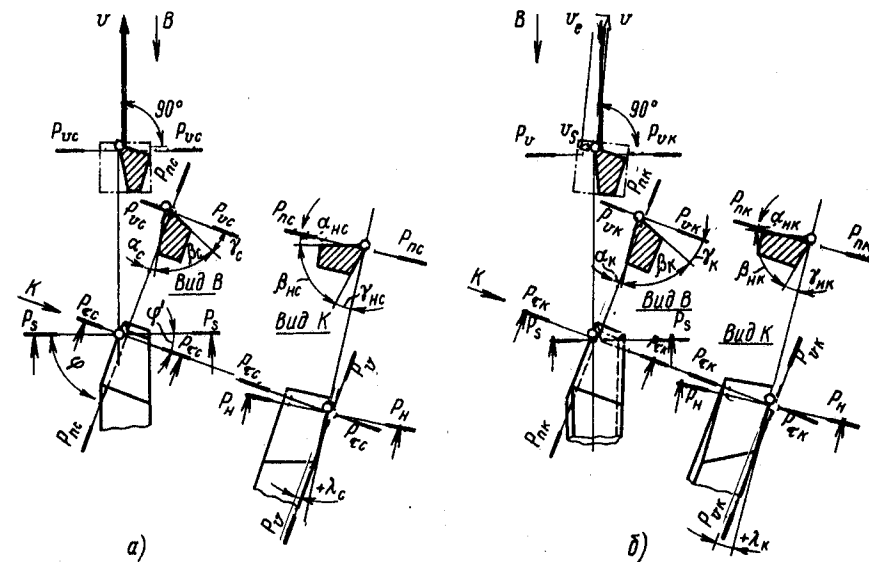


Рис. 14.3 Координатные плоскости, углы и элементы лезвия при точении в статической (а) и кинематической (б) системах координат

Конструкция режущего инструмента и геометрия его режущего лезвия могут быть достаточно сложными и разнообразными. Однако среди множества геометрических параметров лезвия инструмента есть важнейшие, определяющие условия работы инструмента: передний угол  $\gamma$ , задний угол  $\alpha$ , угол заострения  $\beta$ . Строгое определение этих углов дается в ГОСТ 25762–83 «Обработка резанием. Термины, определения и обозначения общих понятий». Эти определения требуют введения ряда дополнительных понятий. Так, угол между передней поверхностью лезвия и основной плоскостью называется *передним углом*  $\gamma$ , где под основной понимается плоскость, проведенная через рассматриваемую точку режущей кромки перпендикулярно направлению скорости главного движения резания. Угол между задней поверхностью лезвия и плоскостью резания называется *задним углом*  $\alpha$ , а

плоскость, касательную к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярную основной плоскости, — плоскостью резания. Угол между передней и задней поверхностями лезвия называют *углом заострения*  $\beta$  (рис. 14.3).

Величины указанных углов могут быть заданы или определены в различных секущих плоскостях. Соответственно названиям секущих плоскостей углам дополнительно присваиваются названия — главные, нормальные и т. д. Главные углы — главный передний угол, главный задний угол, главный угол заострения — определяют в главной секущей плоскости, перпендикулярной линии пересечения основной плоскости и плоскости резания. Нормальные углы определяют в плоскости, перпендикулярной режущей кромке в рассматриваемой точке и называемой нормальной секущей плоскостью.

### 14.3. НАЗНАЧЕНИЕ ЗАТОЧКИ И ДОВОДКИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

В процессе резания металлов, как говорилось выше, стружка перемещается по передней поверхности инструмента, а обработанная поверхность детали перемещается относительно задних поверхностей инструмента. Благодаря относительному движению и силовому воздействию на этих поверхностях инструмента возникает трение и происходит износ инструмента. Износу подвергаются все поверхности лезвия инструмента, однако величина износа в различных точках различная. Поверхности лезвия инструмента, которые находятся под большими нагрузками и под действием более высоких температур, будут изнашиваться быстрее по сравнению с менее напряженными (в силовом и температурном отношении) поверхностями. При внешнем осмотре многих инструментов можно установить, что в одних случаях износ наблюдается только по задней поверхности, в других — только по передней поверхности, а в третьих — одновременно по задней и передней поверхностям (табл. 14.1).

Помимо образования площадок износа наблюдается разрушение инструмента в виде местного выкрашивания режущей кромки. Распространен также износ, называемый *абразивным*, при котором разрушение инструмента осуществляется частицами материала, заготовки, более твердыми и высокопрочными по сравнению с материалом инструмента. В процессе резания действуют и другие механизмы износа инструмента.

На характер износа инструментов влияют физико-механические свойства инструментального и обрабатываемого материалов, режимы резания и другие условия обработки.

Износ только по задней поверхности обычно наблюдается у инструментов, которые срезают слой материала малой толщины (до 0,15 мм). Такой износ обычно принято характеризовать шириной площадки износа  $h_3$  (табл. 14.1, а), которую измеряют с помощью лупы с 20-кратным увеличением.

Одновременный износ по задней и передней поверхностям наблюдается у инструментов, работающих с малыми или средними скоро-

14.1. Характерные виды износа и схемы заточки резцов

Характер износа резца в нормальном сечении	Схема заточки резца*	Размер припуска при заточке резца
а) Износ по задней поверхности		$h_1 = h_3 \operatorname{tg} \alpha$ , $h_2 = h_1 + (0,1 \div 0,2)$
б) Износ по передней поверхности		$h_4 = h_n + (0,1 \div 0,2)$
в) Износ по передней и задней поверхностям		$h_2 = h_3 \operatorname{tg} \alpha + (0,1 \div 0,2)$ , $h_4 = h_n + (0,1 \div 0,2)$
г) Износ по фаске и задней поверхности		$h_2 = h_3 \operatorname{tg} \alpha + (0,1 \div 0,2)$ , $h_4 = h_n + (0,1 \div 0,2)$
д) Износ по криволинейной передней и задней поверхностям		$h_2 = h_3 \operatorname{tg} \alpha + (0,1 \div 0,2)$ , $h_5 = h_n + h_k + (0,1 \div 0,2)$

\* Сошлифовываемый припуск заштрихован

стями резания при толщине срезаемого слоя больше 0,10 мм. На передней поверхности образуется вогнутая площадка — лунка (табл. 14.1, е). Лунка обычно не примыкает непосредственно к режущей кромке, так как поверхность шириной  $f$  предохраняется от износа застойным материалом заготовки — наростом. При резании твердосплавными инструментами нарост обычно не наблюдается и поэтому износ происходит по всей передней поверхности, начиная от режущей кромки.

Инструменты, срезающие слой материала толщиной более 0,3 мм, при большой скорости резания и при отсутствии смазочно-охлаждающей жидкости изнашиваются в основном по передней поверхности. Этот износ принято характеризовать глубиной лунки износа  $h_n$ , а скорость износа не остается постоянной, она наибольшая (табл. 14.1, б).

Величина износа в процессе работы инструмента непрерывно увеличивается, а скорость износа не остается постоянной, она наибольшая

в начальный период работы, затем износ протекает более или менее равномерно с постоянной скоростью на протяжении некоторого промежутка времени, а потом опять с возрастающей скоростью. Здесь износ нарастает очень резко и если работа инструментом не будет прекращена своевременно, то следствием явится катастрофический износ инструмента или его поломка.

В производстве допускается изнашивать инструмент только до некоторой величины. Эта величина является мерой износа и называется критерием износа инструмента.

Наиболее распространенным является критерий оптимального износа инструмента, при котором обеспечивается наибольший срок службы инструмента с учетом его восстановления. Величины износа по задней или передней поверхности инструментов, соответствующие оптимальному износу, называются критериями оптимального износа и зависят от многих причин: конструкции и размеров режущего инструмента, обрабатываемого материала, режима обработки и других условий.

Например, для токарных проходных резцов с пластинками из твердого сплава о величине износа судят по ширине площадки износа по задней поверхности. Износ резца считается оптимальным, когда площадка его износа ( $h_3$ ) находится в пределах: 1,0–1,4 мм при черновой обработке стали и 0,4–0,6 мм при чистовой. При обработке чугуна эти пределы устанавливаются иными: 0,8–1,0 мм — при черновой обработке и 0,6–0,8 мм — при чистовом точении.

Для инструментов, предназначенных для чистовой обработки, приходится применять иной критерий износа, так как по мере затупления инструмента начинает возрастать шероховатость обработанной поверхности или размеры детали выходят из поля допуска. В этом случае используют технологические критерии. Например, в качестве такого критерия может быть принята определенная величина износа инструмента в радиальном (нормальном) направлении по отношению к обработанной поверхности. Эта величина называется критерием размерной стойкости. В некоторых случаях можно использовать силовой критерий, соответствующий такому затуплению, при котором наблюдается резкое увеличение силы резания.

При токарной обработке в производственных условиях иногда используют критерий «блестящей полоски» на обработанной поверхности при точении стали или критерий «темных пятен» при обработке чугуна, хотя это уже и является признаком начала катастрофического износа инструмента.

Придание инструменту заданных геометрических параметров режущей части и восстановление режущих свойств инструмента, утраченных в результате его износа и затупления, путем шлифования поверхностей режущего лезвия инструмента называется заточкой. Качественная и своевременная заточка инструмента позволяет не только восстановить его геометрические параметры, но способствует улучшению качества обрабатываемых деталей, повышению производительности труда рабочих основного производства, позволяет сокра-

тить расход инструмента, способствуют лучшему использованию металлорежущих станков.

После заточки инструмента для повышения качества обработанных поверхностей деталей производят доводку поверхностей лезвия инструмента. Если на быстрорежущем резце осуществить доводку основных элементов лезвия, то при том же периоде его стойкости можно увеличить скорость резания на 10–15%. Если скорость резания оставить в прежних пределах, то стойкость доведенного быстрорежущего резца возрастет почти в 2 раза, что уменьшит расходы на инструмент и снизит вспомогательное время, связанное со сменой инструмента и наладкой станка.

В течение многих лет в нашей промышленности заточка твердосплавных инструментов осуществлялась абразивными кругами из карбида кремния зеленого. В последние годы используют алмазные круги, внедрение которых в большинстве случаев позволяет получить более высокое качество заточенных поверхностей инструмента. Следствием этого является увеличение стойкости инструмента в 1,5–2,0 раза. Естественно, что если процесс абразивной заточки вести с режимами, не приводящими к созданию повышенных внутренних напряжений и сетки микротрещин на режущих поверхностях и обеспечивающими толщину дефектного слоя в допускаемых пределах, то такой инструмент будет обладать нормальными режущими свойствами. Однако некоторые заточники стремятся форсировать процесс заточки, осуществлять его с чрезвычайно большими скоростями съема материала и чрезмерными подачами. В этом случае погоня за очень высокой производительностью на заточных операциях приносит большой ущерб производству: заточенный таким образом инструмент обладает очень плохими режущими свойствами и низкой стойкостью при работе.

Особенно внимательно и тщательно должна осуществляться заточка и доводка инструмента, применяемого на автоматических станках и автоматических линиях, где необходимо обеспечить заданную стойкость и стабильность работы не одного инструмента, а всех одновременно работающих инструментов. Преждевременный выход из строя только одного инструмента может быть причиной остановки и вынужденного простоя станка или всей линии. Например, автоматические линии для обработки блоков и головок автомобильных двигателей состоят из нескольких десятков станков, на которых установлено до 500–600 шт. инструментов. Время, затрачиваемое на смену одного инструмента, составляет: 1,5–2 мин для сверл, зенкеров, метчиков и разверток; 2–5 мин — для резцов; 3 мин — для концевых фрез; 5–10 мин — для торцовых фрез. Случайный выход одного инструмента из строя по причине потери им режущих свойств в автоматическом производстве наносит такие большие потери, что считается экономически выгодным прекращать работу инструмента, пользуясь не критерием оптимального износа, а критерием размерной стойкости, т. е. количеством деталей, изготовленных в пределах допуска без регулирования или смены инструмента. Размерный износ составляет 40–50% от износа, допускаемого по другим технологическим критериям.

Замена инструмента в автоматических линиях осуществляется принудительно с интервалами, обычно кратными промежуткам времени между сменами или перерывами.

В последнее время для уменьшения времени простоя станка для смены и подналадки инструмента в автоматизированном производстве все больше стали применять специальные устройства, автоматически осуществляющие смену или подналадку изношенного инструмента в периоды холостых движений станков.

Следовательно, основное назначение процесса заточки и доводки режущего инструмента заключается в следующем:

обеспечить заданные геометрические параметры режущей части инструмента, способствующие повышению стойкости инструмента, точности и производительности обработки;

обеспечить шероховатость заточенных или доведенных поверхностей инструмента в заданных пределах, что способствует повышению качества обработанной поверхности и уменьшению износа инструмента;

обеспечить качество поверхностного слоя инструмента, т. е. добиться минимальных изменений в поверхностных слоях, связанных со структурными превращениями, появлением внутренних напряжений и трещин.

Характер износа поверхностей инструмента предопределяет расположение и толщину слоя, снимаемого при заточке инструмента, и возможное количество заточек.

В табл. 14.1 показаны характерные виды износа и рекомендуемые схемы заточки резцов. Толщина слоя  $h_2$ , снимаемого по задней поверхности резца, определяется шириной фаски износа  $h_3$ , измеряемой вдоль задней поверхности, величиной заднего угла  $\alpha$  и дополнительным припуском в пределах 0,1–0,2 мм.

Нормативные припуски (мм), снимаемые за одну заточку резцов, находятся в следующих пределах: токарные резцы, используемые при одноинструментальной обработке, от 0,2 до 0,06; токарные резцы, используемые при многоинструментальной обработке, от 0,6 до 0,7; круглые фасонные резцы при заточке по передней поверхности до 1,1.

#### 14.4. ЗАТОЧКА РЕЗЦОВ

**Конструкция и геометрия резцов.** Резцы по конструкции очень разнообразны, так как их используют на различных станках для обработки плоскостей, цилиндрических и конических, внешних и внутренних поверхностей, для обработки фасонных и других поверхностей.

Резцы получают наименование по совокупности нескольких определяющих признаков:

по типу станка, на котором они используются, различают токарные, автоматные токарные, строгальные, долбежные и др.;

по инструментальному материалу режущей части различают быстрорежущие, твердосплавные, алмазные, эльборовые;

по методу соединения режущей части с державкой различают цельные (из одного материала), неразъемные (из разных материалов, соединенных сваркой, пайкой) и разъемные (с неперетачи-

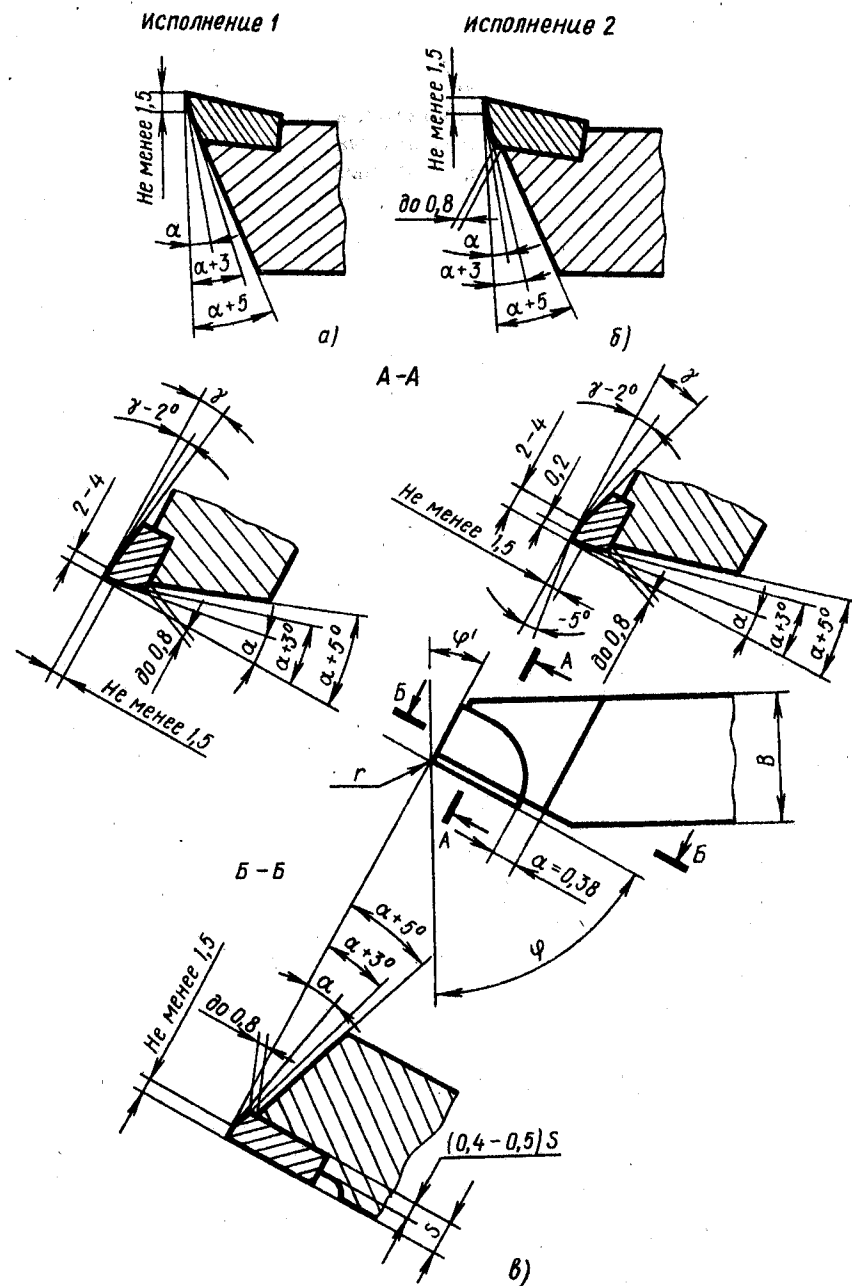


Рис. 14.4. Формы задней поверхности резца с твердосплавной пластинкой, припаянной с разным исполнением

ваемыми пластинками, механически закрепленными на державке); по выполняемой операции различают проходные, подрезные, отрезные, расточные, фасонные, резьбонарезные;

по положению режущей кромки резца относительно оси державки различают прямые правые и левые, изогнутые правые и левые, отогнутые правые и левые, оттянутые;

по характеру обработки резцы могут предназначаться для черновой, получистовой, чистовой и тонкой обработки.

Геометрические параметры режущей части инструмента оказывают существенное влияние на процесс резания, качество обработки, ее производительность и экономичность.

Оптимальные геометрические параметры инструмента зависят от конкретных условий обработки и нельзя установить какую-то одну, пригодную для всех случаев форму рабочей части инструмента. Поэтому заточнику режущего инструмента, так же как и рабочему-станочнику, имеющему дело с механической обработкой деталей, очень важно уяснить основные принципиальные положения по выбору важнейших геометрических параметров инструмента.

Передний угол  $\gamma$  (рис. 14.4) в основном предназначен для облегчения процесса стружкообразования, а форма передней поверхности обеспечивает необходимую прочность лезвия и надежное стружкозавивание. При назначении числовых значений переднего угла учитывают тип инструмента, материал заготовки и режущего лезвия и другие конкретные условия.

Задний угол  $\alpha$  (рис. 14.4) в основном предназначен для обеспечения свободного перемещения инструмента по обрабатываемой поверхности и уменьшения трения и износа по задней поверхности инструмента. Увеличение заднего угла до определенного предела, особенно при срезании тонких стружек, способствует повышению стойкости инструмента, уменьшению шероховатости обработанной поверхности. Однако увеличение заднего угла приводит к уменьшению угла заострения, а следовательно, к ослаблению режущей кромки, а иногда к ее выкрашиванию и преждевременному выходу инструмента из строя. Поэтому задний угол следует выбирать в зависимости от условий работы инструмента.

Для токарных и расточных резцов, предназначенных для обработки деталей из стали и чугуна, величина передних и задних углов назначается в пределах, указанных в табл. 14.2.

Главный угол в плане  $\phi$  при постоянных значениях подачи и глубины резания  $t$  (см. рис. 1.3) определяет соотношение между шириной и толщиной среза: при уменьшении угла  $\phi$  уменьшается толщина среза и увеличивается его ширина. Увеличение активной длины режущей кромки, т. е. той части, которая находится в непосредственном соприкосновении с обрабатываемой заготовкой, приводит к уменьшению температуры в зоне резания, что снижает износ резца и повышает его стойкость. Однако при обработке нежестких деталей (например, длинных валиков) рекомендуется применять углы  $\phi = 60 \div 75^\circ$ , так как при меньших углах возможно появление вибраций и недопустимых прогибов заготовки (табл. 14.3).

14.2. Передние и задние углы токарных и расточных резцов

Обрабатываемый материал	Материал лезвийного инструмента					
	сталь быстро-режущая	твердый сплав	сталь быстро-режущая		твердый сплав	
			Обработка			
			черно-вая	чис-товая	черно-вая	чис-товая
Передний угол $\gamma$ , град		Задний угол $\alpha$ , град				
Сталь конструкционная	25	12-15	6	12	8	12
Сталь легированная	20	10	6	12	8	12
Стальное литье	—	10	—	—	8	12
Сталь жаропрочная	20	10	8	8	10	10
Чугун серый	—	5	—	—	8	10
Чугун ковкий	—	8	—	—	8	10

14.3. Главный угол в плане  $\phi$  токарных и расточных резцов

Назначение и условия работы резца	Угол $\phi$ , град
Точение с малой глубиной резания при особо жесткой системе	30
Растачивание стальной детали, точение при малой жесткости системы	60
Растачивание чугунной детали, точение при малой жесткости системы	70-75
Подрезка, прорезка, отрезка, обточка и расточка ступенчатых поверхностей в упор. Обработка в условиях нежесткой системы	90
Точение в условиях жесткой системы	45

14.4. Вспомогательный угол в плане  $\phi'$

Условия работы резца	Угол $\phi'$ , град
Чистовая обработка	5-10
Черновое точение	10-15
Черновое растачивание	15-20
Обработка с подачей в обе стороны без перестановки резца	30
Обработка широкими резцами или резцами с дополнительным режущим лезвием	0

Вспомогательный угол в плане  $\phi'$  (см. рис. 14.4) влияет на шероховатость обработанной поверхности, прочность вершины резца и его стойкость. При применении больших подач на детали появляются значительные остаточные гребешки. Для уменьшения их высоты применяют малые значения углов  $\phi'$ , обычно в пределах  $10-15^\circ$  (табл. 14.4).

Угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$  (см. рис. 14.3) имеет особое значение для формирования стружки и направления ее сбег с передней поверхности резца. При положительных значениях угла  $\lambda$  место первоначального контакта резца с заготовкой удаляется от вершины, что повышает стойкость резца, особенно при обработке заготовок с прерывистой поверхностью или неравномерным припуском (табл. 14.5).

Допускаемые отклонения размеров углов при заточке приведены в табл. 14.6.

Задние поверхности на резцах выполняются в виде одной плоскости или нескольких плоскостей (рис. 14.4, а, б). Для резцов с напаянными твердосплавными пластинками задняя поверхность выполняется в виде трех плоскостей: по фаске высотой не менее 1,5 мм по углом  $\alpha$ , по остальной высоте твердосплавной пластинки — под углом  $(\alpha + 3^\circ)$ , по державке — под углом  $(\alpha + 5^\circ)$  (рис. 14.4, в). Подобная форма задней поверхности позволяет рационально использовать круги разных характеристик: алмазные, эльборовые, электрокорундовые

соответственно для доводки фаски, чистовой заточки по пластинке, черновой заточки по стальной державке или одновременной обработки державки и пластинки.

При пайке твердосплавных пластинок допускается, чтобы они выступали на 1,5–2 мм относительно державки. Это позволяет производить первичную заточку алмазным кругом только пластинки без соприкосновения с державкой резца, что предохраняет круг от засаливания. У резцов, имеющих толщину пластинки менее 3 мм, допускается производить ее заточку с одним задним углом  $\alpha$ . При алмазной заточке допускается провисание твердосплавных пластинок над стальной державкой до 0,8 мм, что позволяет проводить доводку задней поверхности по всей толщине пластинок (рис. 14.4, б).

Форма передней поверхности резцов из быстрорежущей стали после заточки имеет четыре разновидности (рис. 14.5):

#### 14.5. Угол наклона главной режущей кромки

Условия работы резца	Угол $\lambda$ град
Точение прерывистых поверхностей с ударами	12–15
Черновое точение и растачивание чугуна	10
Черновое точение и растачивание стали	0–5
Точение и растачивание жаропрочных сталей и сплавов	0
Чистовое точение и растачивание	От -2 до -4

#### 14.6. Допускаемые отклонения углов резца

Угол	Пределы заданных углов, град	Допускаемое отклонение угла, град
Передний $\gamma$	Меньше 12	$\pm 1$
	Больше 12	$\pm 2$
Главный задний $\alpha$	От 6 до 15	$\pm 1$
Вспомогательный задний $\alpha_1$	Меньше 2	$\pm 0,5$
	Больше 2	$\pm 1$
Главный угол в плане $\phi$	От 30 до 100	$\pm 2$
	Меньше 2	$\pm 0,5$
Вспомогательный в плане $\phi'$	От 2 до 5	$\pm 1$
	Больше 5	$\pm 2$
Угол наклона главной режущей кромки $\lambda$	От -5 до +5	$\pm 1$

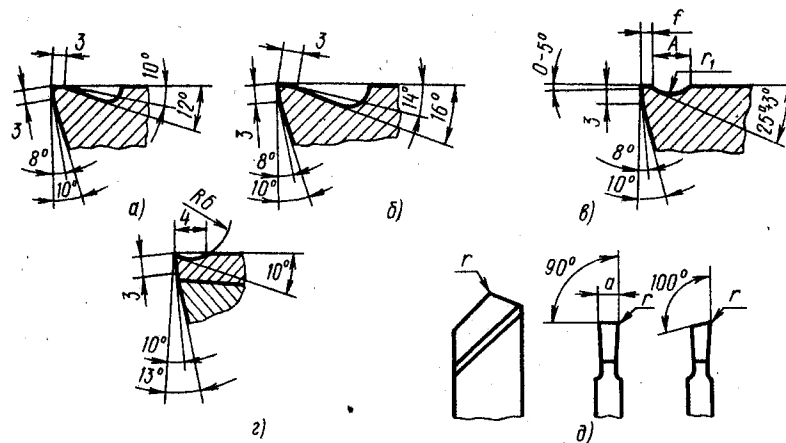


Рис. 14.5. Формы передней поверхности резцов из быстрорежущей стали

плоская с положительным передним углом  $\gamma = 10^\circ$  для обработки стали с  $\sigma_b > 800 \text{ Н/мм}^2$ , серого чугуна  $\text{HB} > 220$ , бронзы и других хрупких материалов (рис. 14.5, а);

плоская с положительным передним углом  $\gamma = 14^\circ$  для обработки стали с  $\sigma_b \leq 800 \text{ Н/мм}^2$ , чугуна  $\text{HB} \leq 220$  (рис. 14.5, б);

криволинейная с фаской для обработки стали с  $\sigma_b \leq 800 \text{ Н/мм}^2$ , вязких цветных металлов и легких сплавов при необходимости завивания стружки (рис. 14.5, в);

криволинейная для обработки материалов с  $\sigma_b = 800 \div 1000 \text{ Н/мм}^2$  (рис. 14.5, г).

Ширина фаски  $f$  (мм) (рис. 14.5, в) затачивается в пределах:

Для токарных проходных и подрезных резцов . . . . .	0,2–1,5
Для токарных расточных резцов . . . . .	0,1–0,6
Для токарных отрезных и прорезных резцов . . . . .	0,15–0,5



Радиусная канавка (рис. 14.5, в) выполняется радиусом  $r_r = 3 \pm 18$  мм, шириной  $A$  от 2,5 до 15 мм. Радиус  $r$  вершины резца (рис. 14.5, д) назначают от 0,2 до 3 мм. Меньшие значения указанных параметров относятся к резцам с державкой сечением до  $10 \times 10$  мм, большие значения — к резцам сечением  $40 \times 40$  мм.

Форма заточки передней поверхности резцов с пластинками из твердого сплава имеет большое число разновидностей:

плоская с положительным передним углом для обработки серого чугуна, бронзы и других хрупких материалов (рис. 14.6, а);

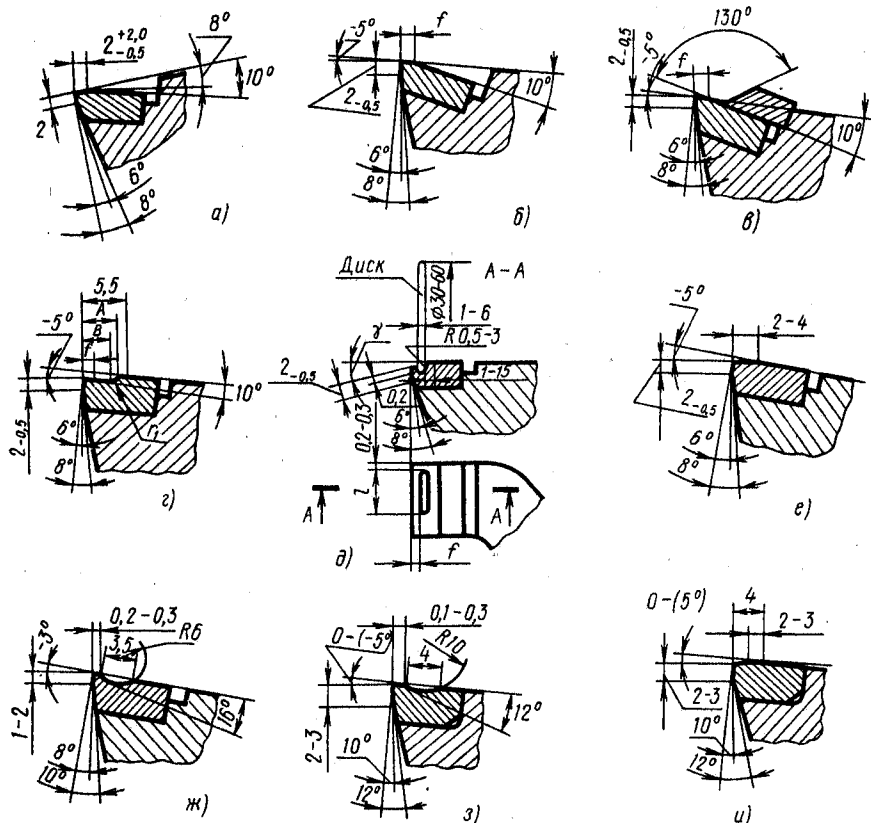


Рис. 14.6. Формы передней поверхности резцов с твердосплавной пластинкой

плоская с отрицательной фаской для обработки ковкого чугуна, стали и стального литья с  $\sigma_B \leq 800$  Н/мм<sup>2</sup> (рис. 14.6, б, в);

криволинейная с отрицательной фаской для обработки стали с  $\sigma_B \leq 800$  Н/мм<sup>2</sup> при необходимости завивания и дробления стружки (рис. 14.6, г, д);

плоская с отрицательным передним углом для черновой обработки стали и стального литья с  $\sigma_B > 800$  Н/мм<sup>2</sup> или при точении

с ударами в условиях жесткой технологической системы (рис. 14.6, е); криволинейная с отрицательной фаской для обработки нержавеющей сталей с  $\sigma_B \leq 850$  Н/мм<sup>2</sup> (рис. 14.6, ж);

криволинейная с отрицательной фаской для обработки материалов с  $\sigma_B$  до 1300 Н/мм<sup>2</sup> (рис. 14.6, з);

плоская с отрицательным передним углом для обработки материалов с  $\sigma_B > 1200$  Н/мм<sup>2</sup> (рис. 14.6, и).

Ширина фаски  $f$  выполняется в пределах 0,1–0,6 мм для расточных, отрезных и прорезных резцов и в пределах от 0,15 до 1,2 мм для проходных и подрезных резцов. Радиус вершины  $r$  назначают в пределах от 0,5 до 2,5 мм у проходных и подрезных резцов и от 0,5 до 1,6 мм у расточных резцов (см. рис. 14.6, д).

На передней поверхности для облегчения отвода сливной стружки, ее завивания или ломания иногда выполняют крупно-размерные с радиусом 4–18 мм или мелко-размерные с радиусом 0,5–3 мм лунки, порошки, уступы.

Стружка завивается тем круче, чем меньше радиус  $R$  выкружки лунки и чем ближе она расположена к режущей кромке. Мелко-размерная лунка имеет меньшую ширину (не более 3 мм) и глубину до 0,1–0,5 мм, может быть замкнутой или незамкнутой с выходом в обе стороны (отрезные резцы) или в одну сторону.

Крупно-размерные лунки делают на твердосплавных и быстрорежущих резцах шириной от 3 до 15 мм, глубиной до 1,5 мм. Между лункой и режущей кромкой обязательно остается фаска с положительным или отрицательным передним углом.

На твердосплавных резцах для ломания стружки вышлифовывают порожек или уступ, упорная поверхность которого располагается под углом 5–10° относительно режущей кромки. Упорная поверхность порожка может быть плоской или криволинейной. Основные размеры стружколомающих элементов передней поверхности резцов приведены в табл. 14.7.

14.7. Параметры лунок и порожков на передней поверхности резцов

Элемент	Ширина $b$ лунки или порожка, мм	Радиус $R$ профиля в сечении, мм	Глубина $h$ лунки или порожка, мм	Угол $\tau$ наклона порожка или лунки, град	Ширина $f$ фаски, мм
Лунка мелко-размерная	1–3	0,5–3	0,1–0,5	0–10	0,1–1,2
Лунка крупно-размерная	3–15	4–18	0,2–1,5	0–10	0,1–1,2
Порожек стружколомающий	1,5–6	0,3–2	0,3–1,5	0–10	0,1–1,2

Схемы заточки резцов и технологическая оснастка для закрепления и установки резцов при заточке. Выбор того или иного варианта технологии заточки резцов зависит от многих условий: типа производства, объема затачиваемой партии резцов, конструктивных особенностей резца, степени и характера износа, наличия заточного оборудования и других факторов.

Технологический процесс заточки и доводки резцов должен обеспечить получение шероховатости обрабатываемых поверхностей в пределах, указанных в табл. 14.8.

14.8. Параметр  $Ra$  (мкм) шероховатости поверхности резцов

Затачиваемая поверхность	Резец		Затачиваемая поверхность	Резец	
	быстрорежущий	твердосплавный		быстрорежущий	твердосплавный
Задняя по фаске	0,32–0,16	0,32–0,16	Передняя по плоскости	0,63–0,32	1,25–0,63
Задняя по пластинке	0,63–0,32	1,25–0,63	Передняя криволинейная	1,25–0,32	1,25–0,32
Задняя по державке	2,5–0,63	2,5–1,25	Передняя по лунке	1,25–0,63	1,25–0,63
Передняя по фаске	0,32–0,16	0,32–0,16	Поверхность стружколома	1,25–0,63	1,25–0,63

Наиболее характерными являются две схемы заточки инструментов.

Первая схема заточки предусматривает снятие значительного припуска (от 0,4 мм и более) с помощью шлифовальных кругов из карбида кремния (твердый сплав) или электрокорунда и монокорунда (быстрорежущие стали) на предварительных операциях и последующую окончательную заточку и доводку рабочих поверхностей с применением алмазных, эльборовых или мелкозернистых абразивных кругов на бакелитовой связке. Эта схема заточки во многих случаях оказывается наиболее целесообразной по экономическим показателям, так как съем основной массы припуска осуществляется с помощью относительно дешевых шлифовальных кругов, а требуемое качество поверхности обеспечивается алмазной и эльборовой обработкой при съеме небольшого припуска (менее 0,4 мм).

В ряде случаев наилучшие показатели по экономичности можно достигнуть при использовании в т о р о й с х е м ы заточки инструмента, предусматривающей полную обработку всех рабочих поверхностей инструмента с использованием только алмазного (твердый сплав) или эльборового (быстрорежущая сталь) круга одной или двух зернистостей. При правильном выборе характеристики этих кругов возможно осуществлять полную заточку одним кругом.

На инструментальных заводах при первоначальной заточке резцов с нависающей твердосплавной пластинкой сейчас в основном используют только алмазную заточку. Полную алмазную обработку при повторных заточках экономически целесообразно проводить при припуске от 0,5 мм и менее, если конструкция резца позволяет алмазному кругу не касаться стальной державки, и при припуске от 0,3 мм, если заточку приходится проводить при одновременном шлифовании стальной державки и твердосплавной пластинки. По мере снижения стоимости алмазных кругов, улуч-

шения их режущих свойств и других условий производства целесообразные границы применения полной алмазной и эльборной заточки инструмента расширяются. При съеме больших припусков, особенно при необходимости одновременного шлифования стальной державки и твердосплавной пластинки, экономически целесообразно

14.9. Типовой технологический процесс заточки и доводки твердосплавного резца

Наименование операции	Содержание операции	Абразивный и алмазный инструмент (материал — зернистость — твердость — концентрация — связка)	Шероховатость заточенной поверхности $Ra$ , мкм
Абразивная заточка (при припуске 0,4 мм и более)	Заточка задних поверхностей по державке	24A—(40,25)—(CM2, C1)—(6,7)—K5	5–1, 25
	Заточка передней поверхности с углом $\gamma + (1-2)^\circ$	63C—(40,25)—(CM2, C1, C2)—(6,8)—K5	2,5–0,63
	Заточка главной и вспомогательной задних поверхностей под углами $\alpha + (2\div 3)^\circ$ , $\alpha_1 + (2\div 3)^\circ$	63C—(50, 40, 25)—(CM2, C1, C2)—(6,8)—K5	
Алмазная заточка (при припуске 0,1–0,3 мм)	Заточка передней поверхности под углом $\gamma$	AC4, AC6—(125/100; 100/80; 80/63)—100%—M1, MB1, B156, B1	0,63–0,10
	Заточка главной и вспомогательной задних поверхностей под углами $\alpha$ и $\alpha_1$	AC6, AC4—(125/100; 100/80; 80/63)—100%—M1, MB1, B156, B1	
Алмазная заточка лунок и порошков	Заточка стружколомающих порошков или лунок	AC6, AC4—(125/100; 100/80; 80/63)—100%—M1, MB1, B156, B1	0,63–0,32
Алмазная доводка (при припуске 0,05–0,1 мм)	Доводка передней поверхности по фаске с углом $\gamma_\phi$		0,32–0,08
	Доводка главной задней поверхности по фаске с углом $\alpha$	AC2, AC4—(63/50, 50/40, 40/28)—100, 50%—B1, KB, BП2	
	Доводка вершины резца по радиусу или дополнительной режущей кромке		

использовать электрофизические и электрохимические методы обработки.

Типовые технологические процессы заточки резцов приведены в табл. 14.9 и 14.10.

Наиболее характерным является такой порядок операций: 1. Заточка передней поверхности. 2. Заточка задней главной поверхности по державке. 3. Заточка задней вспомогательной поверхности по державке. 4. Заточка фаски по передней поверхности. 5. Заточка задней главной поверхности по пластинке. 6. Заточка задней вспомогательной поверхности по пластинке. 7. Заточка задней поверхности по радиусу вершины. 8. Заточка лунок, канавок или стружколомающих порожков. 9. Доводка фаски по передней поверхности.

**14.10. Типовой технологический процесс заточки и доводки быстрорежущего резца**

Наименование операции	Содержание операции	Абразивный и эльборовый инструмент (материал — зернистость — твердость — концентрация — связка)	Шероховатость заточенной поверхности $Ra$ , мкм
Предварительная абразивная заточка (при припуске 0,4 мм и более)	Заточка передней поверхности	23А, 24А — (40, 25) — (СМ1, СМ2) — (6, 8) — К5	2,5—0,63
	Заточка главной и вспомогательной задних поверхностей		
Окончательная заточка (при припуске 0,1—0,3 мм)	Заточка передней, главной и вспомогательной задних поверхностей, заточка стружколомающего порожка или лунки	23А, 24А — (25, 16) — (СМ1, СМ2) — (6, 8) — К5	0,63—0,16
		43А, 45А — (25, 16) — (СМ1, СМ2) — (6, 8) — К5	
		63С — (16, 12) — (СМ1, СМ2) — (6, 8) — Б	
		ЛО, ЛР — (12, 10, 8) — (С1, С2, СТ1) — 100% — С10, БИ1, БП1	
Доводка (при припуске 0,05—0,1 мм)	Доводка передней, главной задней поверхностей по фаскам и доводка вершины резца по радиусу	АСО — (63/50, 50/40, 40/28) — 100% — Б1, БП1.	0,32—0,08
		ЛО — (8, 6, 4, М40) — 100% — КБ, БИ1	
		63С — (8, 6, 4, М40) — (С2—СМ1) — Б	

ности. 10. Доводка по фаске задней главной поверхности. 11. Доводка вершины по радиусу.

Этот порядок операций в основном сохраняется при обработке как твердосплавных, так и быстрорежущих резцов. Однако в зависимости от конкретных требований и условий некоторые операции могут быть опущены или совмещены друг с другом.

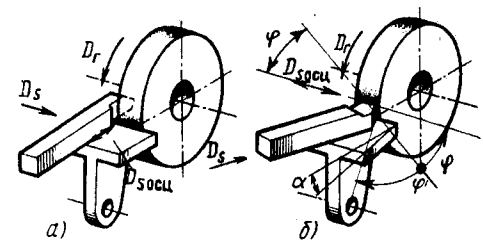


Рис. 14.7. Установка резца при заточке на точношлифовальном станке передней (а) и главной задней (б) поверхностей

Современные станки для заточки резцов отличаются разнообразием моделей, компоновок, конструкцией и степенью автоматизации рабочих циклов.

Широкое применение находят точношлифовальные станки простейшей конструкции, снабженные подручником или поворотным столом для установки затачиваемого резца. В этих станках отсутствуют какие-либо устройства для автоматизации заточки.

При использовании кругов прямого профиля заточка передней поверхности производится торцом круга (рис. 14.7, а). Резец боковой поверхностью державки базируется на плоской поверхности подручника и перемещается вдоль оси круга для осуществления подачи на врезание (прижим с определенной нагрузкой в направлении  $D_s$ ) и вдоль торца круга по радиусу для обеспечения более равномерного съема металла и износа круга (осциллирующая подача  $D_{соч}$ ).

При заточке задних поверхностей подручник поворачивают на величину задних углов  $\alpha$  (или  $\alpha'$ ), а резец базируют на плоской поверхности подручника под углами  $\varphi$  (или  $\varphi'$ ) соответственно для обеспечения параллельности режущих кромок образующей периферии круга (рис. 14.7, б). На подручнике могут устанавливаться дополнительные базирующие элементы (линейки, транспортиры), обеспечивающие установку резца с определенной точностью, устройства для закрепления резца и его перемещения во время заточки. На точношлифовальных станках обычно резец удерживают и перемещают вручную, что отрицательно влияет на точность и качество заточки.

Заточка на точношлифовальных станках требует необходимой квалификации заточника, так как качество заточенных инструментов зависит от навыков и опытности заточника. Чрезмерное увеличение нагрузки при прижиге резца к кругу может привести к появлению прижогов и трещин в поверхностном слое резца. Неточное соблюдение требуемой установки резца на подручнике приводит к погрешностям углов, к несоблюдению требований однородности заточенных инструментов. Для обеспечения заданной шероховатости поверхности после заточки необходима доводка рабочих поверхностей режущей части резца. Ручное закрепление резцов на подручнике обеспечивает очень малые затраты времени

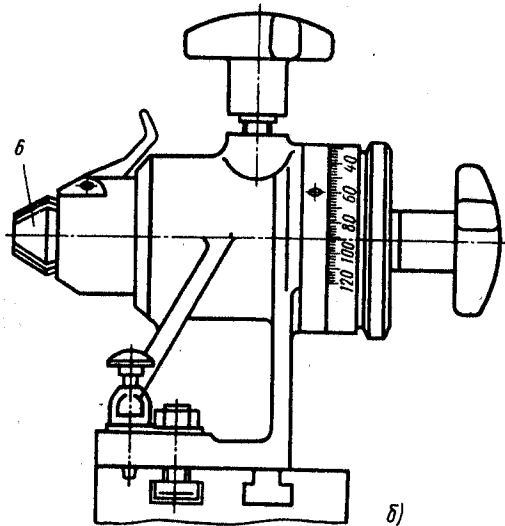
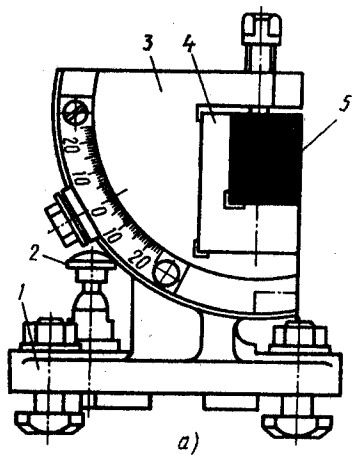


Рис. 14.8. Приспособления для закрепления резцов на затачном станке мод. 3629

на эту операцию. Однако точность ручной заточки недостаточно высокая. Поэтому применяют различные приспособления для установки и закрепления резцов, которые кроме точности должны обеспечивать достаточно высокую производительность заточных и доводочных операций.

Резцы с прямоугольным сечением державки закрепляют в приспособлении, показанном на рис. 14.8, а, а резцы с круглой державкой — в приспособлении, показанном на рис. 14.8, б. Корпус 1 приспособления закрепляется на салазках суппорта с помощью крепежных болтов, а ориентируется при установке с помощью фиксатора 2. Резцедержатель 4 имеет паз достаточных размеров для закрепления резцов 5 с высотой державки от 12 до 50 мм. Для этого применяют подкладки разной высоты или сменные вставки 3 в виде уголка. Круглые резцы зажимают в сменных цапгах 6 (рис. 14.8, б).

Зажимное приспособление может быть повернуто относительно оси, параллельной оси державки затачиваемого резца, и оси, перпендикулярной первой. Установочные углы определяют в двух сечениях — в продольном (осевом) сечении  $y-y$  и поперечном сечении  $x-x$  (рис. 14.9), ориентированных относительно державки. Задние углы  $\alpha_x$ ,  $\alpha_y$ ,  $\alpha'_x$  и  $\alpha'_y$  определяют соответственно для главной и вспомогательной режущих кромок.

Углы в плоскости  $x-x$  рассчитывают по формулам:

$$\operatorname{tg} \alpha_x = \operatorname{tg} \alpha / \sin \varphi;$$

$$\alpha_x \approx \alpha / \sin \varphi; \alpha'_x \approx \alpha' / \sin \varphi';$$

$$\operatorname{tg} \alpha'_x = \operatorname{tg} \alpha' / \sin \varphi';$$

$$\operatorname{tg} \gamma_x = \operatorname{tg} \gamma \sin \varphi + \operatorname{tg} \lambda \cos \varphi.$$

Если углы  $\alpha$  и  $\gamma$  меньше  $15^\circ$ , то можно пользоваться приближенными формулами, заменяя функцию тангенса непосредственно на значение угла:

$$\gamma_x \approx \gamma \sin \varphi + \lambda \cos \varphi.$$

Углы в плоскости  $y-y$  определяют по формулам:

$$\operatorname{tg} \alpha_y \approx \operatorname{tg} \alpha / \cos \varphi;$$

$$\operatorname{tg} \alpha'_y = \operatorname{tg} \alpha' / \cos \varphi';$$

$$\operatorname{tg} \gamma_y = \operatorname{tg} \gamma \cos \varphi - \operatorname{tg} \lambda \sin \varphi,$$

или приближенно

$$\alpha_y \approx \alpha / \cos \varphi; \alpha'_y \approx \alpha' / \cos \varphi';$$

$$\gamma_y \approx \gamma \cos \varphi - \lambda \sin \varphi.$$

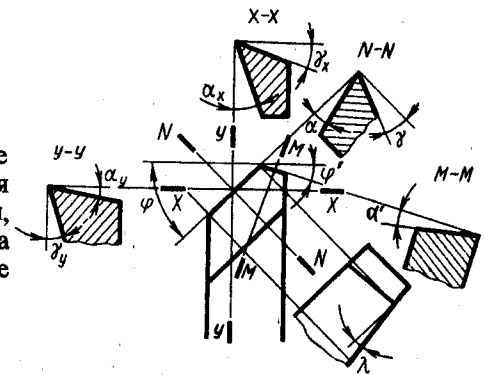


Рис. 14.9. Схема для определения установочных углов в поперечной и продольной плоскостях резца

В приведенных формулах значение угла  $\lambda$  следует подставлять с соответствующим знаком: плюс или минус. В табл. 14.11 приведены некоторые значения установочных углов для ряда фиксированных значений углов. Исходное положение резца, закрепленного в тисках, имеющих три оси поворота со шкалами А, Б и В, пока-

14.11. Установочные углы при заточке задней поверхности  $\alpha_x$  и  $\alpha_y$ , град

Требуемый задний угол $\alpha$ , град	$\alpha_x = \arctg(\operatorname{tg} \alpha / \sin \varphi)$					$\alpha_y = \arctg(\operatorname{tg} \alpha / \cos \varphi)$			
	Угол в плане $\varphi$ , град								
	10	30	45	60	90	10	30	45	60
	sin $\varphi$					cos $\varphi$			
	0,1736	0,50	0,7071	0,8660	1	0,9848	0,8660	0,7071	0,50
8	39	15,69	11,24	9,22	8	8,12	9,22	11,24	15,69
10	45	19,42	14	11,22	10	10,15	11,51	14,0	19,42
12	50,75	23,02	16,73	13,79	12	12,18	13,79	16,73	23,02
16	58,8	29,83	22,07	18,32	16	16,23	18,32	22,07	29,83

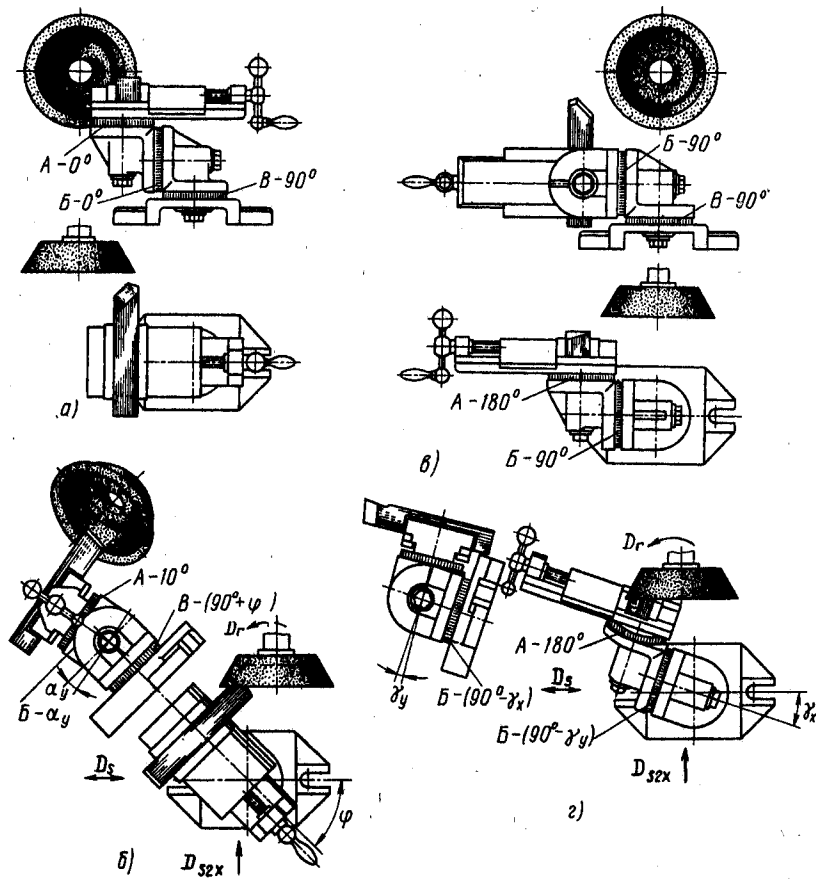


Рис. 14.10. Установка резца в трехповоротных тисках при заточке задней (а, б) и передней (в, г) поверхностей:  
 А, Б, В — исходная установка тисков перед заточкой;  $D_s$ ,  $D_{szx}$  — направления продольной и поперечной подач

зано на рис. 14.10, а, в, а положение резца при заточке задней поверхности — на рис. 14.10, б, при заточке передней поверхности — на рис. 14.10, г.

Конструкция суппортов и приспособлений ряда станков, особенно специализированных, допускает установку резцов при заточке непосредственно по значениям углов, заданных в нормальной плоскости. В этом случае ориентируют резец с учетом углов  $\varphi$  и  $\lambda$ , располагая главную режущую кромку, например, горизонтально или вертикально, и производят поворот в плоскости, перпендикулярной режущей кромке на угол  $\alpha$  и  $\gamma$  соответственно (рис. 14.11).

На станке мод. 3622 при заточке передней поверхности используют наклонный столик 2 (рис. 14.11, а) с промежуточной шли-

той 3, позволяющей устанавливать режущую кромку под углами 45, 30 и 60° соответственно фиксированным углам в плане  $\varphi = 45, 30$  или 60°. Поворотом вокруг вертикальной оси на величину переднего угла  $\gamma$  по шкале 1 устанавливают требуемое положение передней поверхности резца, а угол наклона режущей кромки устанавливают поворотом наклонного стола. Зажим резца и его ориентацию на угол  $\varphi$  при заточке задней поверхности производят с помощью приспособления, показанного на рис. 14.11, б.

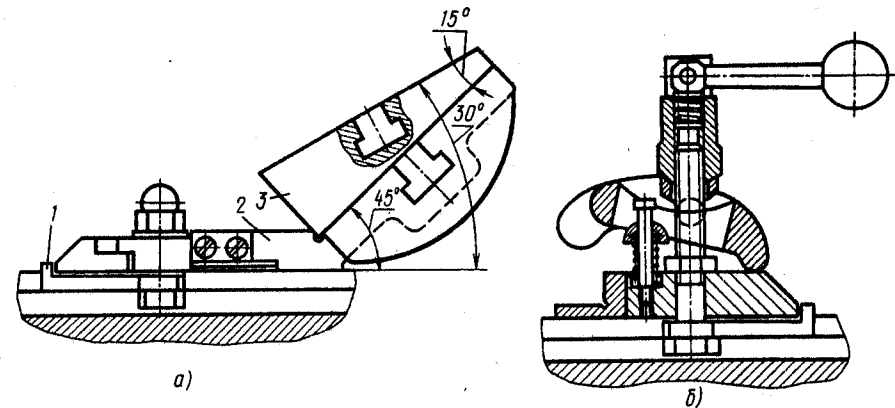


Рис. 14.11. Приспособления для закрепления резцов на заточном станке мод. 3622

**Режимы шлифования при заточке и доводке резцов.** На большинстве станков для заточки резцов применяют круги диаметром 150 или 200 мм при частоте вращения шпинделя 2540 и 3560 об/мин. Универсальные станки имеют четыре или пять значений частоты вращения шлифовального шпинделя. Расчетная окружная скорость круга на станках: 17,5; 20; 28; 30; 35 м/с. Скорость продольного перемещения от 0,2 до 3 м/мин. Число двойных ходов в минуту от 25 до 50. Скорость автоматической подачи врезания от 0,3 до 10 мм/мин. Наибольший припуск, снимаемый за один цикл полуавтомата, до 1,5 мм (на некоторых станках до 3–4 мм).

Назначение режимов шлифования всегда связано с учетом многих факторов, влияющих на эффективность и экономичность технологического процесса. Выбор скорости круга зависит от станка, жесткости технологической системы, размеров круга, наличия СОЖ, особенностей затачиваемого инструмента.

Для алмазных кругов на керамической связке обычно применяют более высокие скорости в пределах 35–45 м/с и шлифование проводят с обязательным применением СОЖ, иначе круги засаливаются.

Для шлифовальных кругов на керамической связке окружную скорость назначают значительно меньше, чем для алмазных, в пределах 10–20 м/с, чтобы обеспечить самозатачивание режущей поверх-

14.12. Режимы заточки и доводки твердосплавных резцов

Вид шлифования	Характеристика инструмента			Рекомендуемый режим шлифования		
	Абразивный материал	Связка	Зернистость	Скорость круга, м/с	Скорость продольная, м/мин	Поперечная подача, мм/дв. ход.
Алмазная заточка	АС4, АС6	Металлическая М1, МВ1 Керамическая К5 Бакелитовая Б156, БП2, Б1	125/100, 100/80, 80/63 125/100, 100/80 125/100, 100/80, 80/63	18-25	1,5-3	0,04-0,08
	АС4, АС6 АС2, АС4			25-45 18-35	1,5-2,5 1,5-2,5	0,03-0,04 0,02-0,05
Алмазная доводка	АС2, АС4	Бакелитовая Б1, Б156	80/63, 63/50, 50/40	18-30	0,3-1,5	0,005-0,01
Абразивная заточка	63С	Керамическая К5 Бакелитовая Б1	40, 25 40, 25, 16	10-18 12-20	2,5-5 2,5-5	0,03-0,15 0,03-0,15
				17-28 17-28	0,03-0,50 0,03-0,40	0,4-1,5 0,1-1,5
Алмазная глубинная заточка	АС4, АС6	Металлическая М1, МВ1 Органическая Б156	125/100, 100/80 125/100, 100/80	17-28	0,03-0,50 0,03-0,40	0,4-1,5 0,1-1,5
Абразивная прорезка канавок, лунок и порошков	АС4, АС6	Металлическая М1, МВ1	125/100, 100/80	17-28	0,03-0,05	-

ности за счет выкрашивания зерен по мере образования на них плоских площадок износа.

Для алмазных кругов на металлических связках скорость круга назначают в пределах 15-25 м/с, для кругов на органических связках - в пределах 18-35 м/с. Рекомендуемые режимы заточки и доводки твердосплавных резцов приведены в табл. 14.12.

Увеличение продольной подачи при заданной скорости съема припуска уменьшает опасность появления трещин или прижогов. Однако применение при заточке небольших глубин шлифования и малых поперечных подач сопровождается увеличением числа проходов, которые необходимо сделать для съема заданного припуска, что снижает производительность заточника. Поэтому в зависимости от конкретных условий следует выбирать наиболее целесообразное соотношение между продольной и поперечной подачами. Применение интенсивных режимов шлифования, как правило, возможно только при применении СОЖ с расходом не менее 5-8 л/мин. Некоторые конструкции заточных станков оснащены еще более мощными системами охлаждения с расходом СОЖ до 20-40 л/мин.

**Станки для заточки резцов.** Для заточки резцов используют заточные станки общего назначения и специальные станки для резцов.

Для чистовой заточки твердосплавных напайных резцов всех типов (за исключением изогнутых) высотой сечения державки до 25 мм предназначен станок мод. 3622 и его упрощенная модификация 3622Д.

Кинематическая схема станка мод. 3622 приведена на рис. 14.12. Шлифовальный шпиндель 8 вращается в двух парах радиально-упорных подшипников и приводится с помощью плоскоременной передачи от электродвигателя мощностью 1,5 кВт, установленного на шлифовальной бабке 7. Ременная передача имеет ступенчатые шкивы, что обеспечивает две скорости 20 и 28 м/с кругу диаметром 150 мм. Двигатель реверсируемый, т.е. может вращаться по часовой и против часовой стрелки. Шлифовальная бабка 7 может перемещаться в продольном направлении относительно салазок 2 по направляющим качения. Продольное перемещение является возвратно-поступательным (осциллирующим) и осуществляется от электродвигателя с помощью червячной передачи 6 и кулисного механизма, состоящего из качающейся кулисы 3, кривошипа 5 с изменяющимся эксцентриситетом (кулачка) и промежуточного кольца 4. Изменение эксцентриситета кривошипа 5 приводит к изменению угла качания кулисы 3, а следовательно, и к изменению величины продольного перемещения шлифовальной бабки (величины осцилляции). Необходимый продольный ход бабки устанавливается с помощью маховика 10, расположенного слева на передней стенке станины 1. Станина 1 имеет коробчатую форму с двумя отсеками. В правом отсеке размещается электрооборудование, а в левом отсеке - бак для СОЖ.

Салазки 2 имеют поперечное перемещение относительно ста-

нины 1, осуществляемое винтовым механизмом с помощью маховика 9. Каретка и шлифовальная бабка закрыты кожухом, в верхней части которого размещен пульт управления.

Для установки приспособлений с закрепленными в них затачиваемыми резцами предназначен наклонный стол, имеющий горизонтальную ось поворота. Наклонный стол связан с корытом, закрепленным на передней части станины и предназначенным для сбора СОЖ. На наклонный стол при необходимости устанавливают приспособление для правки кругов.

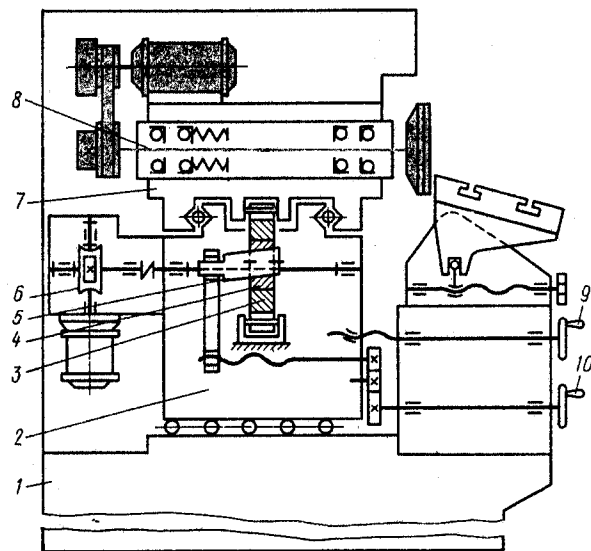


Рис. 14.12. Кинематическая схема заточного станка мод. 3622

В упрощенной модификации этого станка (мод. 3622Д) отсутствует механизм осцилляции шлифовальной бабки. Продольное перемещение резца при наладке и заточке осуществляется заточником вручную относительно наклонного стола. Мощность двигателя 0,8 кВт. Станок в основном предназначен для доводочных операций и для образования стружколомающих лунок кругом формы IFFIX диаметром 50 или 80 мм.

Для чистовой автоматизированной заточки твердосплавных напайных токарных и строгальных резцов по задним поверхностям предназначен полуавтомат мод. 3Е624 повышенной точности. Наибольшая высота сечения затачиваемого резца до 50 мм. Привод главного движения осуществляется электродвигателем мощностью 2,2 кВт. Круг диаметром 200 мм имеет две скорости 20 и 28 м/с.

**Контроль качества заточки резцов.** Основными требованиями, предъявляемыми к качеству заточки резцов, являются:

1. Точность выполнения линейных размеров и углов заточки, заданных по чертежу. Допускаемые отклонения контролируемых углов на резцах приведены в табл. 14.6.
2. Точность выполнения размеров лунок, фасок, стружколомающих порожков.
3. Отсутствие на режущих кромках забоин, заусенцев, завалов, выкрашиваний.
4. Отсутствие на затачиваемых поверхностях прижогов, сетки поверхностных трещин, одиночных глубоких поверхностных трещин.
5. Шероховатость затаченных поверхностей в пределах, указанных на чертеже (см. табл. 14.9 и 14.10).

Линейные размеры измеряют различными инструментами: масштабной линейкой, штангенциркулем, микрометром, индикатором часового типа или различными шаблонами. Плоскостность рабочих поверхностей и прямолинейность режущих кромок определяют лекальной линейкой. Для контроля угловых размеров используют универсальные или специальные приборы разных конструкций. При использовании настольного угломера резец устанавливают базовой плоскостью на основание угломера. Измерительные плоскости поворотного указателя последовательно совмещают с соответствующими поверхностями на резце: с задней поверхностью при измерении заднего угла  $\alpha$  (рис. 14.13, а), с передней поверхностью

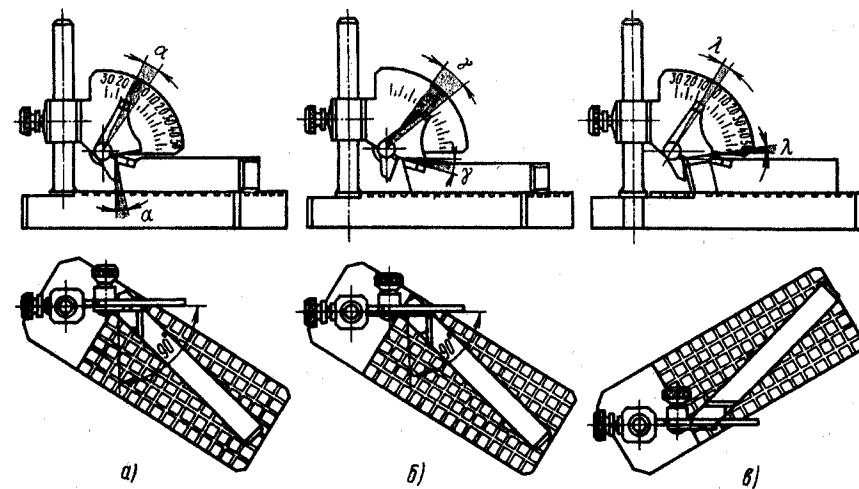


Рис. 14.13. Контроль углов заточки резца настольным угломером

при измерении переднего угла  $\gamma$  в нормальном сечении (рис. 14.3, б) или с главной режущей кромкой при измерении угла  $\lambda$  (рис. 14.13, в). Величина соответствующих углов отсчитывается по шкале с ценой деления  $1^\circ$ .

Контроль шероховатости поверхности осуществляют сравнением с образцами, аттестованными с помощью щуповых или

оптических приборов в измерительной лаборатории. В необходимых случаях шероховатость поверхности контролируется непосредственно профилографом-профилометром завода «Калибр» и посредством других приборов для измерения шероховатости поверхности. При контроле шероховатости режущих кромок используют алмазные иглы специальной формы.

Контроль на наличие трещин проводят с помощью цветной дефектоскопии. Перед проверкой поверхность заточенного инструмента должна быть очищена с помощью ацетона. На контролируемую поверхность наносят последовательно два слоя красной краски с интервалом 1–1,5 мин, обладающей высокой проникающей способностью. Краска состоит из 950 мл бензола, 50 мл масла и 10 г растворимого темно-красного красителя (судан). Этот состав краски применяют для контроля инструментов, подогретых до 50°C или выше. При меньшей температуре инструмента краска должна содержать 200 мл бензола, 800 мл топлива Т1 или Т2 и 10 г красителя (судан). Выявление трещин осуществляют с помощью белой краски, состоящей из 50 г цинковых белил, разведенных в 200 мл бензола. В эту смесь при помешивании вливают 700 мл коллодия, а затем 10 мл ацетона. Можно применять и другой состав белой краски: 600 мл коллодия на ацетоне, 400 мл бензола и 50 г густотертых цинковых белил.

Второй или третий слой красной краски удаляют тампоном, смоченным в смеси из 30% керосина и 70% трансформаторного масла. Затем наносят белую краску, имеющую большую гигроскопичность. Благодаря этому свойству через 5–6 мин на белой краске могут появиться красные линии, если контролируемая поверхность имеет трещины, в которые проникла красная краска. Красную краску наносят твердой кистью, а белую краску — мягкой кистью или краскораспылителем.

#### 14.5. ЗАТОЧКА СВЕРЛ

**Конструктивные элементы и геометрические параметры режущих элементов сверл.** Сверла используют для сверления сквозных или глухих отверстий в заготовках, обрабатываемых на сверлильных, токарных и многоцелевых, револьверных, агрегатных станках. По назначению и особенностям конструкции различают сверла спиральные с цилиндрическим или коническим хвостовиком; сверла спиральные, оснащенные пластинами из твердого сплава; сверла спиральные цельные твердосплавные с цилиндрическим или коническим хвостовиком; сверла глубокого сверления; центровочные сверла.

Конструктивные элементы спирального сверла с коническим хвостовиком показаны на рис. 14.14, а, то же, для сверла с цилиндрическим хвостовиком — на рис. 14.14, б.

Спиральное сверло с нормальной заточкой имеет две главные кромки 3 и 4 (рис. 14.14, в), поперечную кромку 9, две вспомогательные кромки 2 и 6. Главная режущая кромка 3 образуется

пересечением передней винтовой поверхности 1 с главной задней поверхностью 11. Поперечная кромка 9 является линией пересечения двух задних поверхностей 5 и 11. Задняя поверхность может быть выполненной в виде плоскости, конической или винтовой поверхности. На спинке 8 зуба сверла расположены ленточки 7 и 10. Пересечение цилиндрической поверхности ленточки с винтовой передней поверхностью образует вспомогательную кромку, которая выполняет работу резания на длине, соответствующей половине

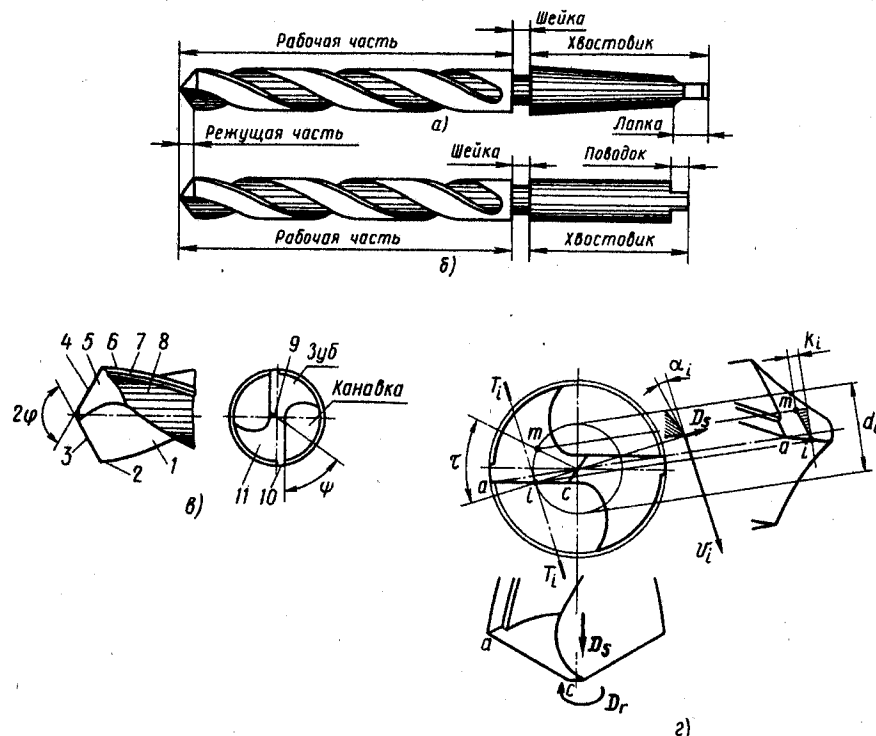


Рис. 14.14. Конструктивные элементы спиральных сверл

осевой подачи на один оборот сверла. Расположение всех режущих элементов сверла должно быть симметричным относительно оси инструмента. Задние поверхности сверла должны иметь зазор с поверхностью резания (дном отверстия) по всех точках, кроме точек режущих кромок при всех значениях подачи. Это должно гарантироваться формой заточки задней поверхности и величиной заднего угла.

Точки  $a$ ,  $i$ ,  $c$  (рис. 14.14, г) главной режущей кромки сверла участвуют в двух движениях: вращательном с угловой скоростью  $\omega_c$  и поступательном — движении подачи  $D_s$ . Окружные скорости этих точек имеют разную величину и уменьшаются с уменьшением радиуса точки.



Траектория движения точки (например,  $i$ -й) — винтовая линия — характеризуется радиусом проведенного через эту точку цилиндра и шагом, численно равным размеру подачи  $D_s$  на один оборот сверла.

В соответствии с кинематикой резания задний угол  $\alpha_i$  определяется в плоскости  $T_i$ , касательной к траектории движения  $i$ -й точки, и измеряется между направлением вектора окружной скорости  $v_i$  и касательной к задней поверхности.

Для нормальных условий резания размер задних углов должен возрастать с уменьшением радиуса точки на главной кромке. Так, задний угол в точке  $i$  должен быть больше, чем у периферийной точки  $a$ , т. е.  $\alpha_i > \alpha_a$ . Задние поверхности сверла затачиваются так, чтобы всегда обеспечивалась эта закономерность изменения задних углов в соответствующих точках, расположенных на главной кромке зуба сверла.

Измерение заднего угла  $\alpha_i$  в плоскости  $T_i$  представляет значительную трудность, поэтому его рассчитывают по приближенной формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_i = \frac{k_i \cdot 360}{\pi d_i \tau}$$

откуда

$$\alpha_i = \operatorname{arctg} \frac{k_i \cdot 360}{\pi d_i \tau}$$

где  $k_i$  — спад задней поверхности, т. е. расстояние, измеренное в осевом направлении между точками  $i$  и  $m$ ;  $\tau$  — центральный угол, на котором измеряется спад (см. рис. 14.14, з). При  $\tau = 10 \div 12^\circ$  расчетный задний угол практически равен теоретическому. Преобразуем расчетную формулу

$$k_i = d_i \frac{\pi \tau}{360} \cdot \operatorname{tg} \alpha_i = c_i d_i,$$

где коэффициент  $c_i = \operatorname{tg} \alpha_i \frac{\pi \tau}{360}$ . Тогда для точки  $a$ , расположенной на наружном цилиндре сверла  $d$ ,  $k = cd$ .

Для сверл  $d = 8 \div 16$  мм, у которых  $\alpha = 12 \pm 3^\circ$ ,  $c = 0,014 \div 0,023$ ; для сверл  $d = 17 \div 40$  мм, у которых  $\alpha = 11 \pm 3^\circ$ ,  $c = 0,012 \div 0,023$ .

Рекомендуемые значения задних углов в секущей плоскости, касательной к цилиндру, равному диаметру сверла, приведены в табл. 14.13.

Задние поверхности сверла должны быть осесимметричными, т. е. задняя поверхность одного зуба должна совпасть во всех своих точках с задней поверхностью другого зуба после поворота на  $180^\circ$ . Осесимметричность заточки оценивается осевым биением  $\sigma$  главных режущих кромок в средних точках, которое не должно превышать 0,05–0,20 мм для сверл точного исполнения и 0,12–0,30 мм для сверл общего назначения.

Отклонение от прямолинейности главных режущих кромок оценивают по величине стрелы выпуклости или вогнутости их проекции на осевую плоскость сверла. После заточки отклонение

14.13. Задние углы сверл, град

Материал режущей части сверла	Интервалы диаметров сверл, мм	Заточка	
		одноплоскостная	двухплоскостная и винтовая
Твердый сплав	5–30	16	20
Быстрорежущая сталь	0,24–0,95	30	20
Углеродистая инструментальная сталь	0,95–3,0	30	18
	3–7,5	—	16
	7,5–16	—	12*
	16–80	—	11*

\* Эти значения также и для конической заточки.

14.4. Угол при вершине сверла

Обрабатываемый материал	2 ф, град	Обрабатываемый материал	2 ф, град
Универсальное применение	118	Хрупкие материалы, мрамор	85–90
Сталь, стальное литье	116–118	Алюминий, силумин	130–140
Чугун	90–118	При двойной заточке для вторых кромок	70
Вязкие сплавы цветных металлов	125–140		

14.15. Заточка спиральных сверл

Обрабатываемый материал	Форма заточки	Обозначение формы заточки
Сталь, стальное литье, чугун	Нормальная	Н
Стальное литье с $\sigma_B$ до 500 Н/мм <sup>2</sup> с неснятой коркой	Нормальная с подточкой лезвия	НП
Сталь и стальное литье с $\sigma_B$ до 500 Н/мм <sup>2</sup> со снятой коркой	Нормальная с подточкой поперечного лезвия и ленточки	НПЛ
Стальное литье с $\sigma_B$ более 500 Н/мм <sup>2</sup> с неснятой коркой; чугун с неснятой коркой	Двойная с подточкой поперечного лезвия	ДП
Сталь и стальное литье с $\sigma_B$ более 500 Н/мм <sup>2</sup> со снятой коркой	Двойная с подточкой поперечного лезвия и ленточки	ДПЛ
Чугун со снятой коркой	Двойная с подточкой и срезанным поперечным лезвием	ДП-2

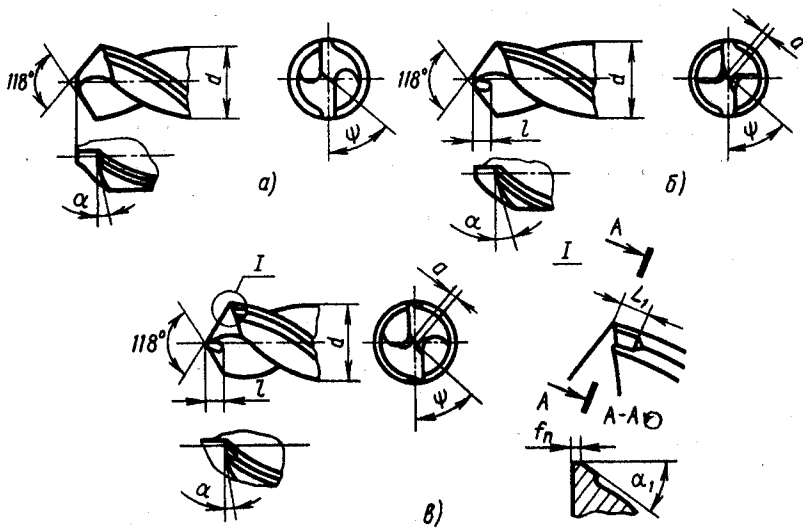


Рис. 14.15. Геометрические параметры режущих элементов спиральных сверл при нормальной заточке:  
 а — без подточек (Н), б — с подточкой поперечного лезвия (НП), в — с подточкой поперечного лезвия и ленточки (НПЛ)

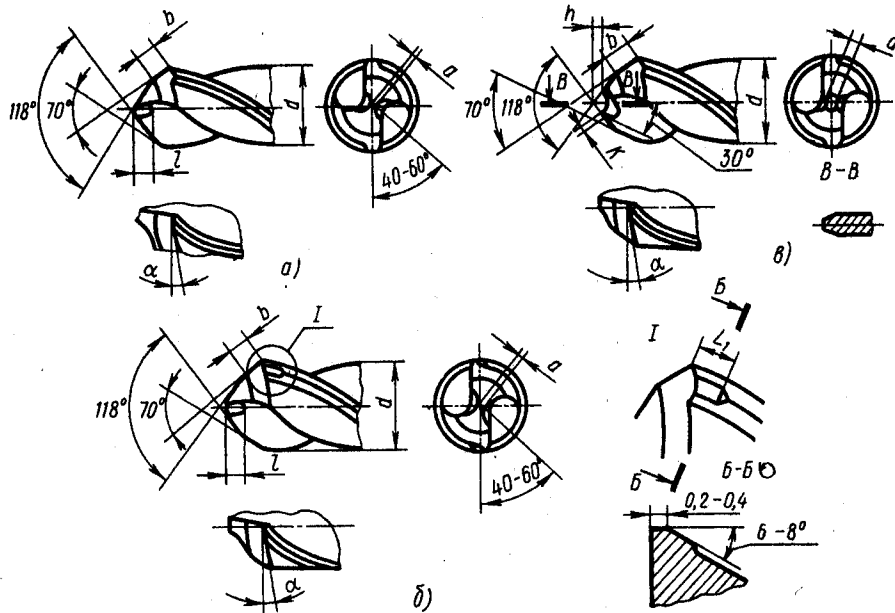


Рис. 14.16. Геометрические параметры режущих элементов спиральных сверл при двойной заточке:  
 а — с подточкой поперечного лезвия (ДП), б — с подточкой поперечного лезвия и ленточки (ДПЛ), в — с подточкой и срезанным поперечным лезвием (ДП-2)

от прямолинейности лезвия должно быть  $2\sigma$ , а разность окружных шагов канавок после заточки  $2,5\sigma$ . Следует отметить, что эти параметры связаны в основном с точностью изготовления канавок и отклонением от соосности сердцевины сверла.

Угол сверла при вершине  $2\phi$  определяется в осевой плоскости сверла между проекциями главных режущих кромок. Стойкость сверла тем больше, чем меньше угол  $2\phi$ , но при малых углах  $2\phi$  затрудняется отвод стружки по винтовым канавкам. Поэтому назначение величины угла  $2\phi$  зависит от обрабатываемого материала (табл. 14.14). При универсальном назначении сверла имеют угол  $2\phi = 118^\circ$ .

Угол наклона поперечной кромки  $\psi$  (рис. 14.14, з) измеряют в плоскости, перпендикулярной оси сверла между проекциями главной и поперечной кромок. Для повышения стойкости сверл его стремятся уменьшать до  $\psi = 45^\circ - 50^\circ$ , а для повышения точности сверления — увеличивать до  $\psi = 55^\circ - 60^\circ$ . Это объясняется тем, что с увеличением угла сокращается длина поперечной кромки, увеличивается активная длина главных режущих кромок, но ухудшаются условия резания поперечной кромкой.

Геометрические параметры заточки и размеры режущих элементов сверл определяются условиями применения сверл. В зависимости от обрабатываемого материала спиральные сверла затачивают с разной формой заточки (табл. 14.15).

Основные параметры спиральных сверл при нормальной заточке форм Н, НП, НПЛ указаны на рис. 14.15.

Основные параметры спиральных сверл при двойной заточке форм ДП, ДПЛ, ДП-2 указаны на рис. 14.16.

Геометрические параметры режущей части спиральных сверл, оснащенных пластинами из твердого сплава, показаны на рис. 14.17 и 14.18.

При двойной заточке образуются переходные кромки под углом  $2\phi_0 = 70^\circ$  (см. рис. 14.16). Длина переходной кромки  $b = 0,2d$ ; длина подточенной по-

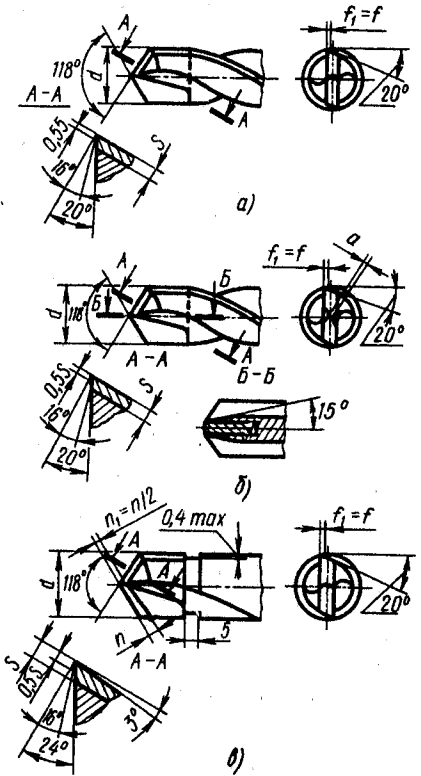


Рис. 14.17. Геометрические параметры режущих элементов спиральных сверл, оснащенных твердосплавными пластинами, при нормальной заточке:  
 а — без подточек (Н), б — с подточкой поперечного лезвия (НП); в — при заточке алмазными кругами (НА)

речной кромки  $a=0,1d$ . Ширина фаски  $h$  при алмазной заточке назначается от 1 до 3 мм.

**Методы заточки спиральных сверл.** Геометрия задних поверхностей при заточке сверл определяется кинематикой относительного движения режущей поверхности шлифовального круга и затачиваемого сверла на заточном станке. Существует много конструкций

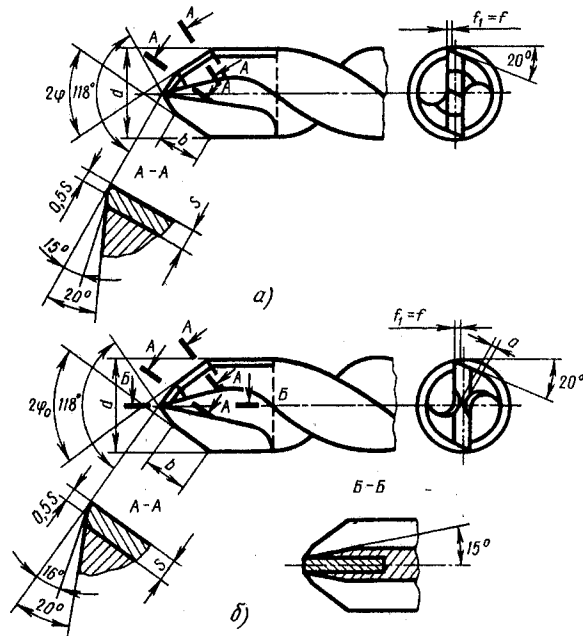


Рис. 14.18. Геометрические параметры режущих элементов спиральных сверл, оснащенных твердосплавными пластинами, при двойной заточке: а — без подточек (Д), б — с подточкой поперечного лезвия (ДП)

станков, работающих с разной схемой формообразования задних поверхностей. Наибольшее применение получили следующие схемы заточки:

1. Одноплоскостная, при которой задняя поверхность выполняется в виде одной плоскости (рис. 14.19, а).
2. Двухплоскостная, при которой задняя поверхность образуется двумя плоскостями — главной и дополнительной, ребро пересечения которых проходит через ось сверла и имеет наклон относительно главной режущей кромки  $\beta$  в пределах от 0 до 40° (рис. 14.19, б, в).
3. Коническая, при которой задняя поверхность выполняется в виде конической поверхности (рис. 14.20, а)
4. Цилиндрическая, при которой задняя поверхность выполняется в виде цилиндрической поверхности (рис. 14.20, б).

5. Винтовая, при которой задняя поверхность образуется прямой линией, совершающей винтовое движение, вращаясь вокруг оси сверла и одновременно перемещаясь поступательно в направлении этой оси при постоянном угле наклона к оси сверла (рис. 14.21).

Использование того или иного метода зависит от диаметра сверл, инструментального и обрабатываемого материалов, размера партии затачиваемых сверл и степени автоматизации оборудования и других причин.

В настоящее время наиболее перспективными и чаще всего используемыми являются схемы двухплоскостной и винтовой заточки, так как в этом случае наиболее просто решаются задачи автоматизации процесса заточки. Точность сверления сверлами, заточенными по этим схемам, также является наилучшей по сравнению с другими схемами заточки. Довольно широкое применение имеет также конический метод заточки сверл.

**Станки для заточки сверл.** Отечественная станкостроительная промышленность выпускает станки для заточки сверл  $\phi$  0,1–80 мм. Заточные полуавтоматы для сверл предназначены для одноплоскостной (мод. МФ174 и др.), двухплоскостной (мод. ЗБ650, ЗЕ651, ЗД653, И169 и др.) и винтовой (мод. ЗГ653, 365Б1, 365Б2 и др.) заточек. Заточки остальных форм обычно осуществляют на универсальном оборудовании с использованием соответствующих приспособлений.

При наладке станка мод. ЗБ650 для двухплоскостной заточки с заданными размерами задних углов  $\alpha$  и  $\alpha_{доп}$  (см. рис. 14.19, б, в), измеряемых в плоскости, касательной к цилиндрической поверхности радиуса, равного диаметру сверла, необходимо определить углы  $\alpha_n$

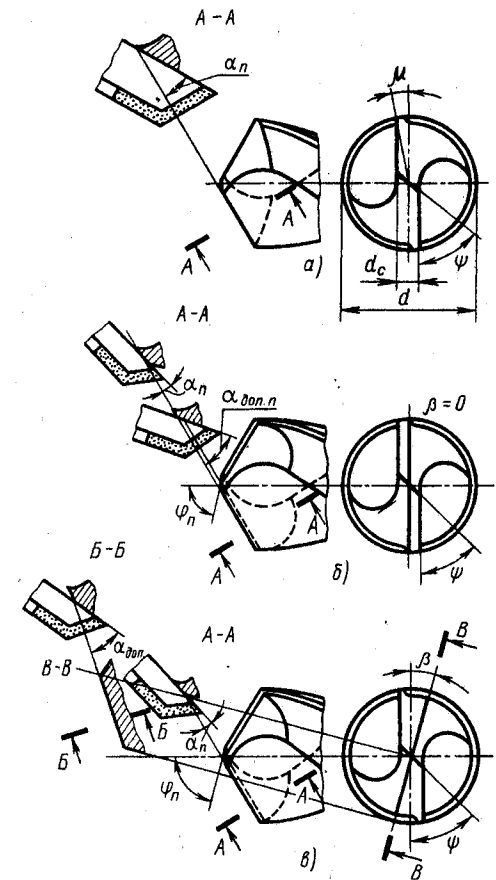


Рис. 14.19. Заточка задней поверхности спирального сверла одноплоскостная (а) и двухплоскостная с  $\beta = 0^\circ$  (б) и с  $\beta \neq 0^\circ$  (в)

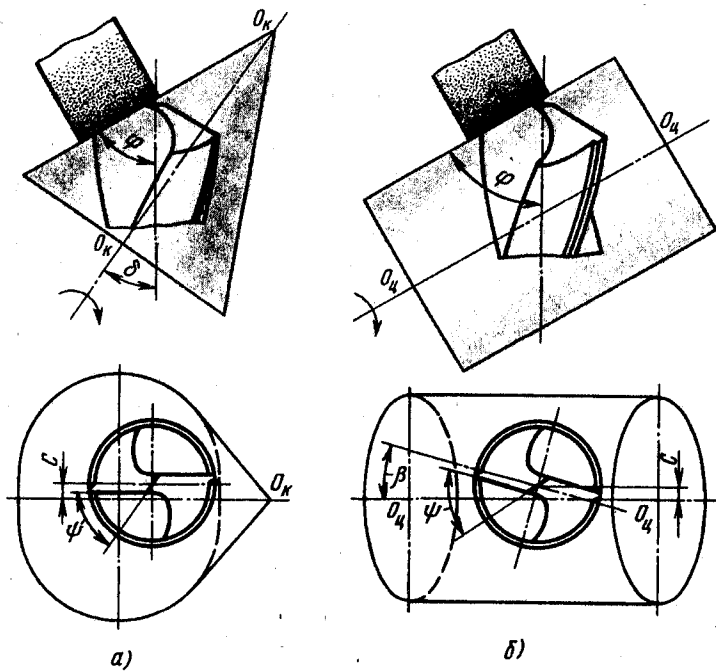


Рис. 14.20. Заточка спирального сверла с конической (а) и цилиндрической (б) задней поверхностью

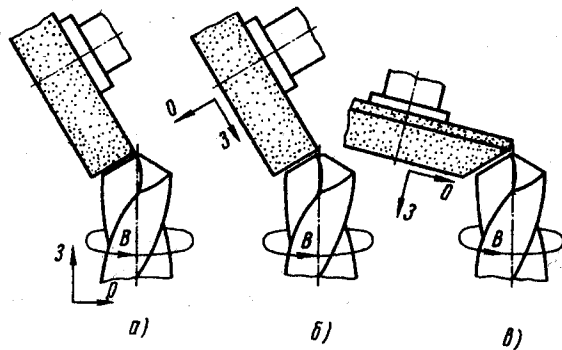


Рис. 14.21. Заточка спирального сверла с винтовой задней поверхностью:  
 а — сверло совершает движения вращения  $B$  (относительно собственной оси), осцилляции  $O$  и затылования  $З$ ; б, в — сверло совершает движение вращения  $B$ , круг — движения осцилляции  $O$  и затылования  $З$

и  $\alpha_{доп.п}$  в нормальном сечении, равные углам поворота шлифовальных шпинделей. Расчеты выполняют по следующим формулам:

$$\operatorname{tg} \alpha_n = (\operatorname{tg} \alpha \sin \varphi - \cos \varphi \sin \mu) / \cos \mu,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{доп.п} = (\operatorname{tg} \alpha_{доп} \sin \varphi - \cos \varphi \sin \mu) / \cos \mu,$$

где  $\sin \mu = d_c / d$ ;  $\cos \mu = \sqrt{d^2 - d_c^2} / d$ ;  $d$  — диаметр сверла;  $d_c$  — диаметр сердцевины сверла (см. рис. 14.19, а).

Для ориентировочных расчетов можно пользоваться соотношениями:  $\operatorname{tg} \alpha_n \approx \operatorname{tg} \alpha \sin \varphi - (d_c / d) \cos \varphi$ .

При  $2\varphi = 118^\circ$  и  $d_c / d = 0,15$  это соотношение принимает частный вид:  $\alpha_n \approx 0,893 (\alpha - 5^\circ)$ .

При заточке задней поверхности сверла по цилиндрической схеме (см. рис. 14.20, б) применяют простые приспособления, одно из них к точильно-шлифовальным станкам показано на рис. 14.22. Сверло

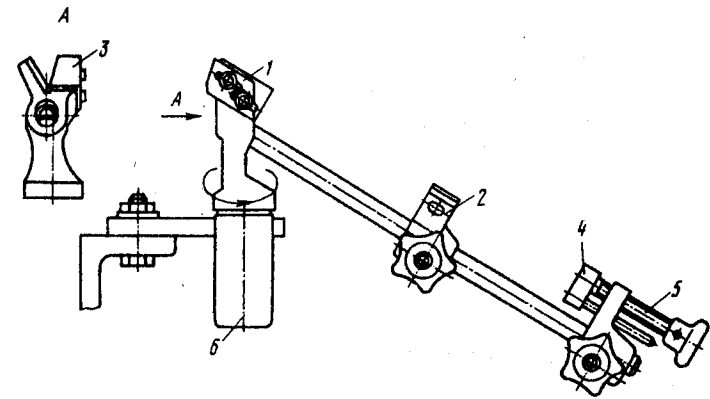


Рис. 14.22. Приспособление для заточки сверла с цилиндрической задней поверхностью

устанавливают в призмах 1 и 2 и ориентируют в осевом направлении планкой 3 и упором 4. При заточке приспособления вручную поворачивают вокруг оси 6, обеспечивая профилирование цилиндрической задней поверхности сверла. Для подачи сверла в осевом направлении на глубину шлифования имеется микрометрический винт 5. Приспособление рассчитано на заточку углов  $2\varphi = 118 \pm 3^\circ$  и  $\alpha = 12 \pm 3^\circ$ . Осесимметричность режущих кромок обеспечивается попеременной заточкой зубьев на последних проходах.

На рис. 14.23, а дана схема заточки сверл с конической задней поверхностью. Образующая заточного конуса совпадает с торцом шлифовального круга 1. Ось сверла ( $O_1 O_2$ ) и ось заточного конуса ( $O_3 O_4$ ) скрещиваются под углом  $\delta$  (обычно  $23^\circ$ ). Сверло фиксируется зажимными губками 2, 3 и задним центром 4. Относительно торца шлифовального круга сверло устанавливается под углом  $\varphi$ .

При заточке одного зуба сверло покачивается относительно оси  $O_1 O_2$  и подается на врезание для съема припуска в направлении  $D_s$ . Заточка зубьев на сверле производится последовательно. Изменение задних углов осуществляется изменением вылета  $l$  сверла: с увеличением вылета  $l$  радиус кривизны конической поверхности возрастает и задние углы уменьшаются. Для ориентировочной настройки принимают  $l = 0,75 d$ , где  $d$  — диаметр сверла.

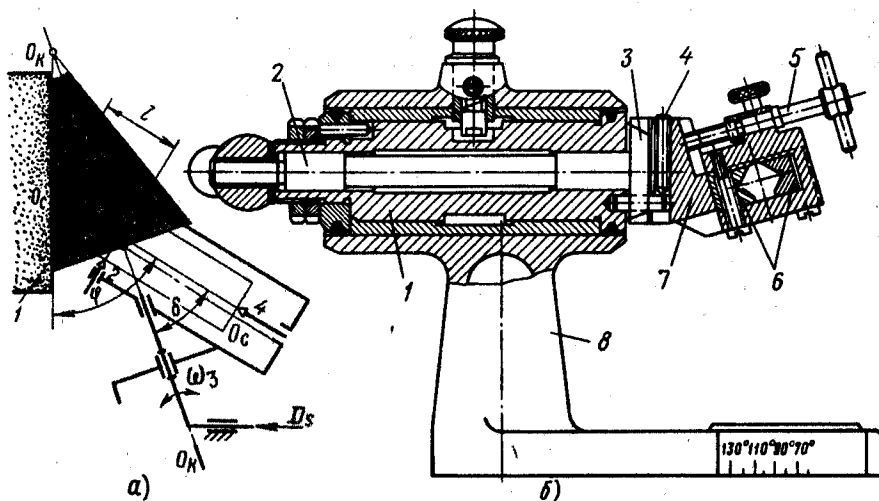


Рис. 14.23. Приспособление для заточки сверла с конической задней поверхностью

На рис. 14.23, б показано приспособление для установки сверла, состоящее из стойки 8, поворотной гильзы 1, кронштейна 7 с регулируемыми губками 6, перемещаемыми винтом 5. Винт 4 перемещает кронштейн 7 по направляющим 3 для изменения величины смещения между перекрещивающимися осью сверла и осью 2 конуса заточки, совпадающей с осью поворотной гильзы 1. Чем ниже располагается ось сверла относительно оси гильзы, тем больше будет величина заднего угла на сверле при заданном осевом вылете сверла. Ориентация сверла в державке осуществляется по упорам: осевому (регулирование вылета) и боковому (регулирование положения главной режущей кромки).

**Технология заточки сверл.** Удаление припуска при заточке сверл по задней поверхности можно производить по разным схемам. При глубинном (однопроходном) методе припуск полностью снимается с одного зуба, а затем после поворота на  $180^\circ$  — со второго зуба сверла. При этой схеме сверло поворачивается только один раз. Для предупреждения биения режущих кромок сверла, связанного с износом круга на автоматических станках, предусматривается правка и компенсация износа круга после заточки каждого зуба сверла. При многопроходном методе припуск может сни-

жаться также отдельно: сначала с одного зуба, а затем с другого или попеременно с обоих. Попеременная многопроходная заточка снижает опасность прижогов или появления трещин, обеспечивает более высокую степень осесимметричности, так как износ круга не оказывает непосредственного влияния на биение режущих кромок. Однако при этом значительно возрастает время, затрачиваемое на процесс деления. При заточке по винтовой задней поверхности сверло вращается непрерывно и попеременная заточка оказывается целесообразной.

При других методах заточки (коническая, двухплоскостная и др.) применяют смешанные схемы съема припуска: основная часть припуска снимается отдельно при наличии продольной многопроходной или врезной подачи, а зачистные и выхаживающие ходы выполняются попеременно. Существующие станки рассчитаны на диапазон скоростей резания кругом от 18 до 60 м/с. Частота вращения сверла при винтовой заточке задней поверхности 16–75 об/мин. Подачу на глубину шлифования обычно выбирают 0,005–0,08 мм/дв. ход при многопроходном шлифовании и 0,5–1,5 мм — при однопроходном. Автоматическая компенсация износа круга предусматривается в пределах 0,004–0,04 мм. Снимаемый припуск за цикл зависит от характера износа сверла — иногда величина припуска доходит до 1,5–2,5 мм. Скорость продольного перемещения при заточке назначают в пределах 1–2 м/мин при заточке сверл, оснащенных твердосплавными пластинами, и 3–8 м/мин — при заточке сверл из быстрорежущей стали.

Выбор характеристики круга зависит от оборудования, материала режущей части сверл и требований к шероховатости поверхности (табл. 14.16).

14.16. Шлифовальные круги для заточки сверл

Требуемая шероховатость поверхности $R_a$ , мкм	Материал режущей части сверла	Характеристика круга (абразивный материал — зернистость — твердость — структура — концентрация — связка)
0,63–0,32	Быстрорежущая сталь	(24A, 25A, 45A) — (40, 25, 16) — (M3; CM1, CM2) — (6, 8) — (K1, K5, K8) Л — (16, 10) — 100% — Б1, БП1, С10
	Твердый сплав	(63С, 64С) — (40, 25, 16) — (СМ1, СМ2) — (5, 6, 8) — (K2, K3) АС4, АС6 — (125/100, 100/80) — 100% — М1, ТМ2, Б156
0,32–0,125	Быстрорежущая сталь	(25А, 45А) — (25, 16, 12, 8) — (M3, CM1) — (5, 6, 8) — (Б, K5, K1)
	Твердый сплав	АС2, АС4 — (100/80, 80/63, 63/50, 50/40) — 100% — (Б1, КБ, Б156)

Для улучшения условий резания при сверлении стремятся изменить геометрию режущей части сверла путем применения двойной заточки (при сверлении материалов с повышенной прочностью  $\sigma_b \geq 50$  МПа), подточки поперечной кромки и подточки ленточки. Основные виды подточек и области их применения были приведены в табл. 14.15 и на рис. 14.15–14.18. Эти подточки следует проводить на специальном оборудовании или с использованием необходимых приспособлений, гарантирующих получение осесимметричной заточки. Формы применяемых кругов для разных видов подточек приведены на рис. 14.24. Используют круги прямого профиля (рис. 14.24, в), с двусторонним или односторонним коническим профилем (рис. 14.24, е, б), с радиусным или иным фасонным профилем (рис. 14.24, а, г, д).

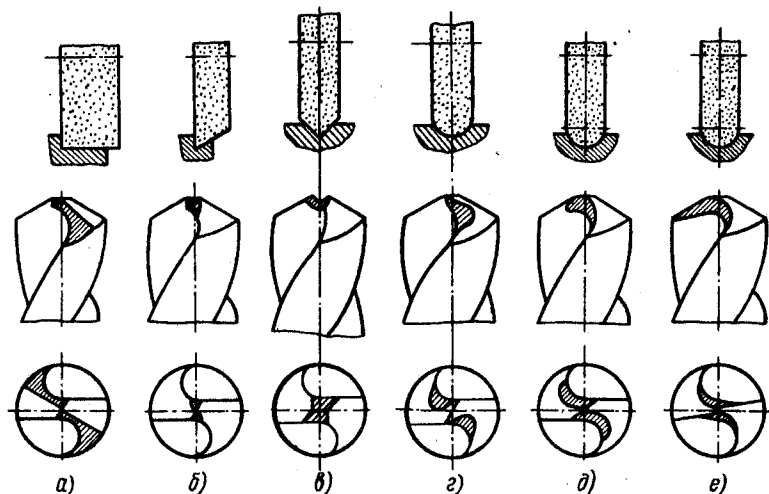


Рис. 14.24. Профили кругов, используемые при некоторых формах подточки:

а — со стружкоотводящей канавкой, б — с увеличением передних углов на поперечной кромке, в — с увеличением передних углов на поперечной кромке и срезанием затылочной части пера, г — со срезанием части поперечной кромки, д — со срезанием части поперечной кромки и подточкой главных кромок; е — с прорезкой поперечной кромки

**Контроль сверла после заточки.** После заточки контролю подвергают следующие основные параметры сверла: угол при вершине  $2\phi$ , положение поперечной режущей кромки (угол  $\psi$ ), задние углы или величину спада по задней поверхности, биение режущих кромок и их линейные размеры. Для контроля используют универсальные угломеры (рис. 14.25), шаблоны (рис. 14.26) или специальные контрольные приспособления и приборы.

На рис. 14.25, а дан пример измерения угла при вершине  $2\phi$ , а на рис. 14.25, б — угла наклона поперечной кромки  $\psi$  с помощью универсального угломера.

На рис. 14.26 даны схемы контроля угла при вершине  $2\phi$  и длины главной режущей кромки (рис. 14.26, а), угла наклона  $\psi$  и длины поперечной кромки  $a$  (рис. 14.26, б) и заднего угла  $\alpha$  (рис. 14.26, в) с использованием комбинированного шаблона, которым измеряют угол заострения, равный  $90^\circ - (\omega + \alpha)$ , где  $\omega$  — угол винтовой линии на периферии сверла.

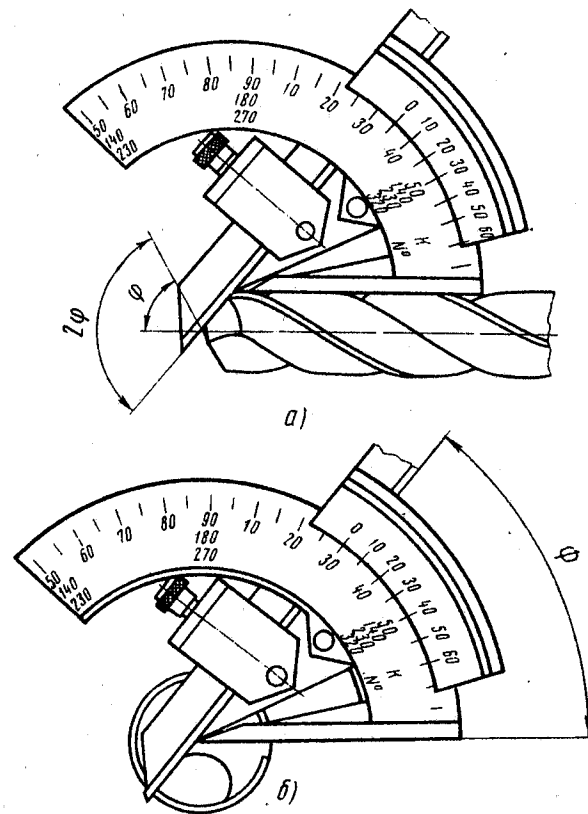


Рис. 14.25. Измерение угла  $2\phi$  при его вершине сверла (а) и угла  $\psi$  наклона поперечной кромки (б) универсальным угломером

Для контроля положения поперечной кромки относительно оси сверло устанавливают в призмах специального приспособления, поворачивая его до тех пор, пока кромка не расположится горизонтально. С середины кромки совмещают риску в виде вертикальной линии, нанесенной на подвижной стеклянной рамке, перемещающейся в поперечном направлении с помощью микрометрического винта. Затем сверло поворачивают на  $90^\circ$ , добываясь вертикального расположения поперечной кромки, и измеряют ее смещение относительно линии на визире, пользуясь микрометрическим винтом.

Приспособление снабжено лупой с десятикратным увеличением, что позволяет повысить точность измерений.

Биение главных режущих кромок контролируется с помощью индикаторов инструментального микроскопа или других специальных приспособлений.

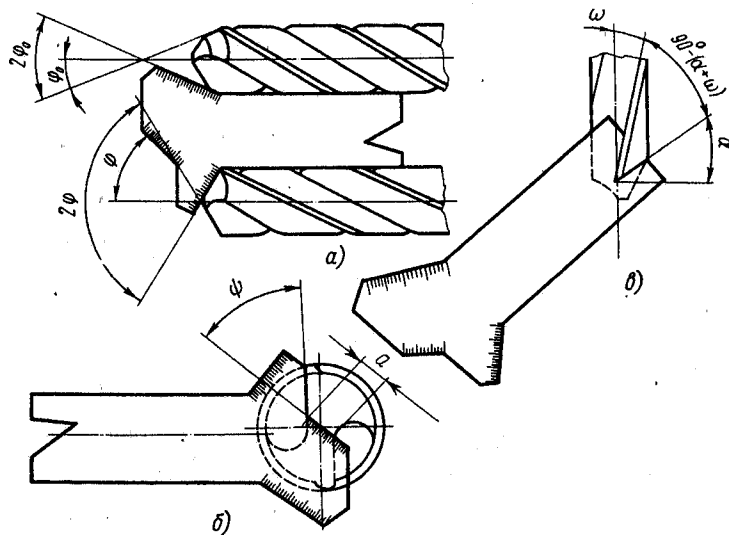


Рис. 14.26. Измерение угла  $2\varphi$  при вершине сверла и длины главной режущей кромки (а), угла  $\psi$  наклона поперечной кромки и ее длины (б) и заднего угла  $\alpha$  (в) с помощью комбинированного шаблона

Шероховатость задней поверхности контролируется методом сравнения с эталонным сверлом, у которого параметры шероховатости аттестованы при лабораторных измерениях. На заточенной поверхности должны отсутствовать следы затупления, заусенцы, трещины, выкрашивания кромок и прижоги. Контроль обычно проводят визуально, хотя в необходимых случаях можно воспользоваться специальными методами обнаружения трещин и прижогов.

#### 14.6. ЗАТОЧКА ЗЕНКЕРОВ И РАЗВЕРТОК

**Конструктивные элементы и геометрические параметры режущей части зенкеров и разверток.** Для повышения точности и уменьшения шероховатости поверхности предварительно просверленных, штампованных и литых отверстий применяют зенкерование или зенкерование с последующим развертыванием. Припуск на диаметр под зенкерование обычно устанавливается в пределах 1–2 мм, под развертывание – 0,1–0,3 мм. При зенкерование шероховатость поверхности  $Rz = 40 \div 10$  мкм, а при использовании твердосплавных зенкеров  $Ra = 2,5 \div 1,25$  мкм. При развертывании отверстий, предвари-

тельно обработанных зенкером или сверлом, достигается шероховатость поверхности  $Ra = 1,25 \div 0,32$  мкм.

Основные конструктивные элементы и элементы режущей части зенкера показаны на рис. 14.27. Рабочая часть зенкера длиной  $l$  состоит из режущей (заборной) части длиной  $l_1$  и калибрующей части  $l_2$ . Крепежная часть хвостового зенкера состоит из хвостовика с лапкой и соединяется с рабочей частью шейкой.

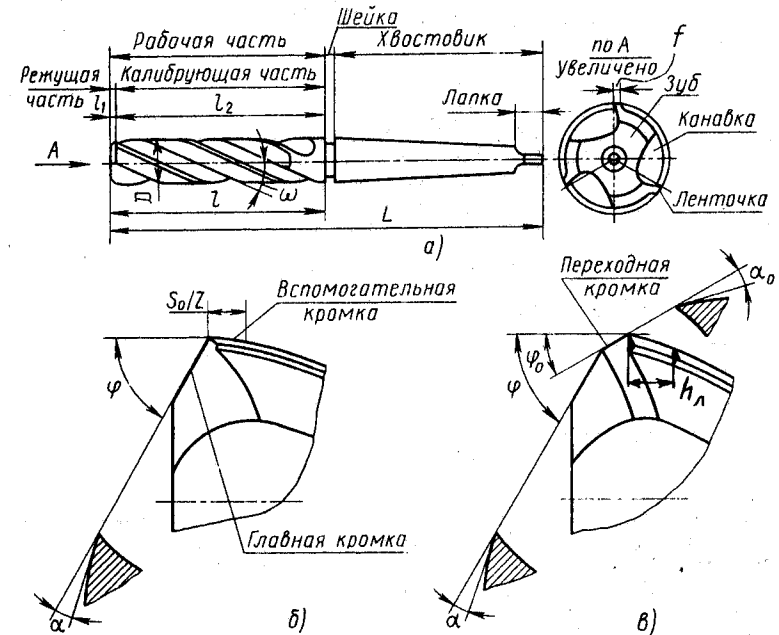


Рис. 14.27. Конструктивные элементы (а) и элементы режущей части (б, в) зенкера

Применяют также насадные зенкеры, имеющие коническое базовое отверстие для закрепления на оправке. По конструктивным особенностям зенкеры разделяются на цельные, составные неразъемные, у которых рабочая часть из быстрорежущей стали соединена методом стыковой сварки с хвостовиком из конструкционной стали или рабочая часть оснащена пластинками твердого сплава, и составные разъемные, у которых вставные ножи из быстрорежущей стали или оснащенные твердым сплавом механически закреплены в корпусе. Передняя поверхность зуба зенкера образуется винтовой поверхностью канавки.

Различают главную заданную поверхность и задние поверхности у вспомогательной и переходной кромок. На спинке каждого зуба располагается направляющая ленточка. Число зубьев у зенкеров – три, четыре или шесть, что обеспечивает надежное центрирование инструмента в обрабатываемом отверстии. Угол режущей части  $\varphi$  обычно

равен  $60^\circ$ . При обработке чугуна его выбирают в пределах  $45-60^\circ$ . При обработке высокопрочных материалов зенкер имеет двойную заточку — с  $\varphi=60^\circ$  на главной кромке и с  $\varphi_0=30^\circ$  на переходной кромке (см. рис. 14.27, б, в).

Ленточка на калибрующей части зенкера шириной  $f=0,8\pm 2,0$  мм служит для направления зенкера в отверстии. Для повышения стойкости ленточку подтачивают на длине 1,5–2 мм. Задний угол  $\alpha$  в нормальном сечении на главной и переходной режущих кромках принимают в пределах  $12-15^\circ$ . Для нормальной работы зенкера при его изготовлении и заточке необходимо обеспечить обратную конусность, а биение по ленточкам и по кромкам не должно превышать допустимых величин (табл. 14.17). Конусность определяется отношением

14.17. Допустимые биения по ленточкам, режущим кромкам и обратная конусность зенкеров

Пределы диаметра зенкера, мм	Допустимое биение, мм		Обратная конусность
	по ленточкам	по кромкам	
До 18	0,02	0,03–0,05	0,04–0,08
Свыше 18	0,04	0,03–0,05	0,05–0,10

разности диаметров  $D$  и  $d$  конической поверхности в двух торцовых сечениях к расстоянию  $l$  между этими сечениями:  $k=(D-d)/l$ .

При заточке зенкеров учитывают их конструкцию и уровень требований к геометрическим параметрам режущей части. При заточке хвостовых зенкеров с напайными пластинами из твердого сплава выполняют следующие операции: затачивают переднюю поверхность алмазными кругами или кругами из карбида кремния, шлифуют по наружной поверхности режущей части и обратному конусу, затачивают задние поверхности режущей и переходной частей зенкера.

Основные конструктивные элементы машинной развертки с коническим хвостовиком показаны на рис. 14.28, а. Рабочая часть длиной  $l$  разделяется на режущую и калибрующую части. Рабочая часть развертки для сквозных отверстий (рис. 14.28, б) состоит из режущей части  $l_1$  с направляющим конусом  $\alpha$  и калибрующей части  $l_2$ , имеющей вначале цилиндрическую часть  $l_3$  и заканчивающейся обратным конусом. Рабочая часть развертки для глухих отверстий не имеет направляющего конуса (рис. 14.28, в).

По конструктивным признакам различают развертки: цельные, составные неразъемные со сварными хвостовиками, составные неразъемные с впаянными пластинками, составные разъемные со вставными ножами, разжимные и регулируемые. По методу закрепления на станке развертки бывают с хвостовиком и насадные, по способу применения — ручные и машинные, по форме обрабатываемой поверхности — цилиндрические и конические.

Угол  $\varphi$  на режущей части развертки затачивают в пределах  $1-60^\circ$ , обычно  $\varphi=5; 15$  и  $45^\circ$ , в зависимости от назначения отверстия, конструкции развертки и обрабатываемого материала (табл. 14.18). Для разверток, изготавливаемых в централизованном порядке, устанавливается  $\varphi=5^\circ$  при обработке хрупких материалов  $\varphi=5^\circ$ , а при обработке вязких —  $15^\circ$ .

На калибрующей части развертки выполняется цилиндрическая ленточка  $f$  шириной 0,1–0,3 мм, т. е. задний угол на калибрующей части равен  $0^\circ$ . На режущей части развертки задний угол  $\alpha$  затачивается до  $15^\circ$ . Для чистовых разверток его уменьшают до  $8-12^\circ$ . Передний угол  $\gamma$  у разверток назначают от  $-5$  до  $+15^\circ$ ; для вязких

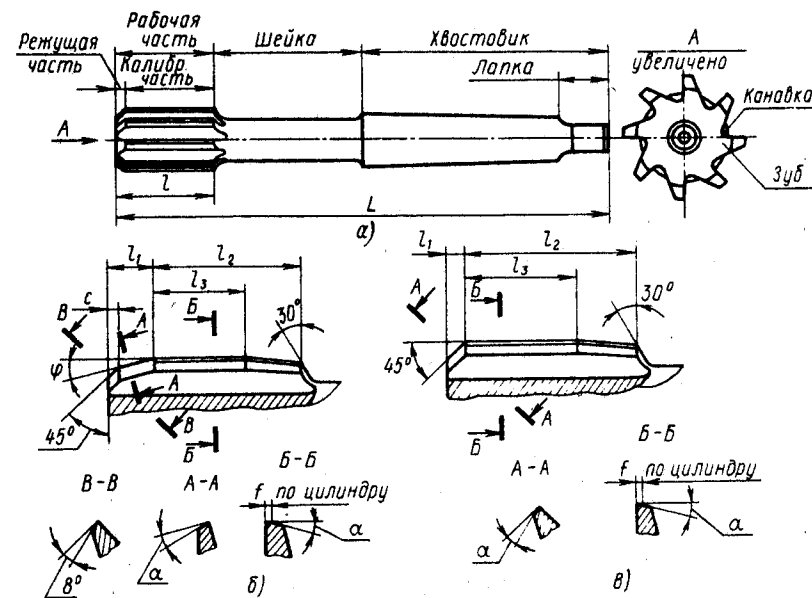


Рис. 14.28. Конструктивные элементы (а) и элементы режущей части (б, в) развертки

14.18. Угол  $\varphi$  заборной части разверток

Вид развертки	Угол $\varphi$ , град	
	отверстие глухое	отверстие сквозное
Ручная	45	1–1,5
Машинная	60	3–5 (чугун и другие хрупкие материалы) 12–15 (сталь и другие вязкие металлы)
Машинные, оснащенные твердосплавными пластинами	—	30–45



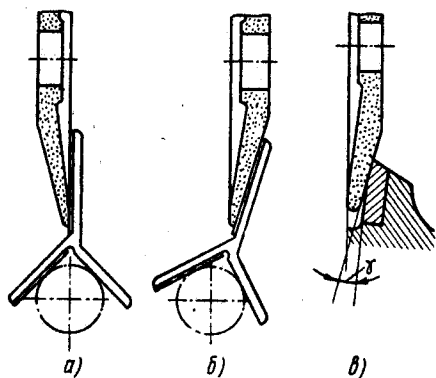


Рис. 14.29. Установка шлифовального круга при заточке передней поверхности развертки:  
 а — с прямым зубом, б, в — с винтовым зубом

линии зуба и шлифование проводят конической поверхностью круга (рис. 14.29, б, в).

Зуб развертки прижимается к кругу с определенным усилием (обычно вручную) без использования делительных приспособлений или упорок. Эта операция очень ответственная, так как равномерность съема зависит от квалификации заточника. При заточке задних поверхностей для фиксации зуба используют упорку. При заточке прямых зубьев упорку закрепляют на столе, она выполняет только опорную функцию и перемещается вместе с разверткой. При заточке винтовых зубьев упорку закрепляют на заточной головке, она служит для придания развертке винтового движения при ее перемещении вместе со столом. Опорная кромка упорки располагается по касательной к винтовой линии зуба. Величина смещения упорки относительно осевой линии развертки определяется по соотношениям:  $h = 0,5 D \sin \alpha$  (для прямых зубьев) и  $h = 0,5 D \sin \alpha_T$  (для винтовых зубьев).

При заточке и доводке разверток, особенно мелкозернистыми кругами, стремятся обеспечить минимальную площадь контакта. Это достигается уменьшением ширины рабочей части у чашечных кругов из электрокорунда и карбида кремния; поднутрением с углом 20–25° или правкой двух конических поверхностей с углами 30–35° и 15° с оставлением узкого пояса шириной 2–3 мм; поворотом шлифовальной бабки на угол 1–3°; применением узкокрюмочных кругов с шириной рабочей части 1,5–2,3 мм (например, формы 11V9); созданием на задней поверхности увеличенных на 2–5° задних углов с оставлением под доводку небольшой фаски.

Выбор характеристики шлифовальных кругов проводят с учетом конкретных условий: конструкции развертки, требований по точности и шероховатости поверхности, размера партии разверток и т. п. Рекомендации по выбору кругов для разных операций заточки и доводки разверток приведены в табл. 14.19.

14.19. Абразивные инструменты для заточки и доводки разверток

Операция	Материал режущей части развертки	
	Твердый сплав	Быстрорежущая сталь
Заточка передней поверхности: предварительная	63С, 64С—25—(МЗ, СМ1, С1)—6—КЗ, Б	(25А, 44А, 45А)—(25,16)—(МЗ, СМ1, СМ2)—6, 8—К5
чистовая	АС4, АС6—125/100, 100/80—100%—(Б1, Б156)	(ЛО, ЛР)—(10, 16)—(СМ1, С1, С2)—100%—6,—С10 25А, 45А—(16, 12)—(МЗ, СМ1)—(6, 8)—К5
доводочная	АС2, АС4—(80/63, 100/80)—100%—Б1—Б156	ЛО—(5, 6, 8)—(50, 100%)—(КБ, БП1, Б156) 64С—(5, 6)—(М40, М28)—(СМ1, СМ2, С1)—Б2—ГФ (АСМ, АСН)—(50/40, 63/50)—100%—Б1, КБ
Шлифование калибрующей части, обратного и заборного конуса	63С, 64С—(25, 16)—(МЗ, СМ1, С1)—6—КЗ АС4, АС6—125/100—100%—Б156—М1	(25А, 45А)—(25, 16)—(СМ1, СМ2)—(6, 8)—К5 (ЛО, ЛР)—(10, 16)—(С1, С2)—100%—6—С10
Заточка задней поверхности: по державке	25А—25—СМ1, СМ2—6—К5	
предварительная	АС4, АС6—125/100—100%—Б156, М1	(25А, 45А)—(25, 16)—(СМ1, СМ2, С1)—(6,8)—К5
окончательная	АС4, АС6—125/100—100%—Б1, Б156	25А, 45А—(16, 12)—(СМ1, СМ2)—(6, 8)—К5 ЛО—(8, 10, 12)—(С1, С2)—100%—6—С10
доводочная	АС2, АС4—100/80, 80/63, 50/40—100%—Б1, Б156	ЛО—(5, 6)—(50, 100%)—(КБ, БП1, Б1) 25А—16—(СМ1, СМ2)—К5 64С—(5, 6)—(СМ1, СМ2)—Б2, ГФ

При повышенных требованиях к точности и шероховатости рабочих поверхностей применяют доводочные операции по фаске на задних поверхностях и по упрочняющей фаске на передней поверхности (табл. 14.20 и 14.21).

**Схемы заточки зенкеров и разверток и применяемые станки и приспособления.** Зенкеры и развертки изнашиваются по задним, передним поверхностям и ленточке. Припуск, снимаемый при заточке передней поверхности, составляет обычно 0,2 мм для зенкеров и 0,15 мм — для разверток. При доводке передней поверхности снимаемый припуск не превышает 0,03–0,05 мм.

**14.20. Шероховатость  $R_z$  (мкм) разверток из быстрорежущей стали**

Поверхность развертки	Развертки			
	чистовые		с припуском под доводку	
	Квалитет обрабатываемых разверткой отверстий		Номер разверток	
	6, 7, 8, 9	10, 11	1, 2, 3	4, 5, 6
Передняя поверхность режущей части			1,6	
Задняя поверхность режущей части	1,6	3,2	3,2	3,2
Ленточка на калибрующей части				
Задняя поверхность калибрующей части	6,3			

**14.21. Шероховатость  $R_z$  (мкм) разверток с напаянными пластинами из твердого сплава**

Поверхность развертки	Развертки				
	чистовые			с припуском под доводку	
	Квалитет обрабатываемых разверткой отверстий			Номера разверток	
	6	7, 8, 9, 10	11	1, 2, 3, 4	5 и 6
Передняя поверхность режущей части	0,8			1,6	
Задняя поверхность режущей части	1,6	1,6	3,2	3,2	3,2
Ленточка на калибрующей части	0,8				
Задняя поверхность калибрующей части	6,3				

При заточке зенкеров лимитирующим является износ  $h_n$  по ленточке, который не должен превышать  $(0,03 \div 0,04) D$ , где  $D$  — диаметр зенкера. При переточках зенкеров припуск, назначаемый по длине зуба,  $h = h_n + (0,08 \div 0,10)$  мм. Длина рабочей части разверток назна-

чается такой, чтобы возможно было осуществить 6—10 раз восстановление инструмента без уменьшения точности размеров отверстия сверх допустимых величин. Поэтому допустимый износ разверток должен быть таким, чтобы при каждой последующей заточке величина, снимаемая по длине зуба, не превышала следующих величин в зависимости от диаметра развертки:

Диаметр развертки, мм	3	5	10	15	20	30	40	50
Припуск по длине зуба, мм	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2

Технология заточки учитывает конструкцию разверток, материал режущей части и назначение развертки, а также высокие требования к точности размеров, радиальному биению зубьев и шероховатости поверхности —  $Ra = 0,1 \div 0,2$  мкм.

Развертки, оснащенные пластинами из твердого сплава, затачивают и доводят в такой последовательности. На круглошлифовальном станке в центрах шлифуют предварительно с припуском от 0,20 до 0,05 мм рабочую и торцовую части зубьев. Для инструментов с напаянными пластинами срезают технологические перемычки, зачищают зубья от следов припоя и затачивают фаску на передней поверхности. Далее затачивают заднюю поверхность по стальной державке под углом  $\alpha + 4^\circ$ , обеспечивая превышение пластинки, и заднюю поверхность с оставлением цилиндрической фаски под углом  $\alpha + 2^\circ$ . После предварительного шлифования и предварительной заточки шлифуют на круглошлифовальном станке последовательно направляющий конус под углом  $45^\circ$ , заборный конус на длине  $l_1$  под углом  $\varphi$ , калибрующую цилиндрическую часть с оставлением припуска не менее 0,02 мм на доводку и обратный конус. Затем производится доводка развертки в заданный размер по калибрующей части, доводка передней поверхности по фаске с передним углом  $\gamma$  и окончательная заточка задней поверхности под углом  $\alpha$  на заборном конусе и задней поверхности под углом  $\alpha$  на цилиндрической калибрующей части и обратном конусе с выдерживанием заданной ширины ленточки.

Развертки из быстрорежущей стали затачивают и доводят в такой последовательности. На заточном станке затачивают переднюю поверхность зубьев и затем на круглошлифовальном станке шлифуют калибрующую часть с оставлением припуска 0,01—0,025 мм, обратный и заборный конусы по размерам, заданным в чертеже. Далее затачивают заднюю поверхность под углом  $\alpha$  с оставлением ленточки шириной 1,0—0,5 мм и доводят переднюю поверхность под углом  $\gamma$ . С помощью чугуновых или алмазных притиров производят притирку калибрующей части по заданному размеру и доводят заднюю поверхность зубьев под углом  $\alpha$ , выдерживая заданную ширину ленточки.

При восстановлении заточкой ранее работавших разверток часть предварительных операций не выполняют, производят только доводку передней поверхности, заточку и доводку задних поверхностей на заборном конусе.

Витебский завод заточных станков имени XXII съезда КПСС изготавливает универсально-заточные полуавтоматы мод. 3М642К повышенной точности с цикловым программным управлением, предназначенные для заточки цилиндрических и конических многолезвийных инструментов с винтовыми и прямыми зубьями. Заточка производится по передней и задней поверхностям. Для заточки инструментов из инструментальных сталей используют эльборовые и шлифовальные круги, для инструментов, оснащенных твердыми сплавами, — алмазные круги.

Цикловое программное управление (ЦПУ) позволяет настраивать режимы резания в очень широком диапазоне. Скорость автоматического продольного перемещения с бесступенчатым регулированием изменяется в пределах 0,1–10 м/мин. Наибольшее перемещение шлифовальной бабки: вертикальное — 250 мм, поперечное — 230 мм. Для повышения производительности труда возможно применение цикла со съемом полного припуска за один оборот затачиваемого инструмента. Производительность труда на полуавтомате 3М642К, оснащенный ЦПУ, выше, чем на станке модели 3М642Е, в 1,8–2,0 раза.

Шлифовальная бабка полуавтомата 3М642К имеет поворот вокруг трех взаимно перпендикулярных осей, что позволяет устанавливать ее при заточке требуемых углов на инструменте непосредственно по шкалам без дополнительных предварительных расчетов. В горизонтальной плоскости и вертикальной плоскости, параллельной продольному перемещению стола, углы поворота шлифовальной бабки — в пределах до 360°. В вертикальной плоскости, перпендикулярной направлению продольного перемещения стола, наибольший угол поворота шлифовальной бабки от +20° до -90°.

Заточку можно производить посредством деления как с помощью делительного диска, так и по упорке. Для заточки инструментов с винтовыми зубьями на полуавтомате имеется синусная линейка, обеспечивающая бесступенчатую настройку на требуемый шаг винтовой линии зуба. Шаг винтовой стружечной канавки у затачиваемого инструмента может настраиваться в пределах от 80 мкм до ∞. Наибольший угол наклона винтовой стружечной канавки равен 40°. Механизм профильной правки шлифовального круга обеспечивает заточку передних поверхностей инструментов, имеющих большие углы наклона винтовой канавки.

На полуавтомате 3М642К можно устанавливать круги диаметром от 100 до 250 мм. Шпиндель шлифовального круга имеет четыре частоты вращения: 2000, 2800, 4000 и 5600 об/мин.

Шероховатость передней поверхности при заточке  $Ra < 0,63$  мкм, накопленная погрешность окружного шага стружечных канавок — не более 50 мкм, погрешность винтовой линии стружечной канавки — не более  $\pm 50$  мкм на каждые 100 мм длины рабочей части фрезы.

Полуавтомат мод. 3М642К рассчитан на широкое использование при мелкосерийном и серийном производствах инструментов на инструментальных заводах и в инструментальных цехах машиностроительных заводов.

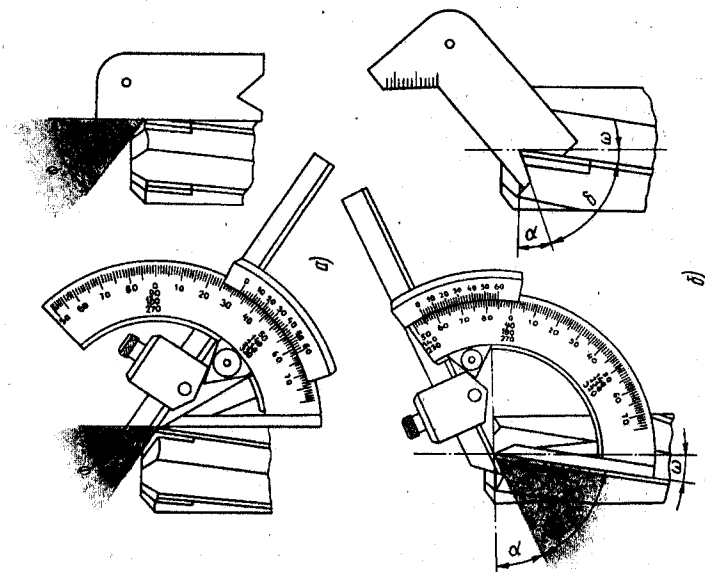
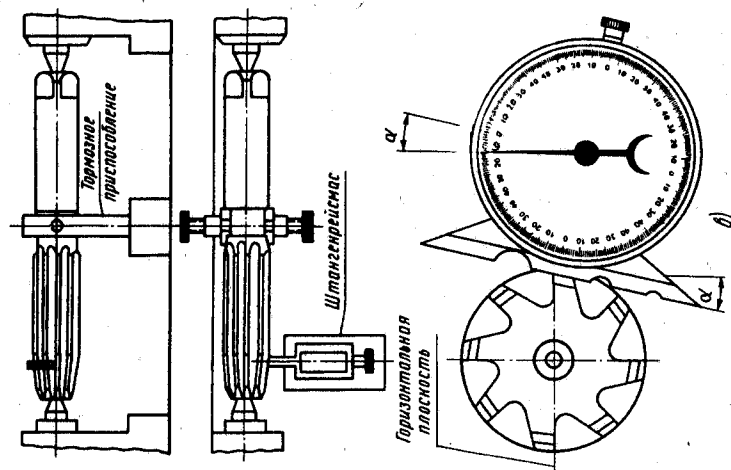


Рис. 14.30. Контроль геометрических параметров зеренков и разверток:  
а — главного угла в плане ф универсальным угломером и шаблоном, б — заднего угла α универсальным угломером и шаблоном, в — заднего угла α маятниковым угломером

**Контроль качества заточки зенкеров и разверток.** После заточки осуществляют контроль геометрических параметров режущих частей зенкеров и разверток. Радиальное биение режущих кромок не должно превышать 0,01 мм для разверток и 0,02 мм для зенкеров, оно контролируется в центрах с помощью индикатора. Передний и задний углы режущей части не должны отличаться от номинальных значений более чем на  $\pm 1^\circ$ . Контроль осуществляют с помощью угломеров, индикаторных устройств, инструментального микроскопа, шаблонов или других измерительных средств (рис. 14.30).

Длина режущей и переходной частей имеет допускаемое отклонение  $\pm 0,2$  мм и контролируется штангенциркулем или шаблоном. Шероховатость поверхности контролируется по эталонам или непосредственным измерением на приборе МИС-11. Визуально контролируют отсутствие трещин, выкрошенных мест, заусенцев, следов коррозии, черновин и цветов побежалости. В случае необходимости контролируют наличие остаточного аустенита на соответствующих установках, отсутствие трещин — люминесцентными или другими методами.

Для сохранения качества режущих кромок при транспортировке инструмента их следует покрывать тонкой защитной пленкой, например, из смеси этилцеллюлозы (25%), дибутилфталата (20%) и веретенного масла (55%). Перед покрытием смесь нагревают до  $150^\circ\text{C}$ .

#### 14.7. ЗАТОЧКА ФРЕЗ

**Конструктивные элементы и геометрические параметры фрез.** Фрезы используют на фрезерных станках для обработки плоских и фасонных поверхностей: открытых, сплошных и прерывистых плоскостей, пазов, уступов, канавок, шлицев, щелей, торцов при разрезке и т. п. Основные типы фрез приведены на рис. 14.31.

Фрезы получают наименование по ряду признаков:

по основным конструктивным особенностям — цилиндрические (рис. 14.31, а, б), дисковые двух- и трехсторонние (рис. 14.31, и), угловые (рис. 14.31, м), фасонные (рис. 14.31, н), прорезные и отрезные (рис. 14.31, к, л), торцовые (рис. 14.31, в-д), концевые (рис. 14.31, е, ж) и шпоночные (рис. 14.31, з) фрезы;

по способу образования задней поверхности зуба — незатылованные, подвергающиеся заточкам по задней поверхности (рис. 14.32, б, в, г), и затылованные фрезы, сохраняющие форму и размеры профиля при заточках по передней поверхности (рис. 14.32, а);

по методу крепления — концевые с коническим и цилиндрическим хвостовиками (К и Ц на рис. 14.31) и насадные фрезы, имеющие цилиндрические А или конические отверстия и торцовые Т базы крепления с продольными и поперечными шпоночными пазми П (см. рис. 14.31);

по конструкции закрепления зубьев — цельные, изготовляемые из одной заготовки, составные неразъемные (сварные) и фрезы со вставными зубьями и ножами;

по инструментальному материалу режущих элементов — из быстрорежущей стали, твердого сплава и сверхтвердых материалов;

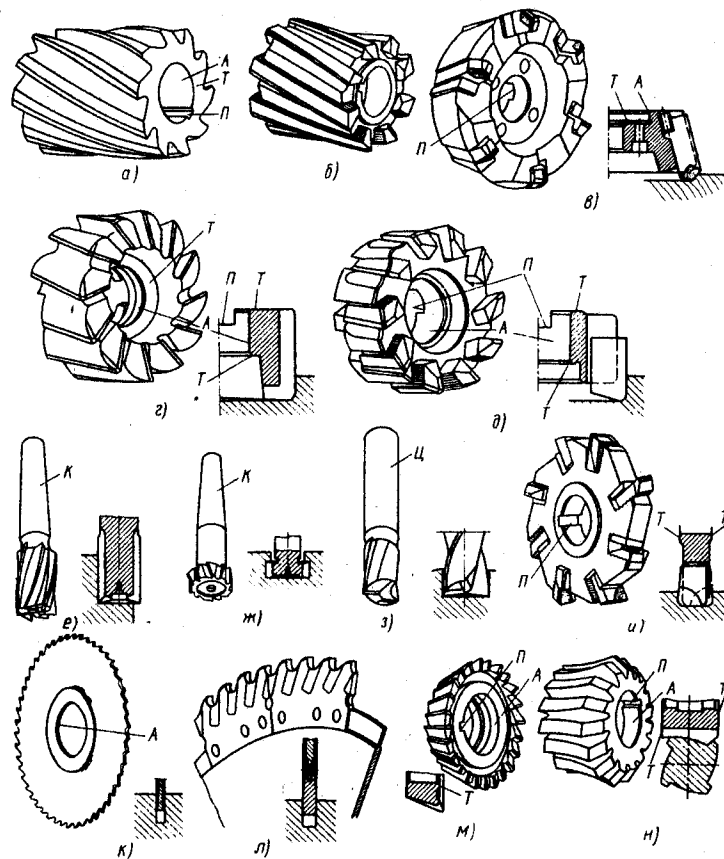


Рис. 14.31. Основные типы фрез

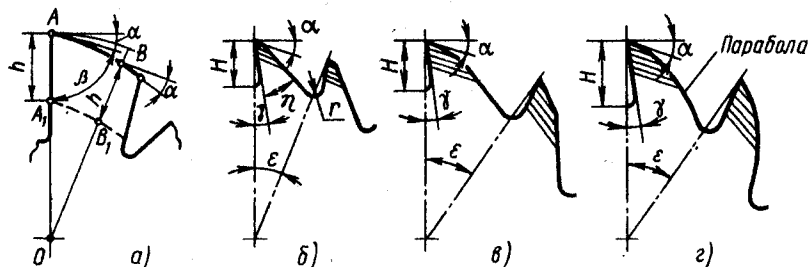


Рис. 14.32. Формы зубьев у затылованных (а) и незатылованных фрез с прямой (б), двугуловой (в) и криволинейной (г) спинками

по форме режущей кромки зуба—с прямым, наклонным и винтовым зубом.

Разнообразие конструкций фрез связано с условиями их применения. Для обработки открытых плоскостей на горизонтально-фрезерных станках применяют цилиндрические фрезы цельные или сборные со вставными ножами. Для обработки сплошных и прерывистых поверхностей на вертикально-фрезерных станках используют торцовые фрезерные головки. Фрезерование фасонных поверхностей производят фасонными фрезами, а обработку сопряженных плоскостей—торцовыми насадными фрезами цельными или со вставными ножами. Фрезерование пазов, уступов, полукрытых плоскостей осуществляют концевыми и дисковыми фрезами.

Основные поверхности и режущие кромки цилиндрической фрезы показаны на рис. 14.33, а: передняя поверхность 1, спинка зуба 2, задняя поверхность 3 шириной  $f=0,75\div 2,0$  мм, ленточка 5 шириной

$k=0,05\div 10$  мм, 4—главная винтовая кромка с углом наклона  $\omega$ .

Связь между углами  $\alpha$  и  $\gamma_T$  в торцовой плоскости и углами  $\alpha_n$  и  $\gamma_n$  в нормальном к главной кромке сечении определяется соотношениями  $\text{tg } \alpha_n = \text{tg } \alpha / \cos \omega$ ;  $\text{tg } \gamma_n = \text{tg } \gamma_T \cos \omega$ .

Следовательно,  $\alpha_n > \alpha$ , а  $\gamma_n < \gamma_T$ .

Основные геометрические параметры торцовой насадной фрезы показаны на рис. 14.33, б, торцовой фрезерной головки со вставными ножами (резцами)—на рис. 14.33, в. Резец предварительно заточен отдельно от корпуса (сечение  $E-E$  на рис. 14.33, в) с углами  $\gamma_p = 0^\circ$ ,  $\lambda_p = 0^\circ$ ,  $\alpha_p$ ,  $\varphi_p$ ,  $\varphi_{1p}$ ,  $\varphi_{0p}$ , а окончательная заточка произведена в сборе резцов с корпусом с заданными углами:  $\varphi$ ,  $\varphi_0$ ,  $\varphi_1$ ,  $\alpha$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_0$ , показанными на рис. 14.33, в в соответствующих сечениях.

Рекомендуемые величины углов при заточке зависят от типа фрезы, ее назначения и условий работы. Ориентировочные пределы изменения углов режущей части фрез приведены в табл. 14.22 и 14.23.

14.22. Задние углы фрез

Материал лезвий фрез	Вид фрезы	Задний угол, град	
		$\alpha$	$\alpha'$
Твердый сплав	Твердосплавные для работы с наибольшей толщиной срезаемого слоя, мм: до 0,08	18–20	8–10
	свыше 0,08	12–15	
Быстрорежущая сталь	С крупными зубьями и вставными ножами	12	8
	С прямыми мелкими зубьями	20	6
	С наклонными мелкими зубьями	16	
	Угловая		8
	Фасонные: затылованная	12	—
	незатылованная	16	
	Дисковая пазовая	20	
Шлицевая	30		

Для фрез, оснащенных твердым сплавом, углы в плане  $\varphi$  выбирают в пределах  $60-75^\circ$ , а вспомогательный угол в плане  $\varphi' = 3-5^\circ$ . Для упрочнения вершины зуба у торцовых фрез затачивается переходная кромка длиной  $f=1\div 1,5$  мм с углом в плане, равным  $30-$

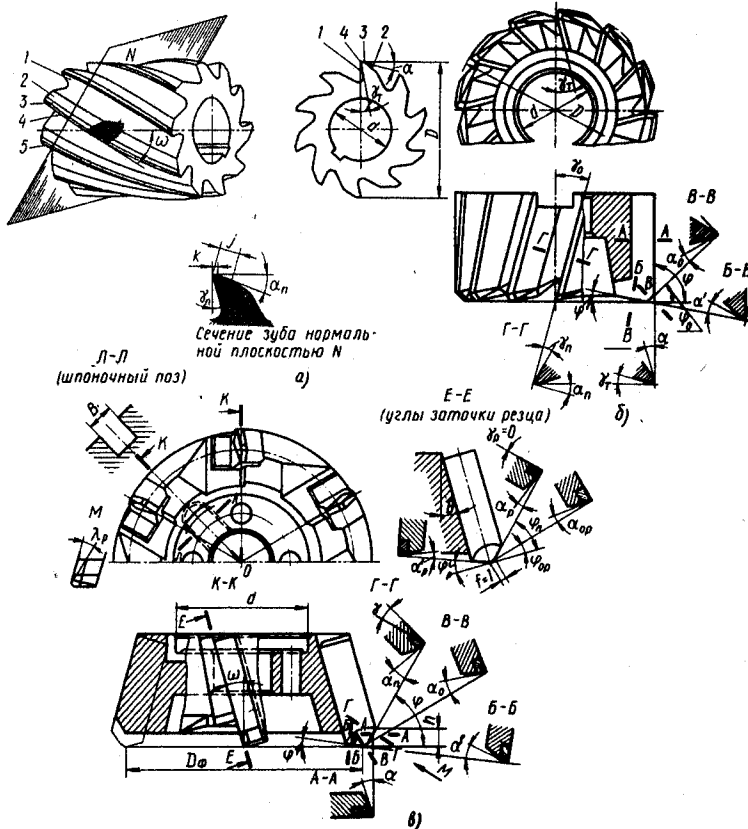


Рис. 14.33. Геометрические параметры цилиндрической фрезы (а), торцовой насадной фрезы (б) и торцовой фрезерной головки (в)

35°, т.е. половине главного угла в плане  $\phi$ . При фрезеровании чугуна угол в плане  $\phi$  уменьшают до 45–60°. При съеме припуска менее 3 мм в условиях высокой жесткости технологической системы угол в плане  $\phi$  уменьшают до 30°.

**14.23. Передние углы фрез цилиндрических, торцовых насадных, дисковых и концевых**

Материал фрезы	Обрабатываемый материал	Передний угол, град
Твердый сплав	Сталь с $\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup> : до 650 650–800 850–950 1000–1200	15 5 –5 –10
	Чугун с твердостью НВ: до 200 200–250 свыше 250	5 0 –5
Быстрорежущая сталь	Сталь с $\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup> : до 600 600–1000 свыше 1000	20 15 10
	Чугун с твердостью НВ: до 150 свыше 150	15 10

**Схемы заточки фрез и оснастка для установки фрез при заточке.** Основным видом износа фрез является износ по задней поверхности на величину  $h_3$  (рис. 14.34). Заточка, фрез с незатылованными зубьями производится по задней поверхности, а фрез с затылованными зубьями — по передней поверхности. Поэтому толщина  $h$  слоя металла (мм), снимаемого за одну заточку, будет зависеть от схемы заточки: для фрез с затылованными зубьями (рис. 14.34, б)  $h = h_3 + \Delta h = h_3 + (0,1-0,2)$ ,

для фрез с незатылованными зубьями (рис. 14.34, а)

$$h = \frac{h_3 \operatorname{tg} \alpha \cos(\alpha + \gamma)}{\cos \gamma} + \Delta h,$$

где  $\Delta h$  — дополнительно снимаемый слой в пределах 0,1–0,2 мм. Наиболее вероятным является припуск на заточку: для черновых фрез от 0,3 до 0,5 мм, для чистовых фрез от 0,15 до 0,20 мм. Пределы толщины слоя, снимаемого при заточке фрез разной конструкции, приведены в табл. 14.24.

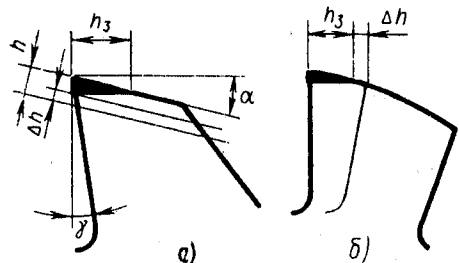


Рис. 14.34. Схемы износа и заточки зуба фрезы

**14.24. Толщина слоя, снимаемого при заточке, мм**

Фреза	Материал лезвия фрезы	
	быстрорежущая сталь	твердый сплав
Торцовая со вставными ножами	0,4–0,6	0,6–0,9
Дисковая со вставными ножами	0,4–0,7	0,5–0,7
Шпоночная	0,4–0,6	0,5–0,7
Цилиндрическая цельная	0,4–0,6	—
Концевая »	0,4–0,6	—
Дисковая »	0,2–0,3	—
Угловая »	0,25–0,3	—
Фасонная затылованная	1,0	—
Фасонная пазовая затылованная	0,4–0,5	—
Пила круглая диаметром до 200 мм	0,4–0,5	—

В качестве критерия затупления фрез принят износ  $h_3$  по задней поверхности: при черновом фрезеровании чугуна 1,5–2,0 мм, при чистовом фрезеровании стали, чугуна и жаропрочных сплавов 0,3–0,5 мм.

Фасонные фрезы с затылованными зубьями затачивают по передней поверхности кругами тарельчатой формы при установке фрезы в центрах или на оправке, связанной со шпинделем делительного устройства. Установка круга относительно затачиваемой фрезы зависит от величины переднего угла и рабочей поверхности тарельчатого круга (рис. 14.35, а–е).

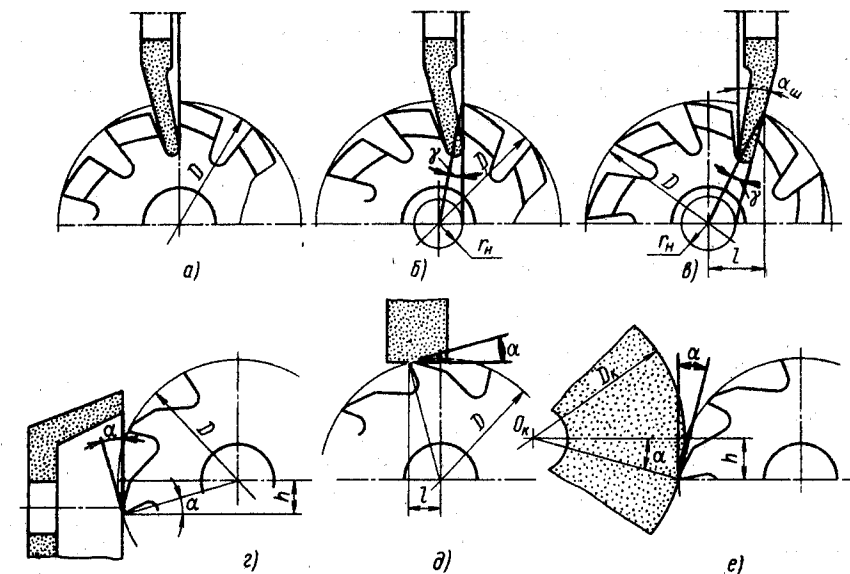


Рис. 14.35. Схемы установки шлифовальных кругов при заточке передней (а–е) и задней (з–е) поверхностей фрез

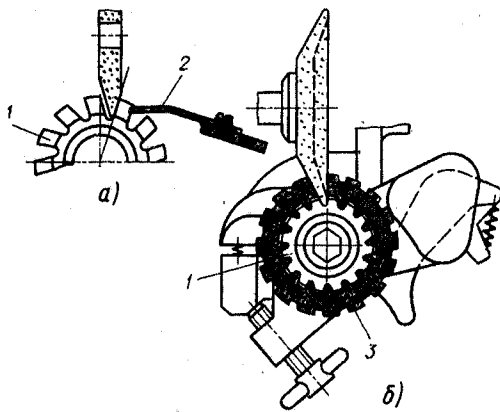


Рис. 14.36. Схемы фиксации фрезы при заточке по передней поверхности с помощью упорки (а) или делительного приспособления (б)

При  $\gamma = 0$  торец шлифовального круга располагается в осевой плоскости (рис. 14.35, а), при  $\gamma = 0$  торец круга смещается параллельно осевой плоскости на величину  $r_n = (D/2) \sin \gamma$ , где  $D$  — диаметр фрезы, на котором задана величина переднего угла  $\gamma$ .

При заточке передней поверхности конической поверхностью круга с углом  $\alpha_n$  образующей конуса (рис. 14.35, в) смещение наиболее удаленной точки профиля равно  $l = (D/2) \times \sin(\gamma + \alpha_n)$ . Смещение  $r_n$  образующей конической поверхности круга относительно оси затачиваемой фрезы не зависит от угла  $\gamma$  и равно  $r_n = (D/2) \times \sin \gamma$  (рис. 14.35, в). Угловую фиксацию фрезы 1 при заточке осуществляют с помощью упорки 2 (рис. 14.36, а) или делительного приспособления (рис. 14.36, б) с делительным диском 3. Более высокая точность по окружному шагу между зубьями и по радиальному биению зубьев обеспечивается при заточке с помощью делительных дисков 3 или делительных приспособлений, поставляемых к универсально-заточному станку.

На рис. 14.37 показано приспособление для заточки фасонных затылованных фрез по передней поверхности. Фреза устанавливается на палец 3, имеющий сменные втулки 4 для заточки фрез с разным диаметром базового отверстия. С по-

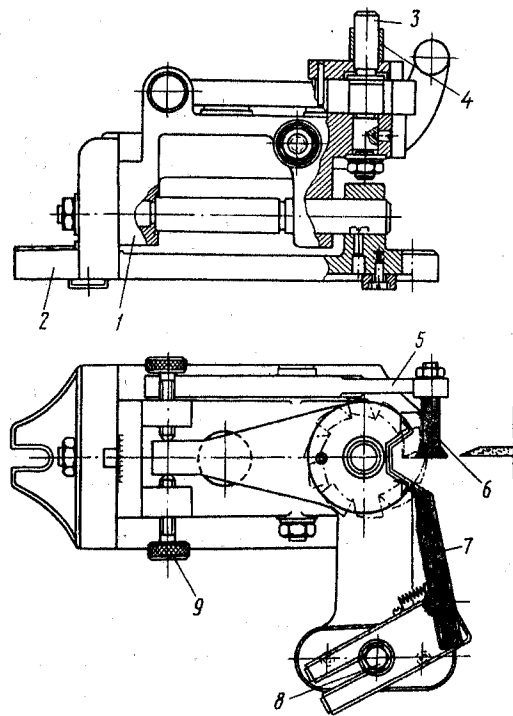


Рис. 14.37. Приспособление для заточки фасонных затылованных фрез по передней поверхности

мощью шаблона 6, закрепленного в стойке 5, привернутой к боковой поверхности поворотного стола 1, устанавливается необходимое смещение  $r_n$  (см. рис. 14.35, в) передней поверхности относительно осевой плоскости фрезы в зависимости от переднего угла  $\gamma$ . Передняя поверхность фрезы упирается в базовую поверхность шаблона 6 и совмещается с торцовой поверхностью шлифовального круга. При этом упор 7 подводится к спинке зуба и его положение фиксируется винтом 8. Необходимая для съема припуска подача устанавливается вращением затачиваемой фрезы относительно своей оси с помощью винта 9. При заточке фрез с наклонным зубом поворотный стол 1 устанавливается под необходимым углом относительно основания 2. При съеме припуска за несколько проходов подача на глубину врезания осуществляется каждый раз после полного поворота фрезы, что обеспечивает минимальное радиальное биение профиля зубьев фрезы, у фрез с незатылованными зубьями и вначале производится заточка задних поверхностей, а затем — передних. На задней поверхности некоторых типов фрез (например, цилиндрических) допускается цилиндрическая ленточка шириной не более 0,05 мм.

Задние поверхности обычно шлифуют торцом чашечного круга (см. рис. 14.35, з) с небольшим разворотом его оси в горизонтальной плоскости на угол  $1-2^\circ$  (на рис. 14.35, з не указано), чтобы устранить подрез зуба и уменьшить площадь касания круга с затачиваемой поверхностью.

Положение зуба фиксируется упоркой, имеющей смещение относительно осевой горизонтальной плоскости на величину  $h = (D/2) \sin \alpha$ .

Возможно также проводить заточку задней поверхности и периферий цилиндрических кругов при перпендикулярном (см. рис. 14.35, б) или параллельном (см. рис. 14.35, е) расположении осей фрезы и круга.

При параллельном расположении осей круга и фрезы ось фрезы располагается ниже оси круга на величину  $h = (D_r/2) \sin \alpha$ , при этом задняя поверхность фрезы получается криволинейной. Такая форма задней поверхности допустима при малой ее ширине и при использовании кругов достаточно большого диаметра.

При заточке с перпендикулярным расположением осей круга и фрезы возможно заваливание режущей кромки вследствие износа прямолинейной образующей круга. Поэтому правка круга должна быть своевременной, а износ круга должен быть минимальным. Смещение вершины зуба фрезы  $l = (D/2) \sin \alpha$  (см. рис. 14.35, д). При заточке должно быть обеспечено заданное качество поверхности. Для большинства типов фрез параметр шероховатости задней и передней поверхностей должен быть в пределах 0,63—0,32 мкм.

**Технология заточки фрез.** Технология заточки зависит от типа и конструкции фрезы и наличия заточного оборудования. Большинство типов фрез затачивается на универсально-заточных станках. Специализированные заточные полуавтоматы созданы для заточивания пил, прорезных и отрезных фрез и для так называемых фрезерных головок, т. е. насадных фрез со вставными зубьями.

До сборки вставные ножи с напаянными пластинами из твердого сплава обрабатываются по всем базовым поверхностям и передней поверхности пластины. До сборки может осуществляться также предварительная заточка ножей по задним поверхностям.

Режущая часть каждого ножа имеет несколько режущих кромок (рис. 14.38). Главная режущая кромка имеет угол в плане  $\varphi = 45^\circ$ ;

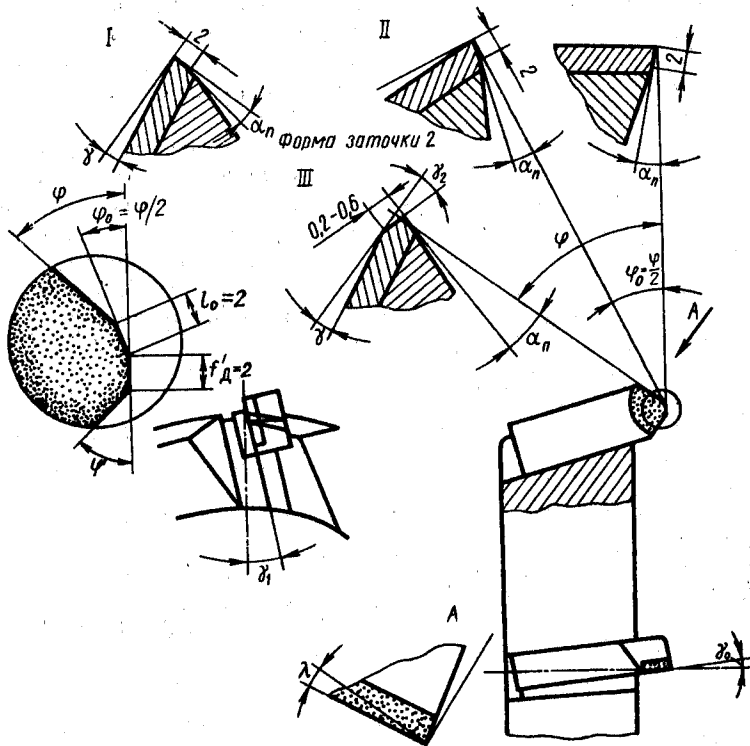


Рис. 14.38. Геометрические параметры режущей части торцевой фрезы со вставными ножами, оснащенными пластинками из твердого сплава

60; 75 или 90°. Переходная кромка длиной  $l_0 = 2$  мм имеет угол  $\varphi_0 = \varphi/2$ . Вспомогательная режущая кромка затачивается с  $\varphi' = 3 \div 5^\circ$ , а для чистовых работ выполняется с  $\varphi'_d = 0^\circ$ , длиной  $f'_d = 2$  мм. Переходная кромка может выполняться и радиусной (с радиусом 2–3 мм), что обеспечивает повышенную стойкость фрезы по износу. Задние углы  $\alpha_n$  для каждой режущей кромки задаются в плоскостях, нормальных к проекции соответствующей кромки на осевую плоскость фрезы. Цикл заточки по задним поверхностям может строиться многопроходным или однопроходным (однооборотным); контурным или поэлементным; копирным или бескопирным.

При многопроходной заточке съем припуска осуществляется за несколько поворотов фрезы, так как после каждого про-

хода происходит движение деления, т. е. переход к заточке следующего зуба.

При однопроходной заточке за каждый проход осуществляется съем всего припуска глубинным или врезным методом и после каждого прохода происходит переход к заточке следующего зуба (деление). За один поворот фрезы при однопроходной заточке режущая кромка будет образована на всех зубьях фрезы.

При поэлементной заточке каждый элемент режущей кромки затачивается отдельно однопроходным или многопроходным методом. Для заточки каждого элемента режущей кромки необходимо осуществлять соответствующую наладку.

При поэлементном методе заточку фрез производят в такой последовательности: 1) заточка задней поверхности по главной режущей кромке высотой 2 мм (рис. 14.38, I); 2) заточка задней поверхности по переходной режущей кромке с той же высотой (рис. 14.38, II); 3) заточка задней поверхности по вспомогательной кромке высотой 2 мм (рис. 14.38, III); 4) окончательная заточка по фаске на главной задней поверхности; 5) окончательная заточка по фаске на переходной режущей кромке; 6) окончательная заточка по фаске на дополнительной кромке; 7) заточка по фаске на передней поверхности шириной 0,2–0,6 мм под углом  $\gamma_2$  (рис. 14.38, III) (при форме заточки фрез, предназначенных для обработки стали с  $\sigma_s = 800 \div 1200$  Н/мм<sup>2</sup>); 8) доводка фасок у фрез, работающих с малой толщиной срезаемого слоя и требующих небольшого радиуса округления режущей кромки. Для черновых фрез доводка обычно не требуется.

Характеристики шлифовальных кругов на разных операциях заточки и доводки проведены в табл. 14.25, а допусковое биение режущих кромок торцовых и концевых фрез — в табл. 14.26.

14.25. Характеристики кругов для заточки фрез

Материал лезвия фрезы	Операция	Характеристика круга (абразивный материал — зернистость — твердость — концентрация — связка)
Твердый сплав	Предварительное круглое шлифование после замены ножей	64С — (40, 25) — (СМ1, М3) — 8 — К3
	Предварительная заточка по державке под углом $\alpha + (3-5)^\circ$	24А — (40, 25) — СМ2 — 6 — К5
	Предварительная заточка по державке и твердосплавной пластине одновременно под углом $\alpha + (2-3)^\circ$	64С — (40, 25) — (СМ1, М3) — 8 — К3
	Окончательная заточка по твердосплавной пластине	АС6, АС4 — (125/100, 100/80, 80/63) — 100% — (МВ1, М1, ТМ2, В156)
	Окончательная заточка и доводка по твердосплавной пластине	АС4, АС2 — (80/63, 63/50, 50/40) — 100% — (В156, ВП1, В1)



Материал лезвия фрезы	Операция	Характеристика круга (абразивный материал — зернистость — твердость — концентрация — связка)
Быстрорежущая сталь	Предварительная заточка	24А — (25, 16) — (СМ2, СМ1) — 6 — К5
	Окончательная заточка	ЛО, ЛР — (16, 12, 10, 8) — 100% (С1, С2) — Б, С10

14.26. Предельное биение режущих кромок торцовых и концевых фрез, мм

Диаметр фрезы, мм	Главные режущие кромки на цилиндрических и конических поверхностях		Торцовые режущие кромки
	смежные	противоположные	
До 16	0,03	0,06	0,03
Свыше 16 до 50	0,03	0,06	0,04
» 50 » 160	0,04	0,08	0,05
» 160 » 250	0,05	0,10	0,06
» 250 » 400	0,06	0,12	0,08
» 400 » 630	0,08	0,12	0,10

При контурной заточке (рис. 14.39) все режущие кромки зуба затачиваются последовательно по контуру за один или несколько проходов и после окончания полной заточки по всем задним поверхностям происходит поворот фрезы для заточки последующего зуба. Контурная заточка может выполняться с использованием копиров или соответствующих преобразующих механизмов.

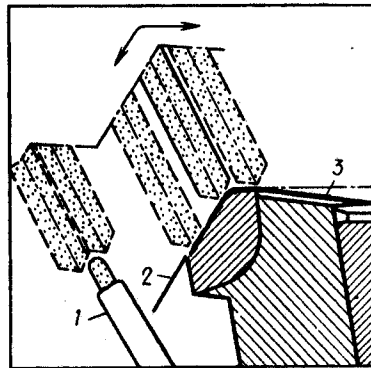


Рис. 14.39. Схема копирной контурной заточки ножа торцовой фрезы: 1 — алмаз в оправке для правки круга, 2, 3 — главная и вспомогательная режущие кромки

Наименьшие затраты времени на процесс деления, перебег круга и вспомогательные операции наблюдаются при однопроходной заточке режущей кромки по всему контуру.

Станки для заточки фрез. Для заточки режущих кромок фрезерных головок выпускают заточные полуавтоматы повышенной точности. Полуавтоматы ЗГ667, ЗЕ667, ЗЭ667 предназначены для поэлементной заточки фрезерных головок диамет-

ром от 80 до 630 мм. Главные, вспомогательные и переходные прямолинейные режущие кромки затачиваются пооперационно.

На рис. 14.40 приведена кинематическая схема полуавтомата мод. ЗГ667. На станине расположен стол 8, совершающий продольное возвратно-поступательное движение по направляющим качения с помощью гидроцилиндра 17. Продольный ход регулируется упорами 7 в пределах 15–140 мм при скорости продольной подачи в пределах 0,5–8 м/мин.

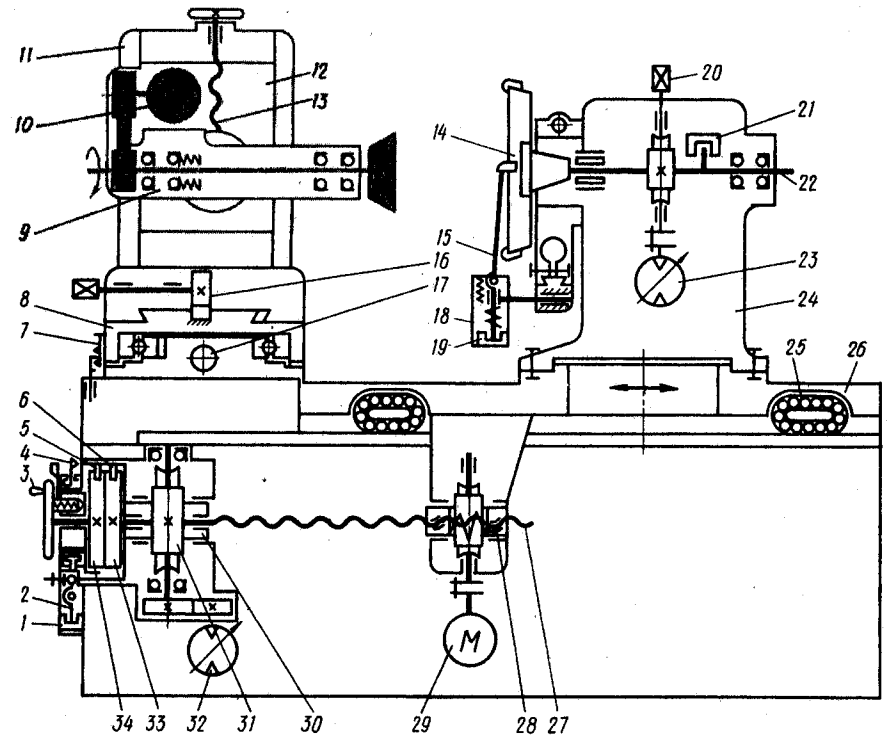


Рис. 14.40. Кинематическая схема полуавтомата мод. ЗГ667

Мощность электродвигателя 10 привода шлифовального круга 3 или 2,2 кВт при частоте вращения 1500 или 3000 об/мин. Он установлен на корпусе шлифовальной головки и передает вращение шпинделю шлифовального круга от ременной передачи. На столе 8 установлена колонна 11, которая может при настройке перемещаться от реечной передачи 16 по направляющим типа «ласточкин хвост». На колонне 11 расположен суппорт 12 (на нем установлена шлифовальная головка 9), перемещаемый относительно колонны винтом 13.

Шлифовальная головка может поворачиваться относительно горизонтальной оси на угол  $\pm 20^\circ$ , что необходимо для настройки при заточке режущих кромок с разными задними углами.

Затачиваемая фрезерная головка 14 закрепляется на шпинделе 22 бабки изделия 24, которая может поворачиваться относительно суппорта 26 поперечного перемещения. Поворот бабки изделий 24 необходим для настройки при поэлементной заточке режущих кромок с разными углами в плане. Поперечный суппорт 26 перемещается относительно станины на опорах качения 25 посредством ходового винта 27 и гайки 28. Электродвигатель 29 предназначен для вращения гайки в случае необходимости ускоренного поперечного перемещения затачиваемой головки 14 к шлифовальному кругу. Маховичком 3 можно перемещать бабку изделия вручную. Непрерывная подача на глубину шлифования со скоростью от 0,8 до 8 м/мин или периодическая прерывистая подача со скоростью от 0,0025 до 0,05 мм/дв. ход осуществляется от регулируемого реверсивного гидродвигателя подачи 32 через зубчатую и червячную передачу 31, храповой механизм с храповиками 33, 34, собачками 5, 6 и водилом 30. Храповики 33 и 34 закреплены на винте 27 и служат для подвода или отвода бабки изделия. Угол поворота водила 30 определяется расположением неподвижного и подвижного упоров 4, действующих на бесконтактный конечный переключатель 1 через рычаг 2. При прерывистой подаче масло в гидродвигатель подается через дозатор, а при непрерывной подаче — минуя его. Величина снимаемого припуска может настраиваться в пределах до 2 мм.

После заточки всех зубьев бесконтактный переключатель 21 дает сигнал на окончание цикла заточки и отключение электродвигателей шлифовального круга и насоса. Шпиндель 22 бабки изделия может вращаться с частотой от 4 до 30 об/мин от регулируемого реверсивного гидродвигателя деления 23 через червячную передачу. Ручное вращение фрезы при наладке осуществляется посредством квадрата 20.

Заданное положение затачиваемой фрезерной головки фиксируется упоркой 15, которая может покачиваться относительно своего корпуса 18 и устанавливаться по передней поверхности затачиваемого зуба. Бесконтактный переключатель 19 выдает команду на продолжение цикла обработки после окончания деления.

**Контроль качества заточки.** При заточке затылованных фрез контролируется передний угол, при заточке торцовых фрез и фрезерных головок — длина фасок и режущих кромок, биение по фаске, по цилиндрическим, коническим и торцовым поверхностям, передний и задний углы. Во всех случаях осуществляется визуальный или специальный контроль качества поверхностного слоя режущих кромок. При визуальном контроле проверяют отсутствие на заточенных поверхностях и кромках трещин, забоин, черновин, выкрошенных мест, прижогов, заусенцев, следов коррозии и т. п.

Контроль переднего и заднего углов многолезвийных инструментов с расположением режущих кромок на цилиндрических, конических и плоских поверхностях осуществляется с помощью угломера (рис. 14.41). Основной деталью угломера является дуга 1, на ней нанесена неравномерная шкала, риски которой соответствуют числу зубьев  $z$  на замеряемом инструменте в пределах от 3 до  $\infty$ . Линия

$y-y$  соответствует расположению режущих кромок на плоскости (бесконечное число зубьев), остальные риски этой шкалы расположены под углами  $180^\circ/z$ , где  $z$  — число зубьев контролируемого инструмента. Значения проверяемого угла отсчитывают по градусным шкалам Г и Д, нанесенным на секторе 4, против риски на дуге 1, соответствующей числу зубьев контролируемого инструмента. По шкале Д отсчитывают значения переднего угла, по шкале Г — значения заднего угла. Сектор 4 фиксируется относительно дуги 1

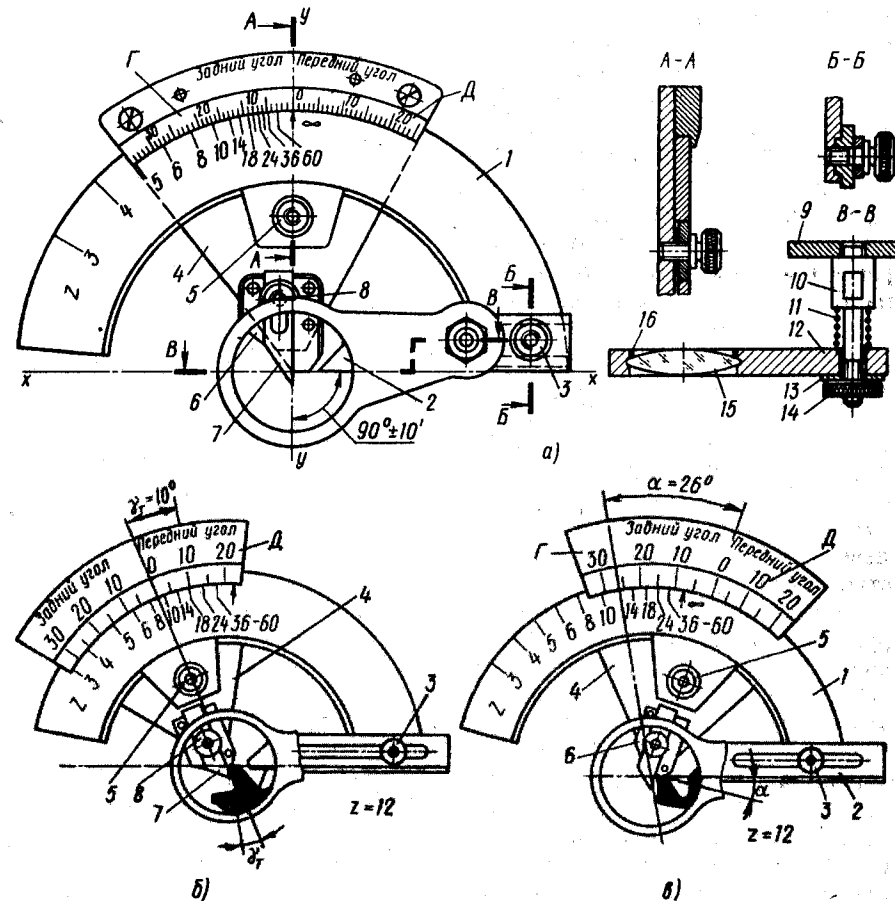


Рис. 14.41. Угломер для измерения переднего и заднего углов многолезвийных инструментов:

а — конструкция прибора, б, в — измерения переднего и заднего углов

винтом 5. В дуге 1 имеется паз, по которому перемещают опорную линейку 2, фиксируемую винтом 3. Рабочая плоскость опорной линейки 2 проходит через ось вращения сектора 4 и составляет прямой угол с линией  $y-y$  и с линейкой 7, которая перемещается относительно сектора 4 по пластине 6 и фиксируется винтом 8.

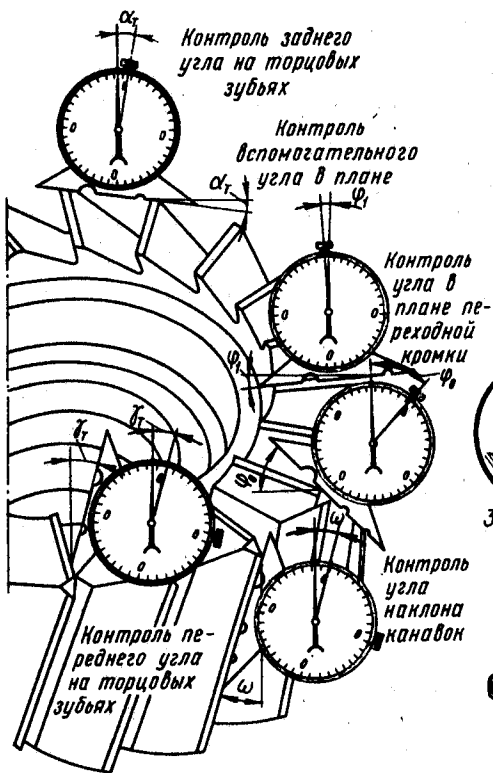
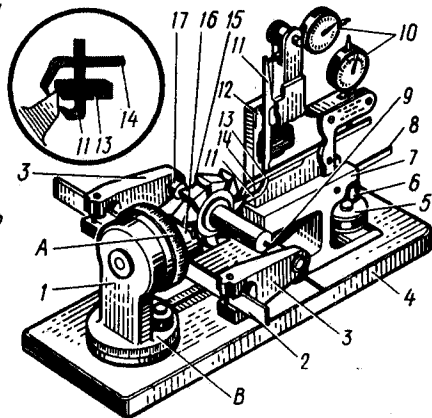


Рис. 14.42. Маятниковый угломер для измерения углов торцовой фрезы

Рис. 14.43. Прибор для измерения углов многолезвийного инструмента



Такое положение соответствует совпадению риски 0 на шкале сектора 4 и риски бесконечность ( $\infty$ ) на шкале дуги 1.

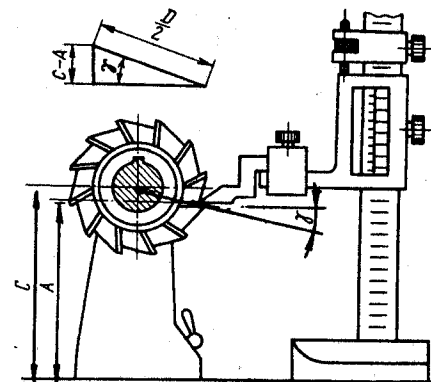
При измерении углов вращая сектор 4 совмещается с режущей кромкой, а мерительная плоскость линейки 2 накладывается на режущую кромку смежного зуба в плоскости, нормальной к режущей кромке. При измерении переднего угла сектор 4 поворачивают до совпадения измерительной плоскости линейки 7 с плоскостью передней поверхности, фиксируют его винтом 5 и отсчитывают значение угла по градусной шкале D против риски, соответствующей числу зубьев фрезы (рис. 14.41, б).

При измерении заднего угла сектор 4 поворачивают до совмещения измерительной плоскости линейки 7 с плоскостью задней поверхности, фиксируют его винтом и отсчитывают значение угла по градусной шкале Г против риски, соответствующей числу зубьев фрезы (рис. 14.41, в). Угломер имеет съемное оптическое устройство, состоящее из линзы 15, установленной в оправке 12 с помощью кольцевой пружины 16. Оправка 12 соединяется с дугой 1 с помощью кронштейна 10, основания 9, пружины 11, шайбы 13 и гайки 14. Оптическая ось линзы 15 совпадает с центром вращения сектора 4, а трех-пятикратное увеличение линзы позволяет более точно устанавливать совпадение измерительных плоскостей линей-

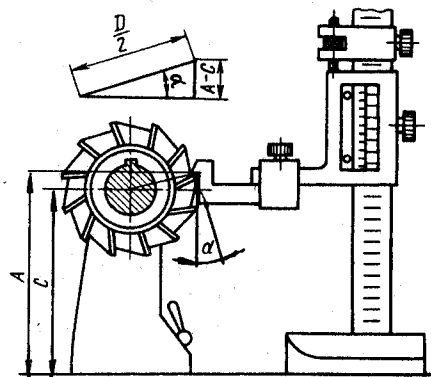
ки 7 с контролируемой передней или задней поверхностью.

Углы торцовой фрезы измеряют с помощью маятникового угломера (рис. 14.42). Торцовая фреза предварительно установлена и закреплена на специальном приспособлении или на поверочной плите так, что ее ось занимает вертикальное положение, совпадающее с направлением стрелки угломера. Совмещая ребро измерительной линейки с соответствующей кромкой, можно измерить задние и передние углы на торцовых зубьях, угол наклона режущих кромок на цилиндрической поверхности и углы в плане на вспомогательной и переходной режущих кромках.

Точность измерения углов с помощью угломеров не очень высокая: суммарная погрешность измерений составляет 1–2°. В тех случаях, когда необходима меньшая погрешность измерения, используют индикаторные приборы (рис. 14.43). Контролируемую фрезу закрепляют в центрах 9 и 15, установленных в кронштейнах 3, перемещаемых по линейке 2 в зависимости от длины оправки или осевого размера фрезы. Положение центров относительно плиты 4 регулируется поворотной планшайбой 16, корпусом 1 и контролируется шкалами A и B на корпусе 1. При расположении прямолинейных режущих кромок на цилиндрической поверхности шкалы A и B устанавливают на нуль. При расположении прямолинейных режущих кромок на конической поверхности шкалу A устанавливают на нуль, а шкалу B — на половину угла при вершине конуса. При винтовых режущих кромках шкалу B устанавливают на нуль, а с помощью шкалы A устанавливают соответствующий угол наклона режущей кромки. Мерительная головка 12 имеет рычаги 11, 14 и упор 13, которые соприкасаются с соответствующими элементами режущей части инструмента: упор 13 — с режущей кромкой, рычаг 11 — с задней поверхностью, рычаг 14 — с передней поверхностью. Для относительной установки упора 13 используют винт 6 с гайкой 5. Индикаторы 10 в мерительной головке 12 устанавливают по этало-



а)



б)

Рис. 14.44. Контроль углов фрезы с помощью центров и штангенрейсмаса

ну 17, имеющему два зуба, один из которых имеет угол  $0^\circ$ , а второй —  $15^\circ$ . Размеры рычагов подобраны таким образом, что угол в  $0^\circ 30'$  соответствует показанию индикатора в 0,01 мм (одно деление шкалы). Следовательно, углу в  $15^\circ$  на шкале индикатора соответствуют 30 делений, т. е. 0,30 мм.

Мерительная головка 12 перемещается с основанием 7 относительно плиты 4 до тех пор, пока упор 13 не совпадает с режущей кромкой. После окончания замеров головку 12 отводят от контролируемого инструмента с помощью рукоятки 8.

Контроль углов фрез можно также осуществлять с помощью штангенрейсмаса (рис. 14.44). Контролируемую фрезу устанавливают в центрах, имеющих высоту  $C$  относительно поверочной плиты. Совмещая переднюю или заднюю поверхность зуба с измерительной плоскостью ножки штангенрейсмаса, определяют размеры  $A$  и рассчитывают соответствующие углы: передний угол  $\gamma$  (рис. 14.44, а) по формуле  $\sin \gamma = (C - A) / 0,5D$ ; задний угол  $\alpha$  (рис. 14.44, б) по формуле  $\sin \alpha = (A - C) / 0,5D$ , где  $D$  — диаметр фрезы.

#### 14.8. ЗАТОЧКА МЕТЧИКОВ И ПЛАШЕК

**Конструктивные элементы и геометрические параметры режущей части метчиков и плашек.** Резьбовые соединения очень широко применяют в машиностроении и поэтому инструмент для изготовления резьб является одним из самых распространенных. Резьбы по расположению витков разделяют на наружные и внутренние, по направлению винтовой линии — на правые и левые, по форме профиля — на треугольные, трапецеидальные, прямоугольные, упорные и специальные, по направлению образующей — на цилиндрические и конические, по системе размеров — на метрические и дюймовые.

В зависимости от размеров резьбы, типа производства и конструкции деталей используют разные виды резьборезущего инструмента: резьбовые резцы (стержневые и фасонные однониточные и многониточные); метчики (ручные, машинные, гаечные, станочные, инструментальные, маточные и т. д.); круглые плашки; резьбонарезные головки; резьбовые фрезы.

Ручные метчики применяют для нарезания внутренних резьб в мелкосерийном и единичном производствах. Гаечные и машинные метчики применяют для нарезания резьб на сверлильных, токарных, гайконарезных и других станках. Рабочая часть метчика длиной  $l$  разделяется на режущую часть  $l_1$  и направляющую часть  $l_2$  (рис. 14.45, а). Резцы режущей части имеют главные кромки, расположенные на конической поверхности, и вспомогательные кромки, являющиеся частью резьбового профиля (рис. 14.45, б). Направляющая часть служит для направления метчика и самоподачи путем ввинчивания, а также является резервом при повторных заточках. Угол конуса режущей части зависит от угла в плане  $\varphi$ , который назначается равным  $5^\circ$  для ручных метчиков,  $3^\circ 30'$  — для гаечных и  $6^\circ 30'$  — для машинных. Направляющая часть имеет обратную конусность для

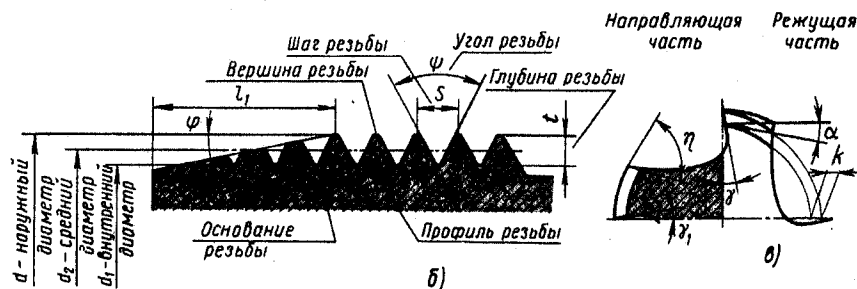
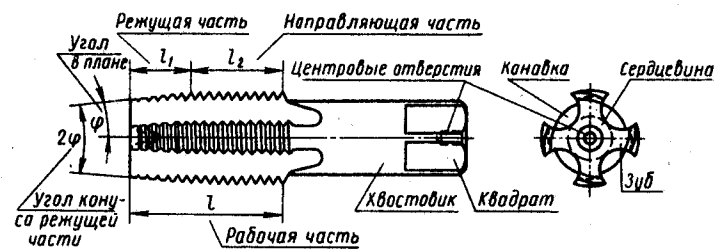


Рис. 14.45. Конструктивные элементы (а), профиль резьбы (б) и геометрические параметры (в) метчика

уменьшения трения и устранения опасного заклинивания метчика в отверстии.

Круглые плашки используют для нарезания крепежных резьб на болтах, винтах и шпильках при работе вручную и на станках. Круглая плашка на каждом зубе 2 (рис. 14.46, а) имеет заднюю поверхность 1, переднюю поверхность 5, спинку зуба 3 и режущую кромку 6, образуемую стружечным отверстием 4. Круглая плашка имеет режущую часть длиной  $l_1$  и направляющую часть длиной  $l_2$  (рис. 14.46, б). Длина режущей части равна полутора ниткам резьбы, а толщина плашки — 7–8 ниткам.

Режущие элементы метчиков и плашек образуются при пересечении резьбовой винтовой поверхности и поверхности конуса режущей части стружечными канавками или стружечными отверстиями. Передние и задние углы измеряют в плоскости, перпендикулярной оси метчика или плашки (см. рис. 14.45, в). Передние углы  $\gamma$ ,  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  измеряют между касательной к передней поверхности и радиальной прямой, проходящей через ось метчика (или плашки) и рассматриваемую точку кромки инструмента (см. рис. 14.45, в; рис. 14.46, в).

Задние углы  $\alpha$ , полученные затылованием, измеряют между касательной к задней поверхности и касательной к окружности, соосной с осью инструмента и проходящей через рассматриваемую точку кромки (см. рис. 14.45, в; рис. 14.46, в).

**Технология заточки метчиков и плашек на специальных станках.** Метчики и плашки изнашиваются по задней поверхности режущей

части и первым двум ниткам калибрующей части. В связи с этим ручные и машинные метчики для увеличения числа заточек рекомендуется затачивать по задней и передней поверхностям режущей части, а метчики для глухих отверстий и гаечные метчики — по передней поверхности. Количество заточек по задней поверхности ограничивается допустимой длиной калибрующей части (2–3 витка), а количество заточек по передней поверхности — допустимой толщиной зуба (около половины первоначальной толщины). Круглые

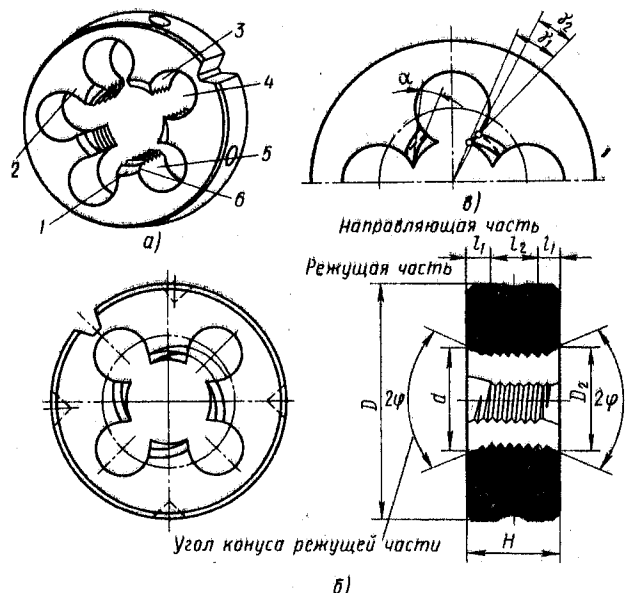


Рис. 14.46. Конструктивные элементы (а), основные части (б) и формы стружечных отверстий (в) круглой плашки

плашки перетачивают по передней поверхности. Величина снимаемого припуска при заточках зависит от характера и величины износа режущих элементов инструмента. Рекомендуемые величины припуска на заточку резьбонарезных инструментов в зависимости от размера резьбы приведены в табл. 14.27.

Для заточки метчиков разработаны специальные станки: для затылования заборного конуса метчиков — мод. МФ4М, заточные автоматы мод. 3686, 3686Г, для заточки передней поверхности — заточные автоматы мод. 3688, 3688Б, 3688Д. Для заточки плашек по передней поверхности разработаны заточные автоматы моделей 3614, 3614Б, 3614Г, заточной станок мод. МФ-27А, для затылования круглых плашек — заточные станки мод. 7БМ, 3616, 3617, 3618.

Станок мод. МФ4М предназначен для затылования заборного конуса метчиков с резьбой от М3 до М36 шлифовальным кругом диаметром 175 мм, заправленным по периферии под углом наклона

14.27. Припуск на переточку метчиков и плашек, мм

Диаметр резьбы, мм	Метчики				Плашки круглые
	машинно-ручные		гаечные		
	Поверхность				
	передняя	задняя	передняя	задняя	передняя
1–2	0,08–0,1	0,6–0,8	—	—	—
2–6	0,1–0,3	0,9–1,1	0,3	0,8	0,25
8–10	0,4–0,5	1,6	0,4	1,3	0,35
10–24	0,5–0,6	2,0	0,4	1,3	0,35
30–36	0,6–0,7	3,0	0,6	1,7	0,50
42–48	0,7–0,8	3,8	—	—	0,75
52	0,7–0,8	4,5	—	—	0,80

режущей части  $\varphi$ . Движение затылования сообщается метчику, закрепленному в патроне передней бабки и фиксируемому центром задней бабки. Шпиндель передней бабки совершает сложное движение: вращательное относительно своей оси и качательное движение затылования. Шлифовальный шпиндель вместе с суппортом имеет поперечное движение подачи, обычно в пределах 0,03–0,05 мм на оборот метчика. После съема припуска производят 2–3 выхаживающих оборота метчика при пониженной скорости вращения.

При отсутствии станка мод. МФ4М затылование режущей части метчиков производят на универсально-заточном станке с применением соответствующего приспособления (шифр П20А).

Заточка метчиков по передней поверхности производится торцевой поверхностью круга чашечной или тарельчатой формы, совпадающей с осевой плоскостью метчика при  $\gamma = 0$ , или смещенной относительно оси метчика на величину  $h = 0,5D \sin \gamma$ . Заточка по передней поверхности может осуществляться с заданным усилием прижима к рабочей поверхности круга, с применением делительных дисков или упорки, фиксирующей положение спинки зуба. При любом из этих способов ориентирования передней поверхности следует добиваться равномерного съема припуска с каждого зуба, чтобы иметь минимальное биение режущих кромок. Если режущая кромка метчика имеет угол наклона, то метчик вместе с центровыми бабками и столом станка поворачивают на соответствующий угол (см. рис. 14.48 на примере заточки плашки).

При заточке метчиков из быстрорежущих сталей применяют круги из электрокорунда белого 24А зернистостью 16 или 25, твердостью СМ2, СМ1, С1, на керамической связке К5.

Станок мод. МФ-27А предназначен для заточки плашек с резьбой от М3 до М52 по передней поверхности (рис. 14.47, а). При цилиндрической форме передней поверхности (рис. 14.47, б) диаметр круга обычно на 1 мм меньше диаметра стружечного отверстия. Если

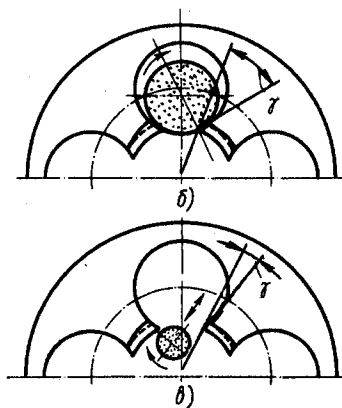
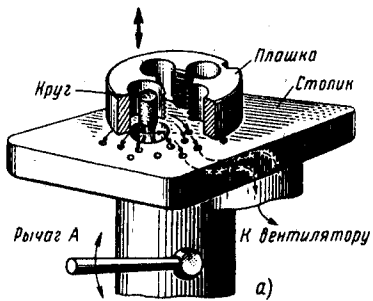


Рис. 14.47. Заточка круглой плашки по передней поверхности

передняя поверхность плашки выполняется плоской (рис. 14.47, б), то диаметр круга будет еще меньше, что отражается на скорости резания (максимальная скорость резания на станке данной модели не превышает 15 м/с, а при диаметре круга 3 мм составляет около 3,5 м/с). Такие низкие скорости резания являются причиной повышенного расхода кругов. Поэтому шлифовальные круги из электрокорунда 24А или монокорунда 44А зернистостью 10, 12 или 16, твердостью С2, СТ1, СТ2, на керамической связке целесообразно заменять на эльборовые круги зернистостью Л8, Л10, Л12 со 100%-ной концентрацией зерен на бакелитовой (Б1, БП1) или керамической (С10) связках.

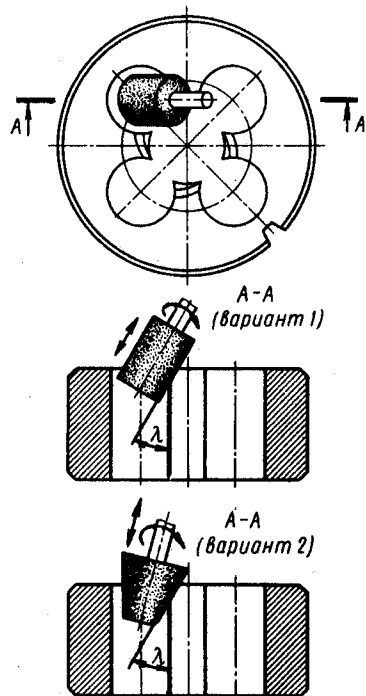


Рис. 14.48. Заточка круглой плашки, режущая кромка которой имеет угол наклона λ

На режущей части круглых плашек иногда предусматривается угол  $\lambda$  (рис. 14.48). В этом случае заточка передней поверхности плашки производится цилиндрической (вариант 1) или конической (вариант 2) поверхностью круга. В последнем случае величина перемещения круга в осевом направлении значительно больше, что позволяет распределять износ на большую длину образующей конического круга. При использовании цилиндрических кругов износ происходит по узкой полоске, что приводит к появлению завалов режущей кромки.

**Контроль качества заточки метчиков и плашек.** После заточки у метчиков и плашек контролируют геометрические элементы режущей части: передний и задний углы, угол наклона режущей кромки. На приборе конструкции ВНИИ метчик устанавливают в раздвижные центры. По отклонению стрелки с помощью неподвижной шкалы отсчитывают величину переднего угла. Нулевое положение на шкале устанавливается по специальному шаблону. При отсутствии прибора используют штангенрейсмас (см. рис. 14.44), измерительную плоскость которого совмещают с передней поверхностью метчика, установленного в центрах. По разности высоты центров  $C$  и высоты передней поверхности  $A$  определяют величину переднего угла метчика диаметром  $d$ :  $\sin \gamma = 2(C - A)/d$ .

Контроль заднего угла на режущей части метчика осуществляют в центрах с помощью индикатора, позволяющего определять спад  $k$  затылка по ширине зуба  $F$  или спад  $k$  на длине шага  $\pi d/z$  между зубьями (см. рис. 14.45, в):  $\operatorname{tg} \alpha = k/F$  или  $\operatorname{tg} \alpha = zk/\pi d$ .

Контроль переднего угла круглой плашки можно проводить с помощью штангенциркуля, у которого одна из измерительных плоскостей касается наружного диаметра  $D$  плашки, а вторая из измерительных плоскостей совпадает с передней поверхностью или с касательной плоскостью к криволинейной передней поверхности. По разности показаний штангенциркуля  $M$  и радиуса  $0,5D$  наружной поверхности плашки с внутренним диаметром  $d_{\text{вн}}$  резьбы определяют величину переднего угла  $\gamma$ :  $\sin \gamma = (M - 0,5D)/0,5d_{\text{вн}}$ .

#### 14.9. ЗАТОЧКА ПРОТЯЖЕК

**Назначение и типы протяжек, их конструктивные и геометрические особенности.** Протяжки являются многозубыми режущими инструментами, применяемыми для обработки отверстий, пазов и наружных поверхностей с простым или фасонным контуром. При резании протяжками применяют только одно, обычно поступательное движение инструмента, скорость которого является скоростью резания. Движения подачи отсутствуют, а срезание слоев металла  $S_z$  осуществляется за счет увеличения высоты или ширины последующего зуба относительно предыдущего зуба протяжки (рис. 14.49, а). Если срезание слоев осуществляется за счет превышения высоты последующего зуба по отношению к предыдущему, то такая схема называется *обычной* или *одинарной* (рис. 14.49, б).

Если зубья протяжки разбиты на группы (рис. 14.49, в), в пределах которых зубья имеют одинаковую высоту, но различную длину режущих кромок зубьев, то такая схема срезания слоев металла называется *групповой* или *прогрессивной* (рис. 14.49, в). В процессе резания стружка размещается во впадине между зубьями, размеры которой должны быть достаточными для полного размещения стружки (см. рис. 14.49, а).

Протягивание отверстий различной конфигурации с замкнутым контуром называется *внутренним* протягиванием (рис. 14.50, а, б, д, е) (это наиболее распространенный вид протягивания), а образование

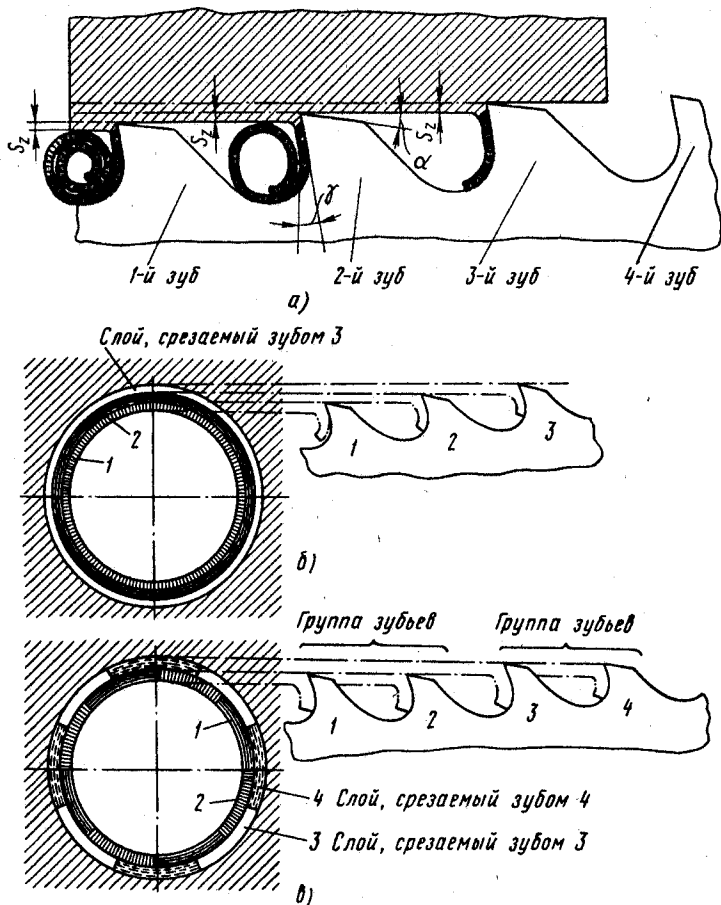


Рис. 14.49. Схемы срезания слоев металла при протягивании

наружных поверхностей с незамкнутым контуром с помощью протяжек — **наружным** протягиванием (рис. 14.50, в, г).

Основные виды внутренних протяжек следующие: круглые — для обработки круглых отверстий; квадратные — для протягивания квадратных отверстий из круглого; шпоночные — для обработки шпоночной канавки в отверстии; шлицевые прямые или спиральные — для обработки многошпоночных (шлицевых) отверстий; фасонные (эвольвентные, остроугольношлицевые и т. д.) — для обработки отверстий фасонного профиля; комбинированные и т. п.

Конструкцией внутренних протяжек предусматриваются следующие составные части (рис. 14.50, а),

хвостовик 1 диаметром  $d_x$ , длиной  $l_x$ , предназначенный для закрепления протяжки в патроне;

шейка 2 диаметром  $d_{ш}$ , длиной  $l_{ш}$ , соединяющая хвостовик с перед-

ней направляющей частью 4 переходным конусом 3 длиной  $l_{пк}$ ; передняя направляющая 4 диаметром  $d_{пн}$ , длиной  $l_{пн}$ , обеспечивающая центрирование или направление протяжки в начальный момент работы рабочих зубьев;

рабочая часть длиной  $l_p$ , состоящая из рабочих зубьев;

калибрующая часть длиной  $l_k$ , состоящая из 4–8 калибрующих зубьев;

задняя направляющая часть 5 диаметром  $d_{зн}$ , длиной  $l_{зн}$ , предназначенная для поддержки и центрирования протяжки при выходе из контакта последних зубьев;

задний хвостовик длиной  $l_ц$ , предназначенный для соединения протяжки с патроном на станках для автоматического протягивания. Протяжка, которая работает на сжатие, называется прошивкой (рис. 14.50, б).

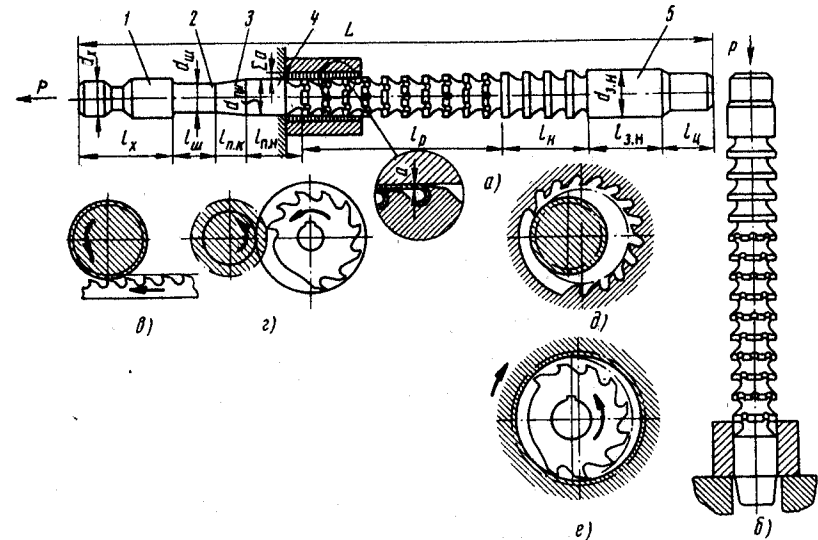


Рис. 14.50. Схемы работы основных видов протяжек при протягивании:

а — отверстия круглой протяжкой, б — отверстия круглой прошивкой, в — наружной поверхности тела вращения плоской протяжкой, г — наружной поверхности тела вращения дисковой протяжкой, д — наружной поверхности тела вращения охватывающей протяжкой, е — внутренней поверхности тела вращения дисковой протяжкой; 1 — хвостовик, 2 — шейка, 3 — переходной конус, 4 — передняя направляющая часть, 5 — задняя направляющая часть

Для изготовления протяжек применяют в основном инструментальные быстрорежущие стали.

Передние углы у протяжек измеряют в плоскости, нормальной к режущей кромке. Рекомендуемые значения переднего угла  $\gamma$  (средняя величина) зависят от обрабатываемого материала и вида зубьев и приведены в табл. 14.28.

Задние углы  $\alpha$  (рис. 14.49) у протяжек измеряются в осевой плоскости, совпадающей с направлением перемещения протяжек

при протягивании. Средние значения задних углов  $\alpha$  зависят от вида протяжки и назначения зубьев на протяжке (табл. 14.29).

На калибрующих зубьях внутренних протяжек для сохранения размера задний угол на ленточке шириной 0,2–1,2 мм равен нулю или выполняется в пределах 0,5–1°. Ширина ленточки на калибрующих зубьях минимальная, у первого зуба 0,2 мм и постепенно увеличивается к последнему калибрующему зубу. Калибрующие зубья не имеют подъема зуба и не снимают стружку. По мере износа и повторной заточки режущих зубьев калибрующие зубья последовательно переходят в режущие. Для уменьшения шероховатости и получения высокой точности в конце калибрующих зубьев делается несколько выглаживающих.

14.28. Рекомендуемые значения переднего угла у протяжек, град

Обрабатываемый материал	Зубья		Обрабатываемый материал	Зубья	
	обдирочные	чистовые и калибрующие		обдирочные	чистовые и калибрующие
Сталь	15–18	5	Латунь, бронза	5	5
Чугун серый	5–10	5	Жаропрочные сплавы	15	5
Чугун ковкий	10	5	Титановые сплавы	3–5	5
Алюминиевые сплавы	20	20			

14.29. Рекомендуемые значения задних углов у протяжек, град

Тип протяжки	Зубья		
	черновые	чистовые	калибрующие
Круглые шлицевые	3	2	1
Шпоночные	3	2	2
Наружные нерегулируемые	3–4	2	1–2
Наружные регулируемые	3–4	3–4	3–4

На режущих зубьях протяжек для обеспечения образования стружки и возможности ее удаления из впадины вышлифовываются стружкоделительные канавки при обычной схеме или выкружки при групповой схеме срезания припуска. Угол  $\varphi$  между сторонами канавки принимается в зависимости от диаметра протяжки в пределах от 45 до 60°. Число канавок на круглых протяжках диаметром от 10 до 80 мм выбирается в пределах от 6 до 36 шт. с таким расчетом, чтобы расстояние между ними было не более 5–7 мм. Ширина канавки 0,6–1,2 мм, глубина впадины 0,4–0,8 мм, а радиус закругления

дна впадины 0,2–0,4 мм в зависимости от диаметра протяжки. Примерно такие же размеры канавок делают на шпоночных, шлицевых, прямоугольных и плоских протяжках. У круглых протяжек с групповой схемой резания для обработки отверстий диаметром 10–20 мм образуется 6–14 выкружек шириной  $a = 4 \div 9$  мм, радиусом  $R_a = 22,5$  мм.

**Износ зубьев протяжек.** Износ зубьев протяжки происходит по всем поверхностям контакта с обрабатываемой деталью и стружкой в процессе резания: по передней  $h$  и задней  $h_3$  поверхностям, по уголкам  $h_y$  и переходным режущим кромкам, по ленточке у калибрующих зубьев (рис. 14.51, а, б). Лимитирующим износом является износ задней поверхности  $h_3$  и  $h_y$  (рис. 14.51, з) и округление кромки зуба протяжки.

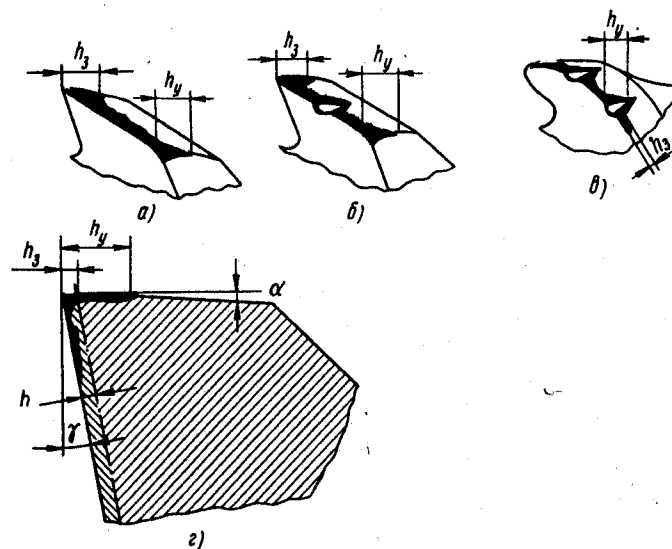


Рис. 14.51. Схема износа зубьев протяжек:

а, б — шпоночные протяжки соответственно без стружкоделительных канавок и с ними, в — круглая протяжка со стружкоделительными канавками, з — износ по передней и задней поверхностям и округление режущей кромки зуба протяжки

Допустимая величина износа по задней поверхности зубьев протяжек  $h_3$  находится в пределах 0,10–0,15 мм, а по уголкам стружкоделительных канавок — 0,2–0,4 мм. Округление режущей кромки происходит неравномерно: несколько интенсивнее в начальный период и стабилизируется в последующий период работы. Чрезмерное округление кромки вызывает увеличение шероховатости поверхности, изменение размеров и формы протягиваемых отверстий. Поэтому допустимые величины износа по задней поверхности и округления режущей кромки определяются технологическими требованиями к качеству поверхности деталей.



**Восстановление.** Режущие свойства зуба протяжки восстанавливают заточкой по передней поверхности, так как при этом уменьшение диаметра протяжки будет минимальным. Однако даже при малых значениях углов на зубьях диаметр протяжек убывает и величину снимаемого слоя  $h$  (рис. 14.51,  $z$ ) необходимо согласовать с величиной допуска на диаметр протягиваемого отверстия. Обычно величину  $h$  принимают равной  $h_3 + 0,05$ , мм. Средняя толщина слоя, снимаемого за одну заточку (мм) в зависимости от типа протяжек, следующая: круглые — 0,15–0,30; шлицевые — 0,15–0,25; шпоночные — 0,25–0,30; профильные — 0,15–0,25; комбинированные — 0,15–0,125. Меньшие значения относятся к чистовым протяжкам, большие — к черновым, работающим в напряженных условиях. Общая величина съема при заточках за период стойкости протяжки обычно находится в пределах до 1,5 мм.

Наружные и шпоночные протяжки затачиваются по задним поверхностям. По мере уменьшения высоты зубьев и уменьшения объема канавок после 3–5 заточек необходимо углублять впадину между зубьями и производить повторное шлифование протяжки по передней поверхности.

**Технологический процесс заточки и доводки протяжек.** Технологический процесс и режимы заточки протяжек должны быть такими, чтобы выдерживать требуемые геометрические параметры (радиус округления режущих кромок) и размеры (подъем на зуб), а также шероховатость затачиваемой поверхности в заданных пределах.

Заточка передней поверхности внутренних протяжек может осуществляться конической поверхностью круга тарельчатой формы (рис. 14.52). Так как передняя поверхность внутренних протяжек является конической, то при положительном переднем угле необходимо, чтобы шлифовальный круг «вписывался» в размеры канавки и не «разваливал» (подрезал) зуб. Это возможно, если в сечении  $A-A$  радиус кривизны  $R_k$  конической поверхности круга будет меньше радиуса кривизны  $R_n$  конической передней поверхности протяжки. Поэтому заточка передней поверхности внутренней протяжки не может осуществляться торцом круга. Более того, диаметр шлифовального круга не должен быть слишком большим; его величина должна согласовываться с размерами протяжки и углом  $\beta$  установки шпинделя заточного станка.

Из рис. 14.52 следует, что  $R_n = \frac{D_1}{2 \sin \gamma}$  и  $R_k = \frac{D_k}{2 \sin (\beta - \gamma)}$ . Учитывая, что  $R_n > R_k$ , получим  $D_k < \frac{D_1 \sin (\beta - \gamma)}{\sin \gamma}$ . Например, при  $\beta = 40^\circ$ ;  $\gamma = -16^\circ$ ,  $D_1 = 36$  мм получим следующие результаты расчета:

$$D_k < \frac{36 \cdot \sin (40 - 60)}{\sin 16^\circ} < \frac{36 \cdot \sin 24^\circ}{\sin 16^\circ} < \frac{36 \cdot 0,406}{0,276} = 53 \text{ мм.}$$

Выбираем  $D_k = 45$  мм.

После выбора требуемого диаметра круга и закрепления его на станке производится правка конической поверхности и радиусной части круга с помощью алмазно-металлического карандаша или брус-

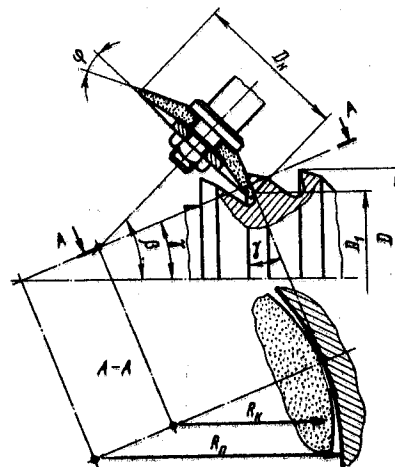
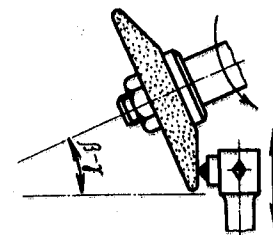


Рис. 14.52. Заточка круглой протяжки по передней поверхности

Рис. 14.53. Установка шпинделя шлифовального круга при правке конической поверхности тарельчатого круга



ка из карбида кремния зеленого. Шпиндель круга при правке устанавливается под углом  $\beta - \gamma$  (рис. 14.53) относительно оси центров передней и задней бабок станка.

Для заточки протяжек из быстрорежущих и инструментальных сталей применяют круги 24А зернистостью 16–25, твердостью СМ1 – СМ2, на керамической связке. Окружная скорость круга принимается равной 20–25 м/с при заточке протяжек из стали ХВГ и в пределах 18–20 м/с — из стали Р6М5. При заточке внутренних протяжек окружная скорость протяжки выбирается в пределах 0,2–0,25 м/с.

Глубина шлифования за каждый проход при заточке плоских наружных протяжек не должна превышать 0,02–0,04 мм. При заточке круглых протяжек подача на глубину шлифования за один цикл не должна превышать 0,03–0,05 мм. После снятия всего припуска следует дать некоторое время на выхаживание до полного исчезновения искры. При заточке передней поверхности протяжки круг вводится во впадину до соприкосновения с ее дном и постепенно перемещается к передней поверхности. Это позволяет получить впадину без уступа, который может помешать завиванию стружки.

Абразивное нарезание стружкоразделительных канавок производится методом врезного шлифования периферией круга, образующая которого при правке получает надлежащий профиль (рис. 14.54,  $a$ ). Ось круга должна иметь необходимое смещение  $K$  относительно передней поверхности (рис. 14.54,  $a$ ) для образования задних углов на вспомогательных кромках стружкоразделительной канавки. Если величина смещения  $K$  будет недостаточной (рис. 14.54,  $b$ ), то при заточке могут быть получены слишком малые или даже отрицательные задние углы, которые вызывают чрезмерно большой износ уголков. Нарезание канавок необходимо проводить очень осторожно, так как можно повредить кромку следующего зуба. Нельзя шлифовать канавки с большими поперечными подачами, так как это вызовет местный отжиг на зубе протяжки, резкое снижение твердости на уголках.

**Восстановление.** Режущие свойства зуба протяжки восстанавливают заточкой по передней поверхности, так как при этом уменьшение диаметра протяжки будет минимальным. Однако даже при малых значениях углов на зубьях диаметр протяжек убывает и величину снимаемого слоя  $h$  (рис. 14.51, *з*) необходимо согласовать с величиной допуска на диаметр протягиваемого отверстия. Обычно величину  $h$  принимают равной  $h_3 + 0,05$ , мм. Средняя толщина слоя, снимаемого за одну заточку (мм) в зависимости от типа протяжек, следующая: круглые — 0,15–0,30; шлицевые — 0,15–0,25; шпоночные — 0,25–0,30; профильные — 0,15–0,25; комбинированные — 0,15–0,125. Меньшие значения относятся к чистовым протяжкам, большие — к черновым, работающим в напряженных условиях. Общая величина съема при заточках за период стойкости протяжки обычно находится в пределах до 1,5 мм.

Наружные и шпоночные протяжки затачиваются по задним поверхностям. По мере уменьшения высоты зубьев и уменьшения объема канавок после 3–5 заточек необходимо углублять впадину между зубьями и производить повторное шлифование протяжки по передней поверхности.

**Технологический процесс заточки и доводки протяжек.** Технологический процесс и режимы заточки протяжек должны быть такими, чтобы выдержать требуемые геометрические параметры (радиус округления режущих кромок) и размеры (подъем на зуб), а также шероховатость затачиваемой поверхности в заданных пределах.

Заточка передней поверхности внутренних протяжек может осуществляться конической поверхностью круга тарельчатой формы (рис. 14.52). Так как передняя поверхность внутренних протяжек является конической, то при положительном переднем угле необходимо, чтобы шлифовальный круг «вписывался» в размеры канавки и не «разваливал» (подрезал) зуб. Это возможно, если в сечении  $A-A$  радиус кривизны  $R_k$  конической поверхности круга будет меньше радиуса кривизны  $R_n$  конической передней поверхности протяжки. Поэтому заточка передней поверхности внутренней протяжки не может осуществляться торцом круга. Более того, диаметр шлифовального круга не должен быть слишком большим; его величина должна согласовываться с размерами протяжки и углом  $\beta$  установки шпинделя заточного станка.

Из рис. 14.52 следует, что  $R_n = \frac{D_1}{2 \sin \gamma}$  и  $R_k = \frac{D_k}{2 \sin (\beta - \gamma)}$ . Учитывая, что  $R_n > R_k$ , получим  $D_k < \frac{D_1 \sin (\beta - \gamma)}{\sin \gamma}$ . Например, при  $\beta = 40^\circ$ ;  $\gamma = -16^\circ$ ,  $D_1 = 36$  мм получим следующие результаты расчета:

$$D_k < \frac{36 \cdot \sin (40 - 60)}{\sin 16^\circ} < \frac{36 \cdot \sin 24^\circ}{\sin 16^\circ} < \frac{36 \cdot 0,406}{0,276} = 53 \text{ мм.}$$

Выбираем  $D_k = 45$  мм.

После выбора требуемого диаметра круга и закрепления его на станке производится правка конической поверхности и радиусной части круга с помощью алмазно-металлического карандаша или брус-

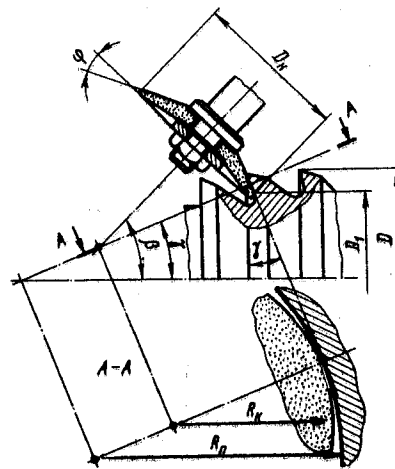
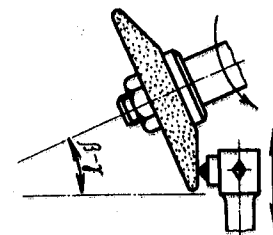


Рис. 14.52. Заточка круглой протяжки по передней поверхности

Рис. 14.53. Установка шпинделя шлифовального круга при правке конической поверхности тарельчатого круга



ка из карбида кремния зеленого. Шпиндель круга при правке устанавливается под углом  $\beta - \gamma$  (рис. 14.53) относительно оси центров передней и задней бабок станка.

Для заточки протяжек из быстрорежущих и инструментальных сталей применяют круги 24А зернистостью 16–25, твердостью СМ1–СМ2, на керамической связке. Окружная скорость круга принимается равной 20–25 м/с при заточке протяжек из стали ХВГ и в пределах 18–20 м/с — из стали Р6М5. При заточке внутренних протяжек окружная скорость протяжки выбирается в пределах 0,2–0,25 м/с.

Глубина шлифования за каждый проход при заточке плоских наружных протяжек не должна превышать 0,02–0,04 мм. При заточке круглых протяжек подача на глубину шлифования за один цикл не должна превышать 0,03–0,05 мм. После снятия всего припуска следует дать некоторое время на выхаживание до полного исчезновения искры. При заточке передней поверхности протяжки круг вводится во впадину до соприкосновения с ее дном и постепенно перемещается к передней поверхности. Это позволяет получить впадину без уступа, который может помешать завиванию стружки.

Абразивное нарезание стружкоразделительных канавок производится методом врезного шлифования периферией круга, образующая которого при правке получает надлежащий профиль (рис. 14.54, *а*). Ось круга должна иметь необходимое смещение  $K$  относительно передней поверхности (рис. 14.54, *а*) для образования задних углов на вспомогательных кромках стружкоразделительной канавки. Если величина смещения  $K$  будет недостаточной (рис. 14.54, *б*), то при заточке могут быть получены слишком малые или даже отрицательные задние углы, которые вызывают чрезмерно большой износ уголков. Нарезание канавок необходимо проводить очень осторожно, так как можно повредить кромку следующего зуба. Нельзя шлифовать канавки с большими поперечными подачами, так как это вызовет местный отжиг на зубе протяжки, резкое снижение твердости на уголках.

В протяжках группового резания разделение стружки производится широкими выкружками (размеры  $a$  и  $R_v$  на рис. 14.55, *a*), которые могут нарезаться кругами с цилиндрической (рис. 14.55, *b*) или с конической (рис. 14.55, *в*) рабочей поверхностью. В первом случае обработка осуществляется с продольной подачей стола, а необходимые задние углы на вспомогательных режущих кромках обеспечиваются

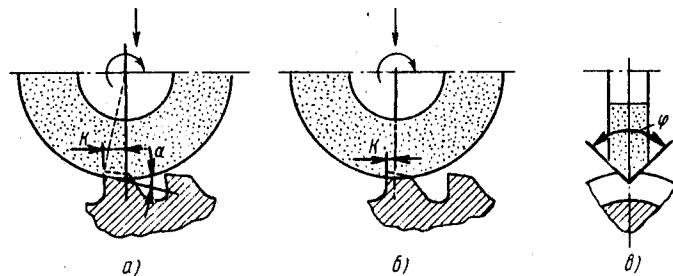


Рис. 14.54. Установка круга при вышлифовывании стружкоразделительных канавок:

*a, б* — продольное, *в* — поперечное сечение протяжки

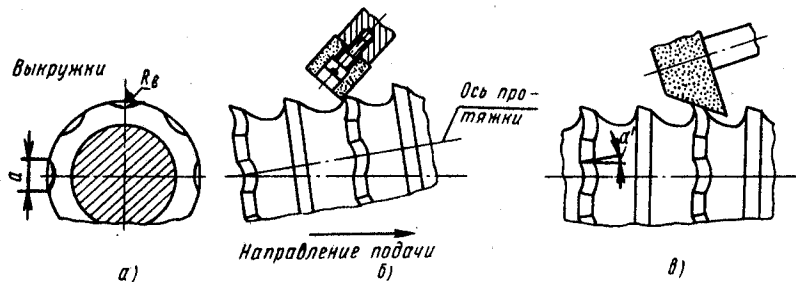


Рис. 14.55. Расположение круга при вышлифовывании выкружек на протяжках группового резания

надлежащим наклоном оси протяжки (рис. 14.55, *б*). Во втором случае коническая поверхность круга образует вспомогательные задние углы  $\alpha' = 4 \div 6^\circ$  (рис. 14.55, *в*).

Доводка протяжек осуществляется обычно по задним поверхностям притирами или мелкозернистыми кругами на бакелитовой связке.

На некоторых заводах доводка круглых протяжек производится на токарном станке со специальным приспособлением, которое обеспечивает вращение доводочного круга (2500–3000 об/мин) и его быстрое возвратно-поступательное перемещение (осцилляцию) вдоль образующей задней поверхности протяжки (300 дв. ход/мин). Амплитуда колебаний возвратно-поступательного движения круга должна регулироваться. В одном из приспособлений это осуществлено с по-

мощью сменных эксцентриков, обеспечивающих ход, равный 0,5; 1; 3; 4 и 5 мм. Диаметр круга выбирают таким, чтобы при колебательных движениях шпинделя он не задевал соседних зубьев. Иногда принимают диаметр круга меньше, чем шаг между зубьями у доводимой протяжки.

Доводочная головка приспособления имеет подпружиненный шпиндель (рис. 14.56), что позволяет осуществлять доводку с нормированной нормальной силой, обычно равной 10–20 Н. Головка состоит из корпуса 1, пружины 2, гильзы 3, ограничительного кольца 4 и круга 5. Угол наклона  $\beta$  доводочного шпинделя равен заднему углу  $\alpha$  на протяжке. Если угол  $\beta$  будет больше, чем  $\alpha$ , то при доводке придется снимать излишне большой припуск, что увеличивает износ притира и время доводки. Поэтому установку доводочного шпинделя следует выполнять тщательно, чтобы обеспечить при доводке снятие равномерного слоя. Доводка зубьев протяжек производится последовательно, вначале доводят все зубья, имеющие одинаковый задний угол, а затем зубья, имеющие по тем или иным причинам иной задний угол. Припуск после шлифования на доводку оставляется в пределах 0,01–0,02 мм и снимается в две операции: предварительную и окончательную. Предварительная доводка может осуществляться металлическими притирами, обычно из серого чугуна с помощью пасты зернистостью М20 из окиси хрома и карбида бора или синтетических алмазов. Паста наносится тонким слоем и растирается на задних поверхностях зубьев протяжки. Скорость вращения протяжки принимается равной 0,25–0,30 м/с для круглых протяжек и 0,05–1,0 м/с для шлицевых протяжек. При окончательной доводке снимается припуск 0,02–0,03 мм и обеспечивается шероховатость поверхности  $Ra = 0,16–0,63$  мкм.

Контроль качества заточки протяжек. Для контроля переднего угла после заточки можно использовать универсальный угломер или специальные угломеры с набором сменных радиусных шаблонов. При измерении опорная поверхность угломера накладывается на зубья протяжки, а шаблон соответствующим ребром совмещается с передней поверхностью протяжки.

У плоских протяжек после заточки по задней поверхности контролируется задний угол и величина подъема на зуб, т. е. разность между высотами двух смежных зубьев. Измерение высоты зубьев осуществляется с помощью микрометра, а заднего угла — с помощью шаблонов или угломера.

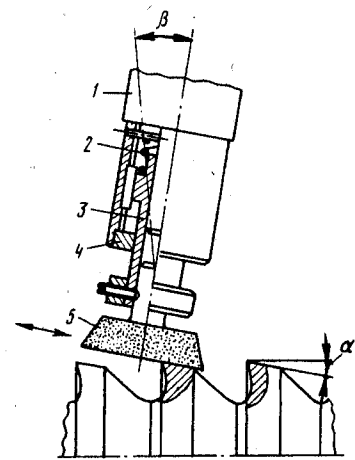


Рис. 14.56. Доводка задней поверхности круглой протяжки

#### 14.10. ЗАТОЧКА ЗУБОРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА

Зуборезные инструменты предназначены для нарезания цилиндрических, конических, червячных и других зубчатых колес с прямыми, косыми, шевронными или винтовыми зубьями. Этими инструментами осуществляется нарезание зубьев на колесе одним из двух методов: методом копирования профиля режущей части инструмента при формообразовании впадины между зубьями; методом обкатки (обката) профиля боковой поверхности зуба производящим контуром режущей части инструмента при их относительном движении в процессе зубонарезания. Для понимания особенностей зуборезных инструментов необходимо ознакомиться с основами теории зубчатого зацепления и основными элементами зубчатых колес.

#### Основные элементы зубчатого колеса и зубчатого зацепления.

Зубчатые механизмы применяют для передачи вращательного движения между параллельными (цилиндрические передачи), пересекающимися (конические) или перекрещивающимися (винтовые, червячные, гипоидные) осями.

Основным элементом любого зубчатого колеса является зуб, образованный боковыми поверхностями, поверхностью вершин и поверхностью впадин. Число зубьев на колесе обозначают буквой  $z$ , а расстояние между одноименными профилями зубьев, измеренное в определенном направлении, называют шагом и обозначают буквой  $p$ . Отношение шага  $p$  к числу  $\pi$  называют модулем:  $m = p / \pi$ .

На рис. 14.57 показан профиль зубчатого цилиндрического колеса в торцовом сечении. Окружность, по которой шаг  $p$  между зубьями соответствует стандартным числовым значениям модуля, называется делительной. Ее радиус обозначают буквой  $r$ .

Длина делительной окружности  $2\pi r = pz$ . Следовательно,

$$r = \frac{pz}{2\pi} = \frac{p}{\pi} \cdot \frac{z}{2} = m \cdot \frac{z}{2}.$$

Модуль  $m$  и число зубьев  $z$  являются основными параметрами зубчатого колеса, через которые выражаются другие расчетные величины.

Профиль зуба может очерчиваться по прямой линии или по различным кривым: дуге окружности, эвольвенте, циклоидальным кривым. Наибольшее применение получили эвольвентные профили, как наиболее технологичные, т. е. наиболее простые в изготовлении, и как наиболее работоспособные и надежные в эксплуатации.

Стандартным параметром зубчатого колеса также является угол профиля эвольвенты  $\alpha$ , соответствующий точке на делительной окружности, — угол между радиусом-вектором и касательной к эвольвентному профилю в точке на делительной окружности. Его величина в СССР принята равной  $20^\circ$ .

Шаг по делительной окружности делится на толщину зуба  $S$  и ширину впадины  $e$ . Если  $S = e = p/2$ , то колесо называют нулевым колесом. Если  $S > p/2$ , то колесо называется положительным и толщину зуба подсчитывают по формуле  $S = m(\frac{\pi}{2} + 2x \operatorname{tg} \alpha)$ ,

где  $x$  — коэффициент смещения исходного производящего контура относительно делительной окружности. Исходный производящий контур имеет очертания рейки, т. е. колеса с бесконечно большим числом зубьев. В этом случае эвольвента принимает вид прямой, наклоненной под углом  $\alpha = 20^\circ$  к делительной прямой, для которой  $S = e = \pi m / 2$ .

Высота прямолинейного участка исходного производящего контура принимается равной  $2h_a^* m$ , где коэффициент  $h_a^*$  принимают равным единице. Высота переходного участка, очерченного по дуге окружности радиуса  $\rho = 0,38 m$ , равна  $c^* m$ , где  $c^* = 0,25$ . Основные размеры колеса, указанные на рис. 14.57, подсчитывают по следующим формулам:

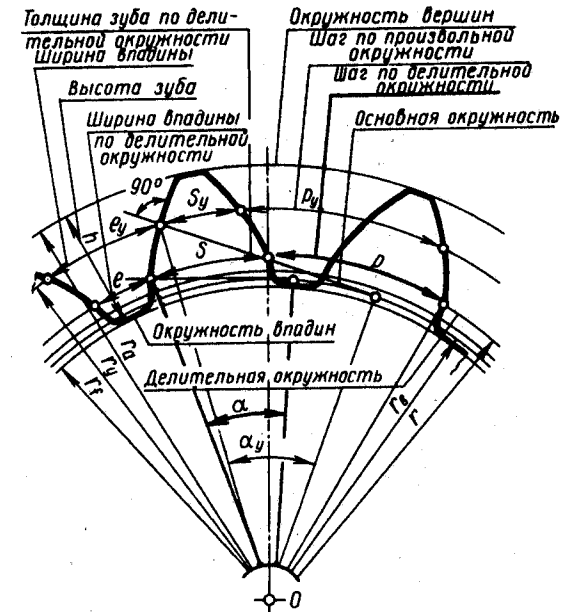


Рис. 14.57. Основные элементы эвольвентного цилиндрического колеса

$$\begin{aligned} \text{радиус окружности вершин } r_a &= m(z/2 + x + h_a^* - \Delta y); \\ \text{радиус окружности впадин } r_f &= m(z/2 + x - h_a^* - c^*); \\ \text{радиус основной окружности } r_b &= r \cos \alpha; \\ \text{высота зуба } h &= m(2h_a^* + c^*). \end{aligned}$$

При частных значениях параметров для нулевых колес ( $x = 0$ ) эти формулы значительно упрощаются:

$$\begin{aligned} r_a &= 0,5m(z + 2); \quad r_f = 0,5m(z - 2,5); \\ r_b &= 0,5mz \cos \alpha; \quad h = 2,25m. \end{aligned}$$

При обозначении параметров для окружности произвольного радиуса  $r_y$  используется индекс  $y$  ( $S_y, e_y, r_y$ ).

Схема зацепления двух цилиндрических эвольвентных колес с числами зубьев  $z_1$  и  $z_2$  показана на рис. 14.58. При вращении колес боковые профили контактируют в точке  $K$ , а их общая нормаль  $N_1N_2$  касается основных окружностей радиусов  $r_{\omega_1}$  и  $r_{\omega_2}$  и пересекает межосевое расстояние  $a_{\omega} = O_1O_2$  в точке  $P$ , называемой полюсом зацепления.

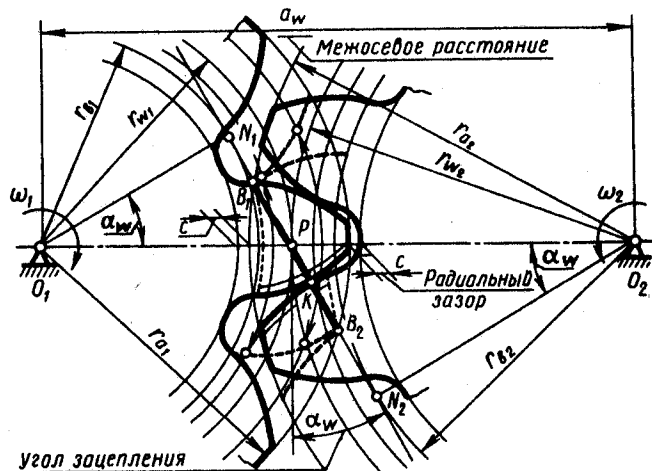


Рис. 14.58. Схема зацепления эвольвентных цилиндрических колес

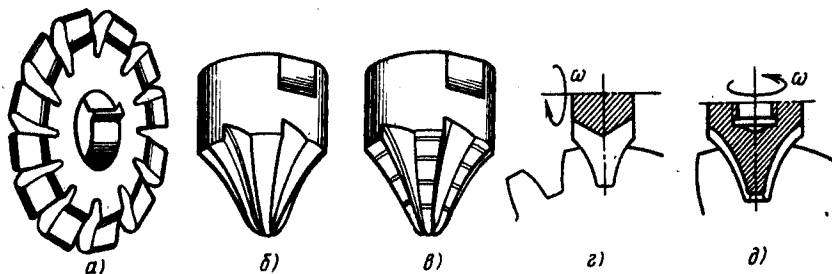


Рис. 14.59. Дисксовая (а), пальцевые чистовая (б) и черновая (в) модульные фрезы и профилирование впадины дисксовой (г) и пальцевой (д) фрезами

Положение точки  $P$  на линии  $O_1O_2$  определяет передаточное отношение  $u_{12}$ , т. е. отношение угловых скоростей колес  $\omega_1$  и  $\omega_2$  при их зацеплении:  $u_{12} = \omega_1/\omega_2 = \mp PO_2/PO_1 = \mp z_2/z_1$ . Если полюс зацепления  $P$  не меняет своего положения, то передаточное отношение постоянно и колеса являются круглыми. Окружности, проходящие через полюс  $P$ , называются начальными с радиусами  $r_{\omega_1}$  и  $r_{\omega_2}$ . Они обкатываются друг по другу без скольжения. Угол зацепления  $\alpha_{\omega}$  характеризует положение общей нормали  $N_1N_2$  относительно перпендикуляра, проведенного к межосевой линии  $O_1O_2$ . При зацеплении

двух нулевых колес угол зацепления  $\alpha_{\omega} = \alpha = 20^\circ$ , в остальных случаях он может отличаться от этого значения ( $\alpha_{\omega} \leq \alpha$ ).

**Особенности конструкции зуборезного инструмента.** Для нарезания зубчатых колес методом копирования применяют дисковые (рис. 14.59, а, г) или пальцевые (рис. 14.59, б, в, д) модульные фрезы. Нарезание производится на универсально-фрезерных станках с применением делительных устройств.

Наиболее распространенным инструментом (для нарезания зубчатых колес методом огибания, рис. 14.60, а) являются червячные фрезы, изготавливаемые из быстрорежущей стали или оснащенные твердосплавными пластинами. На рис. 14.60 показана конструкция цельной червячной фрезы. Червячные фрезы изготавливают с разной степенью точности, что определяет и разные технические требования на допустимые погрешности при их заточке: отклонение передней поверхности от радиальности, наибольшую разность окружных шагов стружечных канавок, отклонение от требуемого направления стружечных канавок, шероховатость поверхности.

Задние поверхности червячной фрезы (рис. 14.60, в, б) образуются затылованием, что обеспечивает постоянство профиля зубьев при заточке фрезы по передней поверхности. Передняя поверхность образуется нарезанием винтовой или наклонной стружечной канавки.

При небольшом угле подъема витков стружечные канавки делают параллельными оси фрезы, т. е. переднюю поверхность делают осевой плоскостью, что облегчает изготовление и заточку червячных фрез. У чистовых фрез передний угол  $\gamma = 0^\circ$ , у черновых  $\gamma = 7^\circ$  (рис. 14.60, в, б).

Задние углы у червячных фрез зависят от величины падения затылка  $K$  при затыловании:  $\text{tg } \alpha_s = K_z/(\pi D_e)$ , где  $z$  — число зубьев червячной фрезы;  $D_e$  — наружный диаметр фрезы.

Более точные колеса нарезаются долбьями (рис. 14.61). Для стандартных долбьяков принят следующий ряд диаметров: 25, 50, 75 и 100 мм. Переднюю поверхность 1 выполняют конической для образования переднего угла  $\gamma = 5 \div 10^\circ$ . Задний угол при вершине зуба образуется конической задней поверхностью 2 путем шлифования долбьяка на конус по наружному диаметру. Задняя поверхность 3 по боковому профилю выполняется при шлифовании на специальных станках в форме винтовой эвольвентной поверхности. На пересечении задних и передних поверхностей образуются режущие кромки 4 и 5.

Наибольшее применение имеют следующие долбьяки: дисковые прямозубые, дисковые косозубые, чашечные прямозубые, хвостовые прямозубые, хвостовые косозубые. Косозубые долбьяки имеют углы наклона зубьев 15 и 23°. Хвостовые долбьяки имеют модули 1–4 мм, дисковые — 1–12 мм, чашечные — 1–9 мм.

**Технология заточки зуборезных инструментов.** Режущие элементы зуборезных инструментов изнашиваются по задней и передней поверхностям. Обычно лимитирующим износом, влияющим на точность нарезаемого колеса и шероховатость поверхности, является

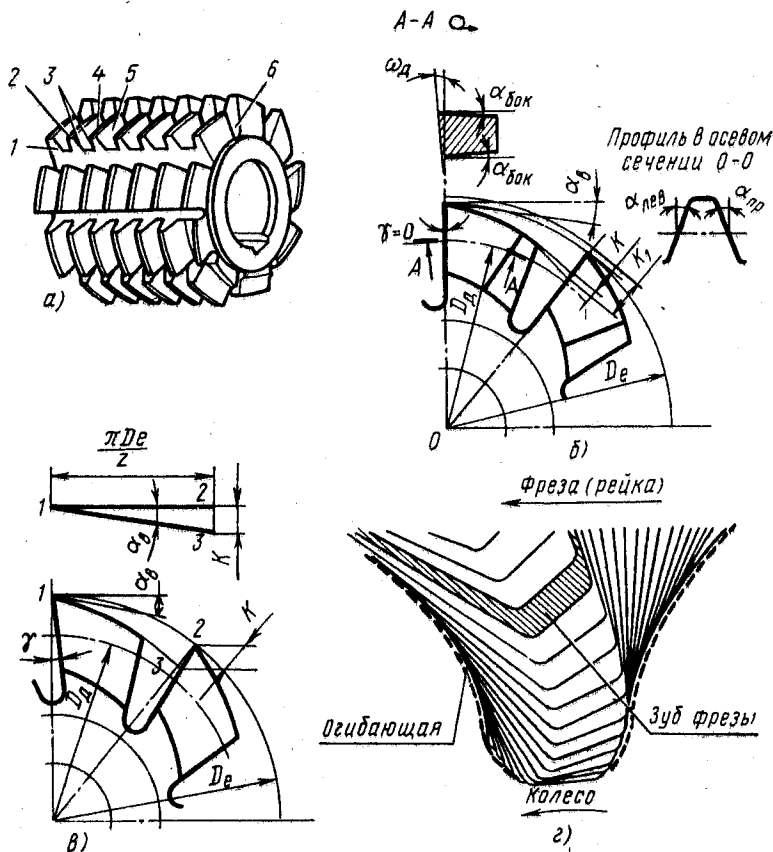


Рис. 14.60. Конструктивные элементы и геометрические параметры червячной модульной фрезы:  
 а — основные поверхности и кромки фрезы, б, в — геометрические параметры соответственно чистой и черновой фрез, г — схема профилирования впадины зубчатого колеса при нарезании червячной фрезой; 1 — передняя поверхность, 2 — кромка вершины винтовой нитки, 3 — кромка боковой стороны нитки, 4, 5 — задние поверхности на вершине и на боковой стороне винтовой нитки, 6 — стружечная канавка

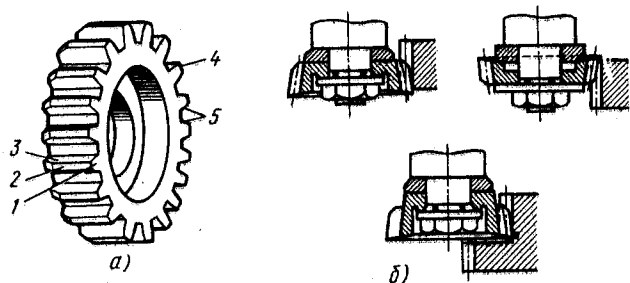


Рис. 14.61. Конструктивные элементы зуборезного долбяка (а) и схемы его установки (б)

износ у вершины зуба по задней поверхности  $h_3$  (табл. 14.30), величина которого определяет припуск  $h$  (мм) при заточке инструмента по передней поверхности:  $h = h_3 + (0,1 \div 0,15)$ .

14.30. Износ по задней поверхности  $h_3$  зуборезных инструментов

Обрабатываемый материал	Зуборезный инструмент	Обработка	
		предварительная	чистовая
Сталь	Фреза дисковая	0,8—1,0	0,2—0,4
	Фреза червячная	1,0—1,5	0,2—0,4
	Долбяк дисковый	0,8—1,0	0,1—0,25
Чугун	Фреза червячная	0,6—0,8	0,2—0,4
	Долбяк дисковый	0,8—1,0	0,1—0,25

Для заточки червячной фрезы по передней поверхности необходимы следующие движения: подача на врезание, деление на зуб, продольная подача и относительный поворот образующей для формообразования винтовой поверхности.

При заточке фрез с прямолинейными стружечными канавками дополнительного поворота не требуется, так как винтовая передняя поверхность становится плоской и ее можно шлифовать торцом круга. Конструкция станка для заточки таких фрез значительно упрощается, а точность и жесткость станка повышаются. Съем припуска осуществляется по схеме многопроходного шлифования с делением на зуб после каждого двойного хода. Более современные станки предусматривают однопроходное (глубинное) шлифование, т. е. полную обработку передней поверхности с последующим поворотом для заточки следующего зуба. Продольная подача может осуществляться либо подвижным столом, на котором устанавливается фреза, либо подвижной шлифовальной бабкой. Обе схемы используются в разных моделях станков.

При заточке фрез с винтовыми стружечными канавками дополнительное вращательное движение фрезы осуществляется поворотом шпинделя посредством одного из следующих устройств: синусной линейки, шестеренчато-реечной зубчатой передачи, шариковым винтом, специальным электрогидравлическим следящим приводом.

Наиболее сложные станки для заточки червячных фрез имеют следующий цикл работы: грубое шлифование, предварительное выхаживание, тонкое шлифование, тонкое выхаживание. Параметры, определяющие продолжительность цикла: подача на оборот фрезы, частота вращения фрезы при грубом, тонком шлифовании и выхаживании, число затачиваемых зубьев между подачами на глубину резания и между двумя правками, скорость подач при правке, устанавливаются соответствующими устройствами при наладке станка.

Станки для заточки фрез с прямыми канавками имеют разнооб-

разные программы цикла. При многопроходном цикле предусматривается грубая и тонкая заточки и выхаживание. При однопроходном цикле рабочий ход происходит при медленной продольной подаче (глубинное шлифование), а холостой ход — при быстром продольном перемещении. Иногда тонкое шлифование осуществляется за несколько ходов.

Переднюю поверхность фрез с винтовыми стружечными канавками шлифуют конической поверхностью тарельчатого круга с углом профиля  $15-20^\circ$  и более при малых модулях ( $m < 2$  мм) или при определенных погрешностях по радиальности передней поверхности (для класса точности А  $m \leq 4$  мм, для класса точности АА  $m \leq 8$  мм). Это связано с тем, что угол подъема винтовых линий на фрезе зависит от размера цилиндрической поверхности. Относительно винтовой линии на среднем диаметре фрезы угол подъема винтовых линий меньше для точек профиля на вершине зуба и больше для точек профиля на впадине зуба. В связи с этим прямолинейная образующая конического круга при заточке срезает часть металла на передней поверхности и ее образующая становится выпуклой вместо прямолинейной.

Во избежание подобного подрезания образующая шлифовального круга должна иметь криволинейный выпуклый профиль, который достигается правкой кругов по копиру. Копиры могут быть сменные или перенастраиваемые в виде объемного поворачиваемого копира или деформируемой пластины, изгибаемой асимметрично относительно средней точки в соответствии с расчетными углами подъема винтовой линии.

Схема настройки механизма правки полуавтомата модели 3А662 показана на рис. 14.62. Шлифовальный круг 2 вводится в канавку затачиваемой фрезы 1 с радиусом  $R_0$  и определяется величина  $A$  по шкале на неподвижных салазках. Зная размеры  $A$  и  $R_0$ , определяют величины  $B$ ,  $C$ ,  $D$  и  $L_1$ , обеспечивающие прохождение алмазов 3 точки  $O$  в тот момент, когда шуп 7 проходит точку  $A$  копира 4, закрепленного в кассете 5. Установка кассеты в корпусе механизма правки осуществляется по шкале 13 и нониусу 12 на величину  $L_1$ . Упоры 11 и 14, переставляемые по штанге 10, нажимают на конечные переключатели 9 и 15 и ограничивают ход ползуна, на котором закреплен шуп 7. Координаты точек  $K$  и  $M$  на профиле круга ( $x_r, y_r$  и  $x_n, y_n$  соответственно для головки и ножки профиля) рассчитывают или определяют по таблицам, прикладываемым к паспорту станка. Микрометрическими винтами 6 и 8 устанавливают соответствующие величины прогибов  $h_n$  и  $h_r$  копира 4, выполненного в виде деформируемой пластины.

Зуборезные долбяки с прямыми зубьями затачивают по передней поверхности периферией круга на плоскошлифовальных станках с круглым столом, на универсально-заточных станках с применением приспособления для круглого шлифования (рис. 14.63, а). У косозубых долбяков заточку каждого зуба производят отдельно по методу плоского шлифования периферией круга (рис. 14.63, б). Боковая поверхность зубьев используется в качестве делительного диска.

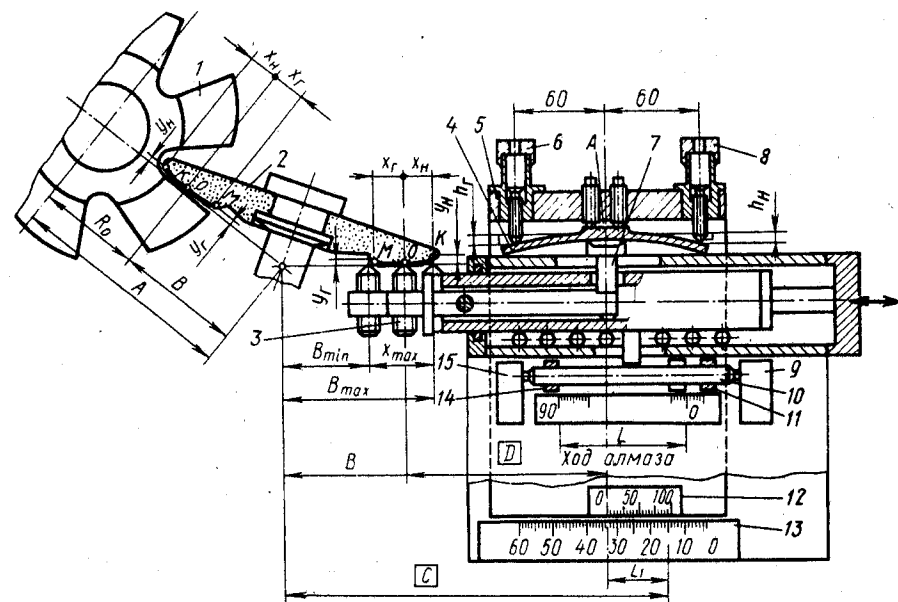


Рис. 14.62. Схема настройки механизма правки круга в полуавтомате мод. 3А662

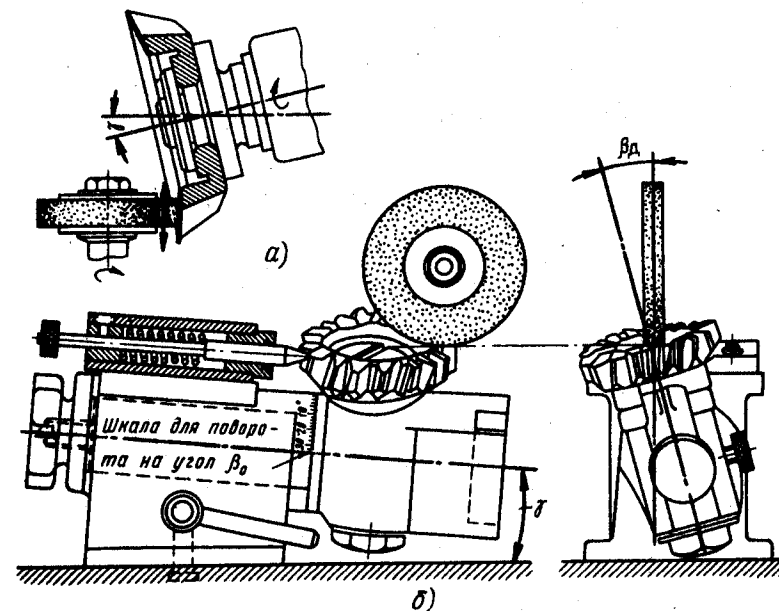


Рис. 14.63. Заточка дискового прямозубого (а) и дискового косозубого (б) долбяков

Относительно оси долбяка образующая передней поверхности имеет наклон для образования переднего угла по вершине зуба. Поверхность зуба долбяка устанавливается симметрично относительно круга, что обеспечивает равенство передних углов на боковых режущих кромках. Это обеспечивается соответствующей установкой долбяка в приспособлении под углами  $\gamma$  и  $\beta_d$ , где  $\beta_d$  — угол наклона линии зуба долбяка.

В долбяках для шевронных колес передние поверхности зубьев должны иметь такое расположение, при котором обе боковые и по вершине режущие кромки должны доходить до угла шеврона одновременно, т.е. они располагаются в плоскости, перпендикулярной оси долбяка. В этом случае для выравнивания передних углов на тупой стороне вдоль эвольвентной кромки вышлифовывают канавку, а на острой стороне — затачивают фаску.

Станки для заточки долбяков предусматривают работу с разными циклами: от ручного до автоматического управления. Циклы заточки рассчитаны на многопроходное или однопроходное шлифование, предварительную и чистовую заточку с раздельной правкой и на выхаживание без подачи на глубину шлифования.

**Контроль качества заточки зуборезного инструмента.** Зуборезные инструменты в зависимости от их назначения изготавливают с разной точностью. Различают следующие классы точности червячных фрез: AA, A, B и C, рекомендуемые для изготовления колес разной степени точности: соответственно 7; 8; 9; 10.

Отклонение от радиальности  $f_r$  передней поверхности на рабочей высоте профиля зуба проверяется после заточки с помощью специальных приборов или индикаторов (рис. 14.64, в).

Для однозаходных червячных фрез допустимые пределы отклонений зависят от модуля и класса точности фрезы. Например, для фрез класса A отклонение  $f_r$  от радиальности передней поверхности для фрез разного модуля  $m$  изменяется в следующих пределах:

$m$ , мм	от 1 до 2	свыше 2	свыше 3,55	свыше 6	свыше 10	свыше 16
$f_r$ , мкм	26	до 30	до 36	до 45	до 60	до 85

Для фрез разных классов точности с модулем от 3,55 до 6 мм отклонение  $f_r$  изменяется в следующих пределах:

Класс точности	AA	A	B	C
$f_r$ , мкм	24	36	53	80

Наибольшая разность  $f_{p1}$  окружных шагов  $p_1$  стружечных канавок чистовых червячных фрез допускается в следующих пределах: для фрез класса A

$m$ , мм	от 1 до 2	свыше 2	свыше 3,55	свыше 6	свыше 10	свыше 16
$f_{p1}$ , мкм	20	до 25	до 32	до 40	до 50	до 63

для фрез с модулем от 3,55 до 6 мм

Класс точности	AA	A	B	C
$f_{p1}$ , мкм	20	32	63	67

Осуществляется также контроль накопленной погрешности окружного шага  $p_1$ , стружечных канавок и погрешности направления стружечных канавок на 100 мм длины рабочей части фрезы (рис. 14.64).

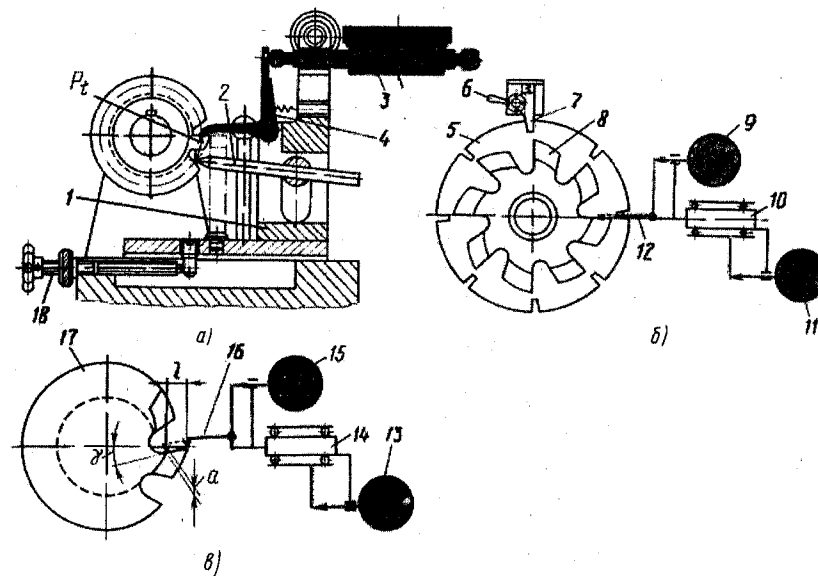


Рис. 14.64. Контроль параметров червячной фрезы после заточки

При сравнительном измерении погрешностей окружного шага фрезу устанавливают в центрах прибора (рис. 14.64, а) и подводят измерительный суппорт 1 до касания наконечниками неподвижного 2 и рычажного 4 упоров передних поверхностей двух соседних зубьев в точках на одном и том же среднем цилиндре, радиус которого устанавливается винтом 18. При упоре штифта на суппорте 1 в установочный винт 18 показания индикатора 3 устанавливают на нулевое значение шкалы, отводят суппорт от фрезы и фрезу поворачивают на один угловой шаг. Затем подводят суппорт до касания в упор 2. По показаниям индикатора определяют относительное отклонение окружного шага от первоначального, принимаемого за базу для отсчета отклонений. Подобные измерения проводят для всех зубьев фрезы и находят наибольшие отклонения от номинального, которые не должны превышать допустимых значений.

На приборах с делительными дисками (рис. 14.64, б) измеренные с помощью индикаторов 9 и 11, каретки 10 и наконечника 12 окружные шаги на фрезе 8 сравниваются с номинальными значениями шагов, которые воспроизводятся делительным диском 5 и фиксатором 7.



Рукоятка 6 служит для вывода фиксатора 7 из паза диска 5 во время поворота фрезы 8 совместно с диском 5 на окружной шаг.

Измерение переднего угла, числовое значение которого определяют из соотношения  $\operatorname{tg} \gamma = a/l$ , и прямолинейности передней поверхности зуба фрезы осуществляют на приборе, схема которого показана на рис. 14.64, в. В осевой плоскости фрезы 17 устанавливают исходное положение наконечника 16. При перемещении каретки 14 в плоскости, параллельной осевой плоскости фрезы, с помощью индикаторов 13 и 15 измеряют длины  $a$  и  $l$ , на которые переместится наконечник при скольжении по передней плоскости фрезы.

#### 14.11. ЗАТОЧКА ИНСТРУМЕНТОВ, ОСНАЩЕННЫХ ПОЛИКРИСТАЛЛАМИ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Поликристаллические сверхтвердые материалы на основе нитрида бора обладают твердостью 4000–7500 кг/мм<sup>2</sup>, в 2–4 раза превышающей твердость твердых сплавов. Сочетание столь значительной твердости с высокой (1100–1300°C) теплостойкостью (например, теплостойкость быстрорежущей стали — 600°C, твердого сплава — 900°C), хорошей теплопроводностью, достаточно высокими прочностными свойствами позволило использовать эти сверхтвердые материалы для оснащения некоторых лезвийных инструментов. Такие инструменты могут работать с высокими скоростями главного движения резания и малыми сечениями срезаемого слоя. Малые толщины срезаемого слоя обеспечивают малую шероховатость поверхности, незначительные размеры дефектного слоя в поверхностном слое заготовки, малые значения силы резания и высокую точность обработки.

Лезвийными инструментами из сверхтвердых материалов обрабатывают труднообрабатываемые материалы, сокращая основное время по сравнению с абразивной обработкой. При лезвийной обработке в поверхностном слое заготовки отсутствуют микротрещины, прижоги, шаржирование абразивными частицами.

Наибольшее применение из сверхтвердых материалов получают поликристаллы следующих марок: композит 01 (эльбор-Р), композит 05, композит 10 (гексанит-Р), композит 10Д (двухслойные пластины с рабочим слоем из гексанита-Р). Методические рекомендации по эксплуатации инструментов из сверхтвердых материалов разработаны во ВНИИ (Всесоюзном научно-исследовательском инструментальном институте). Рекомендуются следующие области применения инструментов, оснащенных сверхтвердыми материалами:

композит 01 — тонкое и чистовое точение непрерывных поверхностей (без удара из-за канавок, пазов, корки и т. п.), торцовое фрезерование заготовок из закаленных сталей и чугунов любой твердости, твердых сплавов с содержанием кобальта не менее 15% с предельно допустимой глубиной резания до 1 мм (рекомендуемая глубина резания 0,05–0,5 мм);

композит 05 — предварительное и окончательное точение непрерывных поверхностей заготовок из закаленных сталей твер-

достью  $HRC \leq 60$  и чугунов любой твердости с глубиной резания 0,05–3 мм; торцовое фрезерование чугунов любой твердости (в том числе по корке) с глубиной резания 0,05–6,0 мм;

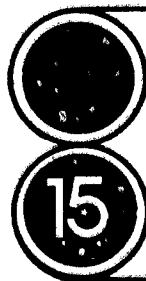
композит 10 и 10Д — предварительное и окончательное точение (в том числе прерывистых поверхностей) и торцовое фрезерование заготовок из сталей и чугунов любой твердости, твердых сплавов с содержанием кобальта не менее 15% с глубиной резания 0,05–3 мм. Припуск зависит от вида обработки и обрабатываемого материала; при точении он не должен превышать: для чугунов 3–4 мм на сторону, для закаленных сталей 2–3 мм, при торцовом фрезеровании — для чугунов 4–6 мм, для стали 2 мм. Основной припуск снимается за один проход, при необходимости чистовые проходы производят с глубиной резания 0,1–0,3 мм; предельные подачи при точении до 0,3 мм/об, при фрезеровании до 0,1 мм/зуб.

Освоен выпуск инструментов, оснащенных сверхтвердыми материалами, разного назначения: резцы токарные сборные проходные и расточные с механическим креплением ромбических, трехгранных и круглых пластин из композита марок 01, 05, 10, 10Д; резцы токарные сборные проходные, подрезные и расточные с механическим креплением цилиндрической вставки с режущим элементом из композита марок 01, 10; резцы токарные прямоугольного сечения с напайными двухслойными пластинами из композита; резцы расточные державочные круглого сечения, оснащенные композитом; пластины режущие цельные круглой, ромбической, квадратной и трехгранной форм толщиной 3,97–9,52 мм; фрезы торцовые насадные с механическим креплением прецизионных пластин или ножей, оснащенных композитом.

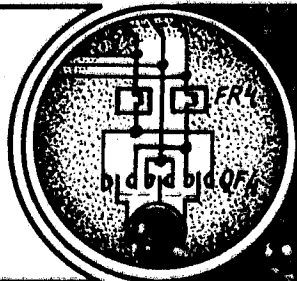
Резцы и ножи, оснащенные композитом, после затупления вследствие износа (максимально допустимый износ по высоте задней поверхности до 0,4 мм) подвергаются заточке на заточных станках. Обычно используют универсально-заточные станки. Заточку рекомендуется проводить алмазными кругами чашечной формы 12А2  $\phi$  125 или 150 мм, имеющими следующую характеристику: ширина рабочего алмазоносного слоя 10–20 мм; зернистость — при заточке 63/50, 80/63, при доводке 20/14, 28/20; относительная концентрация — 100 или 150%; марки алмазов АС4, АС6, АС15; связка — бакелитовая Б1, ТО2 или БТ. Заточка ножей проводится с охлаждением. Режим шлифования: скорость круга 20–25 м/с, продольная подача — при заточке 2–4 м/мин, при доводке 0,5 м/мин; глубина резания — при заточке 0,01–0,03 мм/ход, при доводке 0,005–0,01 мм/ход.

#### Контрольные вопросы

1. Назовите поверхности реза, которые подвергаются заточке.
2. Расскажите о конструктивных элементах сверла.
3. Назовите основные поверхности и кромки режущей части фрезы.
4. Назовите основные типы резбонарезного инструмента.
5. Каковы особенности заточки плашек по передней поверхности?
6. Расскажите об особенностях конструкции протяжек.
7. Назовите основные элементы зубчатого колеса.



## ЭЛЕКТРОПРИВОД И ЭЛЕКТРО- ОБОРУДОВАНИЕ



### 15.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ВИДЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

*Электроприводом* называют электромеханическое устройство, состоящее из трех основных частей: 1) электрического двигателя, осуществляющего электромеханическое преобразование энергии; 2) механических передач, обеспечивающих передачу энергии; 3) системы пускорегулирующей аппаратуры, аппаратуры защиты и электроизмерительных приборов, обеспечивающей надежную эксплуатацию электропривода.

Электропривод в станках используется для обеспечения главного движения и движения подач, выполняемых различными узлами и элементами станков.

Электропривод главного движения станков имеет достаточно высокую мощность (обычно в пределах 1–200 кВт), длительно работает при постоянной заданной частоте вращения (обычно в пределах 750–3000 об/мин), рассчитан на использование максимальной мощности во всем диапазоне скоростей движения и на любой заданной частоте вращения шпинделя станка, имеет большие приведенные массы и моменты инерции.

Электропривод подач должен обеспечивать требуемые режимы обработки в заданном диапазоне регулирования подач от максимального до минимального значений, требуемое быстродействие и отсутствие резонансов при колебательном движении в системе электропривода, преодолевать силы сопротивления при перемещении элементов станка.

По роду тока различают электроприводы переменного и постоянного тока. Самым распространенным, дешевым, надежным и экономичным является асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором. В комплекте с многоступенчатой коробкой перемены скоростей такой электропривод обеспечивает требуемый диапазон регулирования и поддержание требуемой частоты вращения на заданном уровне при изменении нагрузки в достаточно широких пределах.

Диапазон регулирования скоростей вращательного движения в станках достаточно большой, может достигать до 100 и более (иногда до 10 000). В тех случаях, когда необходимо управлять характеристиками двигателя при пусковых и тормозных режимах или регулировать скорость движения бесступенчато, применяют регулируемые электро-

двигатели постоянного тока и тиристорное управление. Тиристор — это полупроводниковый прибор на монокристалле с четырехслойной структурой, обладающий свойствами управляемого электрического вентиля. Электропривод с двигателем постоянного тока и тиристорным преобразователем может работать с малой и большой мощностью, обеспечивает высокую стабильность по частоте вращения, может бесступенчато изменять частоту вращения в автоматическом режиме, имеет малую продолжительность переходных процессов.

Типовым для станков является электропривод с двумя тиристорными преобразователями: один мощный для регулирования напряжения на якоре электродвигателя, другой — менее мощный для регулирования напряжения возбуждения. Регулируемый электродвигатель часто соединяют с упрощенной коробкой скоростей, имеющей автоматическую схему управления, и с необходимыми блокировками.

Частота  $n$  вращения ротора (об/мин) асинхронного электродвигателя зависит от частоты  $f$  тока питающей сети, числа  $p$  пар полюсов в обмотке статора и величины скольжения  $S = 0,02 \div 0,05$ .

$$n = \frac{60f}{p}(1 - S).$$

Многоскоростные электродвигатели выпускают на две, три и четыре скорости, например 3000–1500–750 об/мин. Специальные электродвигатели могут питаться от источников повышенной частоты, например электродвигатели привода шлифовального круга для обработки отверстий малого диаметра оснащают асинхронными электродвигателями с частотой вращения 15 000–150 000 об/мин.

### 15.2. УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Асинхронный электродвигатель (рис. 15.1) состоит из ротора 7, вал 1 которого вращается в подшипниках 2 и 11, установленных в крышках корпуса 3 и 10. Крышки привинчены к неподвижному корпусу 6, называемому статором. Ротор собран из листов железа.

В продольных пазах ротора уложены алюминиевые или медные стержни, прикрепленные своими концами к кольцам 5 и 9. Такая конструкция короткозамкнутого ротора называется «беличьим колесом». В корпусе статора 6 уложена обмотка 8. Концы этой обмотки выведены в коробку 4, имеющую два ряда зажимов. Зажимы С1, С2 и С3 первого ряда соединяются с сетью трех-

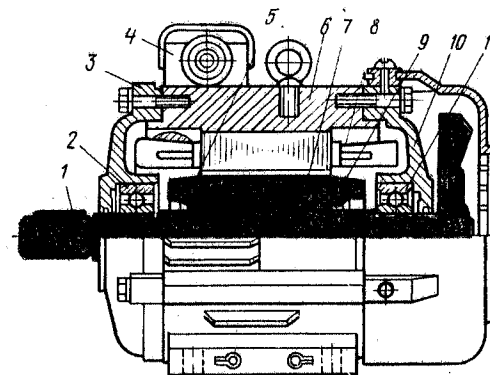


Рис. 15.1. Асинхронный электродвигатель переменного тока

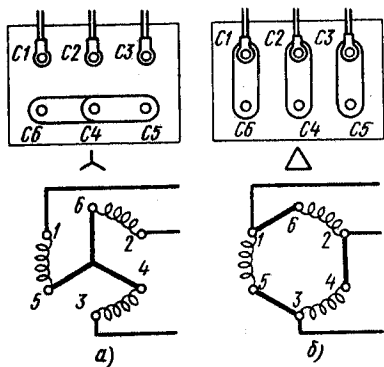


Рис. 15.2. Соединение фаз в коробке асинхронного электродвигателя

тор 10 и ротор 1 тахогенератора для контроля частоты вращения электродвигателя. Якорь собран из листов железа, в его продольные пазы уложена обмотка 9, соединенная с медными сегментами, изолированными друг от друга в коллекторе 5. Подшипники вала 12 установлены в щитках 2 и 11, привин-

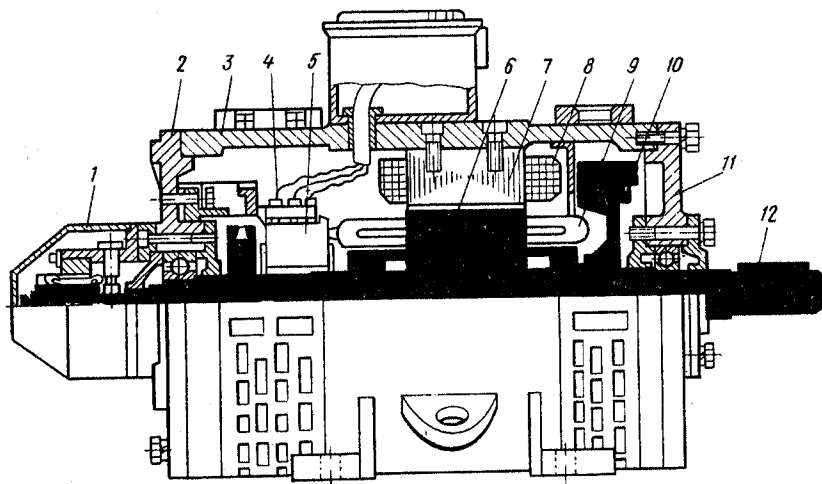


Рис. 15.3. Электродвигатель постоянного тока

чиваемых к статору 3. Ток от внешней сети подводится к коллектору с помощью угольных или графитовых щеток 4. В статоре 3 закреплены полюса 7 с обмотками 8, соединенными между собой последовательно. В обмотку 8 подают постоянный ток от источника питания, которым обычно являются выпрямители переменного тока.

Поддержание стабильности заданной частоты вращения электродвигателя осуществляется отрицательной обратной связью с тахоге-

фазного тока. Зажимы C4, C5, C6 второго ряда могут соединяться пластинками двояким образом, образуя соединения типа «звезда» (рис. 15.2, а) или «треугольник» (рис. 15.2, б). Двигатели с пластинками, установленными по схеме «звезда», можно включать в сеть с большей (в 1,73 раза) величиной напряжения по сравнению с номинальным значением (например, 220В и 380В).

Электродвигатель постоянного тока с тахогенератором показан на рис. 15.3. На валу 12 установлены якорь 6, коллектор 5, вентиля-

нератором. Тахогенератор представляет собой генератор постоянного тока малой мощности, получающий вращение от вала двигателя.

Уменьшение частоты вращения двигателя при возрастании нагрузки ведет к уменьшению напряжения на щетках генератора и к увеличению напряжения на якоре электродвигателя, что компенсирует дополнительное падение напряжения в сопротивлении якорной цепи и поддерживает частоту вращения на требуемом уровне с заданной точностью. С возрастанием частоты вращения двигателя пропорционально возрастает напряжение на щетках тахогенератора, но уменьшается напряжение, подаваемое на двигатель, поэтому частота его вращения уменьшается до требуемого уровня.

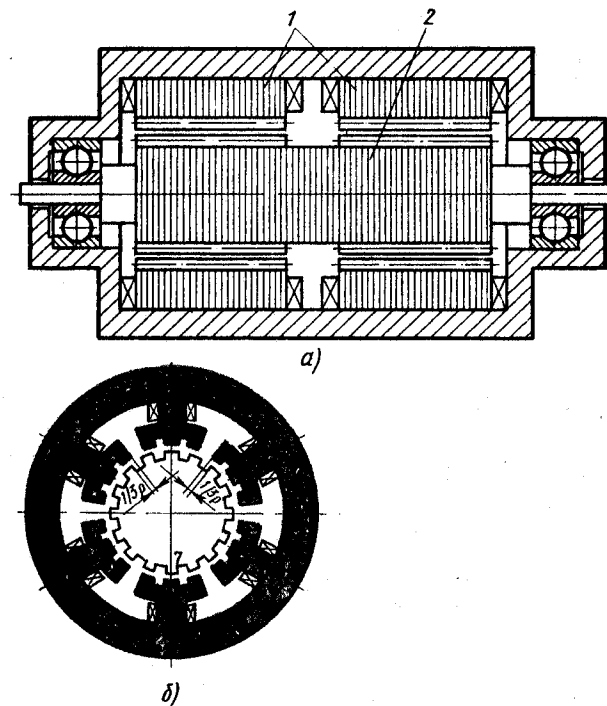


Рис. 15.4. Схема шагового электродвигателя (а) и статора (б)

В станках в последние годы стали применять также высокомоментные тихоходные электродвигатели без обмоток возбуждения. Эти двигатели получают возбуждение от постоянных магнитов, выполненных на основе ферритов. Высокомоментные электродвигатели изготавливают со встроенными тахогенераторами и тормозами, фиксирующими ротор при снятии питания. Например, основные параметры комплектного электропривода ЭТ6С следующие: момент крутящий 7–10 Н·м; частота вращения (об/мин) максимальная – 2000, номинальная – 500–1000, минимальная – 0,1.

Широкое применение получают шаговые электродвигатели (рис. 15.4, а). В конструкции этого двигателя предусмотрены две одинаковые секции статора 1 и общий ротор 2. Каждая секция статора (рис. 15.4, б) имеет шесть зубчатых полюсов 1—6, взаимодействующих с зубчатым ротором 7, имеющим 20 зубцов. Обмотки каждой пары противолежащих полюсов включены последовательно и образуют одну фазу. Каждая секция имеет трехфазную обмотку, а с учетом сдвинутой второй секции электродвигатель имеет шестифазную обмотку. Зубцы каждого последующего полюса сдвинуты на  $\frac{1}{3}$  зубцового шага относительно предыдущего полюса, а обе секции статора сдвинуты между собой на  $\frac{1}{2}$  зубцового шага. Чередуя подачу тока то в одну фазу, то в две фазы, получают вращение ротора в виде скачков с угловым шагом в  $1,5^\circ$ , т. е. ротор делает один оборот за 240 тактов. Чередование токов в обмотках шагового двигателя обеспечивается специальными кодовыми преобразователями, включающими счетчики импульсов со схемами обратных связей и усилители для питания током обмоток полюсов.

### 15.3. АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ

Для снятия напряжения при длительных перерывах в работе применяют рубильники, расположенные в цеховых распределительных шкафах, с помощью которых вручную отключают электросеть, т. е. прерывают подачу тока. Для пуска электродвигателей станка, включения цепей управления и сигнализации обычно применяют пакетные переключатели. Для включения местного освещения и некоторых элементов управления применяют тумблеры, имеющие подпружиненный контакт.

На панелях управления станков применяют контакты кнопочных элементов, в которых при нажатии на кнопку подпружиненные подвижные контакты замыкают (или размыкают) неподвижные.

В шкафах электроавтоматики устанавливают автоматические переключатели, которые отключают сеть при возрастании тока за допустимые пределы. Ввод в работу автоматических переключателей осуществляют вручную.

Для ограничения хода столов, суппортов, бабок, выдачи команд управления, реверсирования или регулирования скорости движения применяют путевые переключатели, которые могут быть контактными или бесконтактными, иметь различные конструктивные исполнения.

Для защиты электрооборудования от перегрузки и короткого замыкания в цепи применяют плавкие вставки, предохранители, тепловые реле и другие реле, обеспечивающие надежную защиту. В качестве плавких предохранителей на случай короткого замыкания в цепи используют калиброванную проволоку или пластинку, помещенные в резьбовые пробки. При нагревании проволока или пластинка расплавляется, что приводит к разрыву цепи. Рабочим элементом теплового реле является биметаллическая пластинка, которая за счет разницы коэффициентов линейного расширения материалов при нагревании

изгибается и при значительных тепловых перегрузках размыкает электрическую цепь.

Для выявления принципа работы электрооборудования станка и выявления связей между его элементами используют принципиальные электрические схемы. На этих схемах отдельные элементы имеют определенные обозначения, обычно буквенно-цифровые коды и графические символы. Введены обозначения для линий электрической связи: общее обозначение, цепь из двух линий, трехфазная четырехпроводная система, экранированные линии и т. д. Приняты обозначения для постоянного и переменного тока, переменного тока с указанием частоты и числа фаз, регулируемых и нерегулируемых резисторов, катушек индуктивности без сердечника и с сердечником, конденсаторов, кнопок с нормально открытым (НО) и нормально закрытым (НЗ) контактами, переключателей трехполюсных, электромагнитов, плавких предохранителей, трансформаторов, измерительных приборов и других элементов.

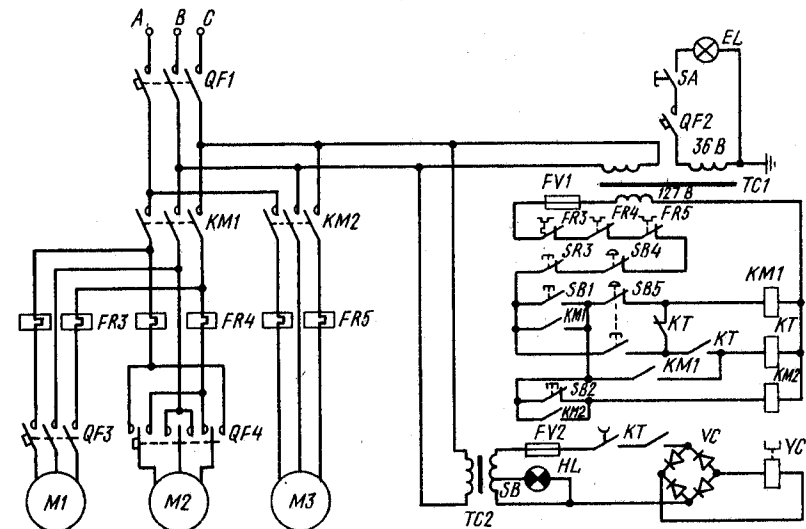


Рис. 15.5. Принципиальная электрическая схема станка

Принципиальная электрическая схема (рис. 15.5) содержит основные элементы, обеспечивающие работу трех асинхронных электродвигателей  $M1$ ,  $M2$ ,  $M3$ , питание лампы  $EL$  местного освещения, лампы  $HL$  для индикации напряжения в цепи, питание электромагнитной муфты  $VC$  и тормозной муфты  $KT$ . В схеме применены следующие элементы: вводной автоматический переключатель  $QF1$ , автоматический переключатель  $QF2$  местного освещения зоны резания, переключатель  $QF3$  электродвигателя  $M1$ , реверсивный переключатель  $QF4$  электродвигателя  $M2$ , плавкие предохранители  $FV1$  и  $FV2$ , кнопки  $SB1$ ,  $SB2$ ,  $SB3$ ,  $SB4$ ,  $SB5$ , магнитные пускатели  $KM1$ ,  $KM2$ , реле времени  $KT$ , трансфор-

маторы *TC1* и *TC2*, селеновый выпрямитель *VC*, тепловые реле *FR3, FR4, FR5*.

Перед пуском станка необходимо проверить целостность плавких предохранителей *FV1* и *FV2*, положение толкателей тепловых реле *FR3, FR4, FR5* (кнопки следует утопить), обеспечивающих защиту электродвигателей *M1, M2, M3* от перегрева при перегрузке и длительной работе.

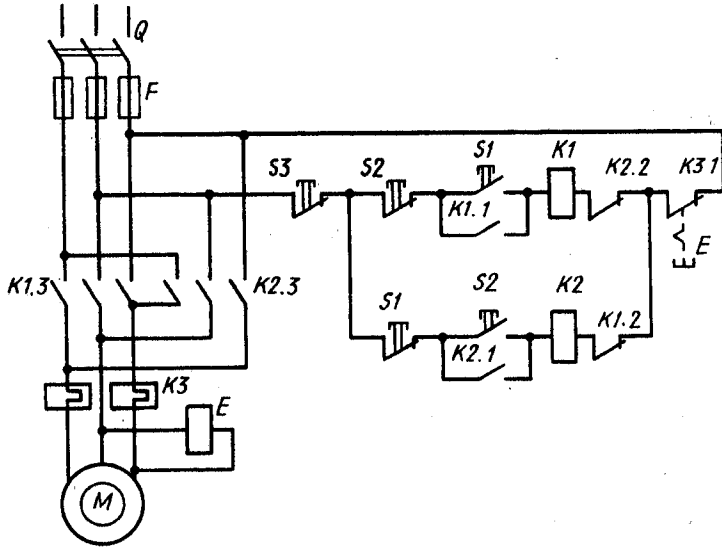


Рис. 15.6. Схема включения асинхронного электродвигателя

Вводный автоматический переключатель *QF1* обеспечивает подключение станка к сети трехфазного тока *A, B, C*. Электродвигатели *M2* и *M3* включаются кнопками *SB1* и *SB2* через магнитные пускатели *KM1* и *KM2*. При нажатии на кнопку *SB3* (общий стоп) и при срабатывании аварийного переключателя *SB4* разрывается цепь питания пускателей и отключаются все три двигателя. Одновременно с электродвигателем *M2* может работать электродвигатель *M1*, который включается переключателем *QF3*. Ускоренный останов электродвигателя *M2* после отключения от сети осуществляется тормозной муфтой, питание к которой подает по цепи нормально замкнутый контакт магнитного пускателя *KM1*, нормально открытый контакт реле времени *KT*, селеновый выпрямитель *VC*. Настройка реле времени *KT* определяет продолжительность работы электромагнитной муфты *VC*.

Типовая принципиальная электрическая схема включения асинхронного двигателя *M* приведена на рис. 15.6. Вводный переключатель *Q* подключается к трехфазной цепи. Плавкие предохранители *F* служат для защиты от короткого замыкания и обеспечивают разрыв цепи при недопустимой перегрузке. Кнопки управления *S1,*

*S2, S3* и магнитные пускатели *K1, K2, K3* предназначены для включения электродвигателя при вращении по часовой или против часовой стрелки и торможение двигателя при включении электромагнита *E* тормозного устройства.

#### 15.4. ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Электропривод шпинделя шлифовального круга обычно осуществляется с помощью клиноременной или зубчато-ременной передачи от электродвигателя переменного или постоянного тока. Некоторые модели станков имеют встроенные в шлифовальную бабку электродвигатели специального исполнения.

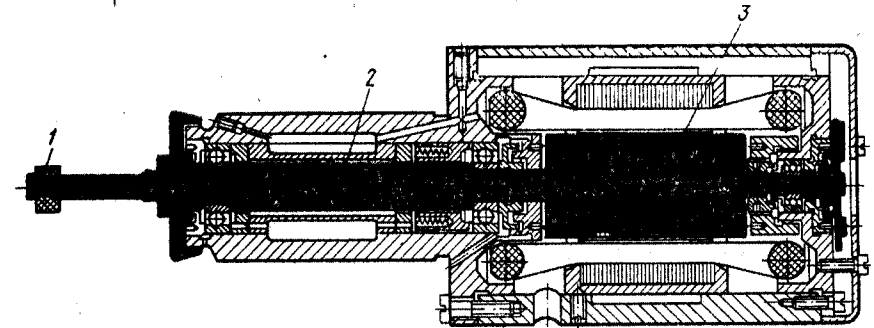


Рис. 15.7. Электрошпиндель

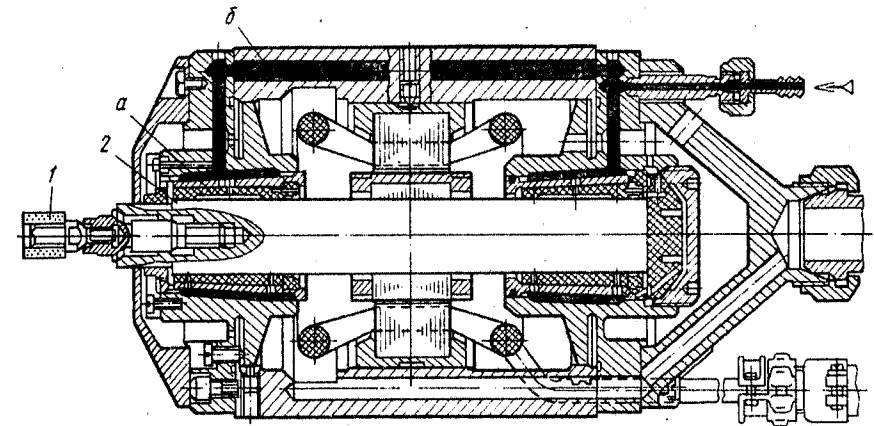


Рис. 15.8. Шлифовальный шпиндель на аэроэстатических подшипниках

Электрошпиндель со встроенным короткозамкнутым электродвигателем повышенной частоты (200–2000 Гц) показан на рис. 15.7. Шлифовальный круг *1* с помощью оправки закреплен на шпинделе *2*, вращающемся на шариковых подшипниках качения повышенной точности. Ротор и статор электродвигателя собраны из изолированных

друг от друга листов электротехнической стали. На роторе размещена короткозамкнутая обмотка 3. Подшипникам создают предварительный натяг с помощью тарированных пружин. Для питания электродвигателя используют статические преобразователи частоты, обеспечивающие вращение шпинделя с частотой в диапазоне 12 000—120 000 об/мин.

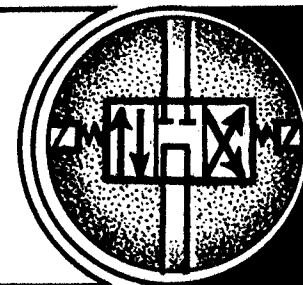
Шлифовальный шпиндель со встроенным электродвигателем на аэростатических подшипниках показан на рис. 15.8. Вследствие малой вязкости газов (примерно в 2000 раз менее вязкости масла индустриального) вал 2 со шлифованным кругом 1 и напрессованным ротором может вращаться с большой частотой (500 000 об/мин и более), так как потери на трение в подшипниках минимальные. Воздух под давлением подводится через каналы б в кольцевые выточки а подшипников и создает постоянный зазор между рабочими поверхностями вала и втулки подшипника. Шлифовальные шпиндели на аэростатических подшипниках имеют малое тепловыделение в опорах вследствие малых сил трения. Такие шпиндели не требуют времени для температурной стабилизации (разогрева). Отсутствие непосредственного контакта между рабочими металлическими поверхностями обеспечивает малый износ или его полное отсутствие, т. е. повышает долговечность и надежность при стабильном высоком качестве обработки. Рабочий зазор в подшипнике 20—50 мкм. Особенностью воздушных подшипников является их малая жесткость, что резко сужает область их использования.

#### Контрольные вопросы

1. Из каких основных частей состоит электропривод?
2. Из каких частей состоит электродвигатель?
3. Расскажите о назначении и основных типах аппаратуры управления и защиты.
4. Какие особенности имеют электродвигатели шлифовальных станков?



## ГИДРО- ОБОРУДОВАНИЕ СТАНКОВ



### 16.1. ГИДРОПРИВОД И ПРИНЦИП ЕГО РАБОТЫ

Совокупность устройств, предназначенных для приведения в движение механизмов и машин, называют *приводом*.

Гидравлический привод любого типа состоит из двух основных частей: насоса, являющегося первичной частью привода, и питаемого насосом гидродвигателя, который служит вторичной частью этого привода. Насос создает давление (напор) в рабочей жидкости за счет затраты механической энергии. Гидродвигатель (гидроцилиндр или гидромотор) предназначен для преобразования созданного насосом напора в механическую работу.

Широкое использование гидроприводов в станках связано с их простотой, возможностью получения больших сил и крутящих моментов при ограниченных размерах двигателя, способностью обеспечить бесступенчатое регулирование скорости движения в широком диапазоне, малое время торможения и разгона при включениях, остановках и реверсировании движения. Гидропривод обеспечивает также широкие возможности для автоматизации рабочего цикла станка.

К недостаткам гидропривода относятся: 1) внутренние и наружные утечки масла через зазоры в узлах гидропривода, приводящие к повышенному расходу масла и загрязнению рабочего места; 2) изменение вязкости масла при его разогреве, что может изменить характеристики гидропривода и нарушить цикл работы автоматизированного оборудования; 3) попадание воздуха и воды в масло, что может привести к резкому изменению параметров гидросистемы.

В гидроприводах станков в качестве рабочей жидкости, передающей давление и сообщаящей движение гидродвигателю, используют минеральные масла, обладающие хорошей смазывающей способностью. Основной характеристикой при выборе и сравнении масел является вязкость. Вязкость минеральных масел оценивают единицами кинематической вязкости, называемыми стоксами (Ст), или сотыми долями стокса — сантистоксами (сСт).

Индустриальные гидравлические масла серии ИГП изготавливают из нефти, подвергая ее глубокой очистке. Кинематическая вязкость (сСт) при температуре 50°C для некоторых марок масел характеризуется следующими значениями: турбинное Т22, Т30, Т46 — вязкость

соответственно 20—23, 28—32, 44—48; индустриальное ИГП-18, ИГП-30, ИГП-38, ИГП-49 — вязкость соответственно 16,5—20,5; 28—31; 35—40; 47—51.

Потери на трение в гидросистеме станка зависят от режима течения рабочей жидкости. Для сокращения потерь на трение в гидросистеме течение масла должно быть ламинарным, т. е. течение упорядоченное, характеризующееся отсутствием перемешивания между соседними слоями жидкости. В противоположность ламинарному при турбулентном течении частицы жидкости совершают неустойчившееся беспорядочное движение по сложным траекториям. При турбулентном течении скорость жидкости и ее давление в каждой точке потока хаотически пульсируют. Режим течения зависит от расхода масла, диаметра трубопровода и вязкости масла. Для нормальной работы станка в его гидросистеме должен быть обеспечен ламинарный режим течения масла.

### 16.2. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ГИДРОПРИВОДА И ИХ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ НА СХЕМАХ

Входным элементом гидропривода являются насосы, которые преобразуют механическую энергию движения ведущего звена в гидравлическую энергию потока масла. Это достигается за счет переноса рабочей жидкости из камеры всасывания в камеру нагнетания и вытеснения ее в напорную линию гидросистемы станка.

Насосы характеризуются производительностью  $Q_n$  и давлением  $p_n$ . Производительность насоса (л/мин) — это количество масла, которое насос подает в единицу времени при определенной частоте вращения. Кроме того, в качестве характеристики насоса используют объемную постоянную насоса — количество масла, подаваемое насосом за один оборот вала (см<sup>3</sup>/об).

При изменении давления в насосе изменяются внутренние утечки и, следовательно, его производительность. Поэтому обычно указывают производительность  $Q_n$  при определенном давлении. Отношение производительности  $Q_n$  насоса, работающего под давлением  $p_n$ , к производительности  $Q_0$  при давлении, равном нулю, называют объемным КПД насоса ( $\eta_{об}$ ). Объемный КПД увеличивается с увеличением объемной постоянной, частоты вращения вала насоса и вязкости масла.

Обычно в гидроприводах станков применяют шестеренные, пластинчатые и поршневые насосы. Условные обозначения этих насосов

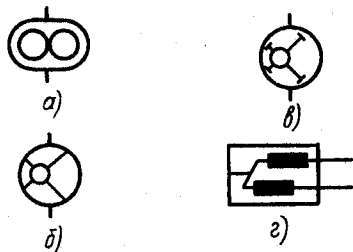


Рис. 16.1. Обозначение насосов на принципиальных гидравлических схемах: а — шестеренный, б — пластинчатый, в — радиально-поршневой, г — аксиально-поршневой

приведены на рис. 16.1, а более детальное описание их устройства приводится в § 16.3.

Преобразование энергии потока масла в энергию движения выходного звена осуществляется с помощью объемного гидродвигателя. Гидродвигателями для осуществления поступательного движения выходного звена (стола, суппорта станка и др.) являются гидроцилиндры, а для вращательного движения — гидромоторы. По направлению действия рабочей жидкости на выходное звено различают цилиндры одностороннего и двустороннего действия. Условные обозначения основных типов гидродвигателей приведены на рис. 16.2.

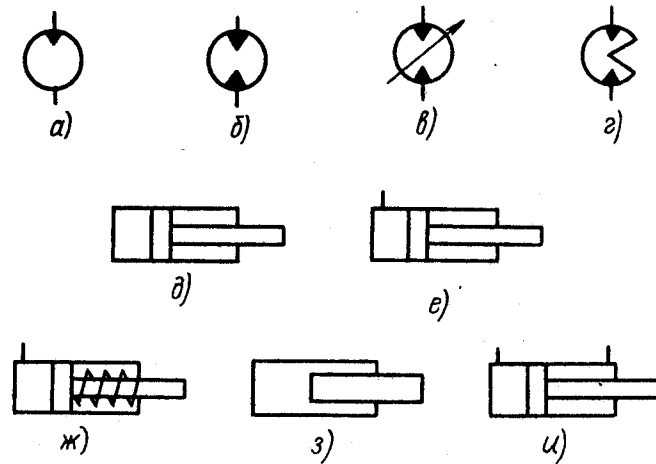


Рис. 16.2. Обозначение гидродвигателей на принципиальных гидравлических схемах:

гидромоторы: а — нерегулируемые с одним направлением потока, б — нерегулируемые с двумя направлениями потока, в — регулируемые с двумя направлениями потока, г — поворотный гидродвигатель; гидроцилиндры: д — основного исполнения, е — одностороннего действия, ж — одностороннего действия с возвратной пружиной, з — плунжерный, и — двустороннего действия с односторонним штоком

Для обеспечения заданного режима (цикла) работы станка производится регулирование параметров (давления, скорости, частоты вращения) для установления заданных параметров в каждый момент цикла. Механизм станка, который необходимо регулировать, называют при этом *регулируемым объектом*, устройством, осуществляющее процесс регулирования, — *регулятором*. Совокупность объекта и регулятора составляет систему регулирования. В этом случае такие параметры, как давление, скорость и т. д., называют *регулируемыми параметрами*.

Скорость гидродвигателя регулируют изменением расхода жидкости, протекающей в единицу времени через гидродвигатель, и осуществляют либо изменением режима работы насоса — регулированием его производительности, либо изменением сопротивления участка трубопровода при постоянном давлении жидкости. Первый способ регулирования называют *объемным*, второй — *дрессельным*.

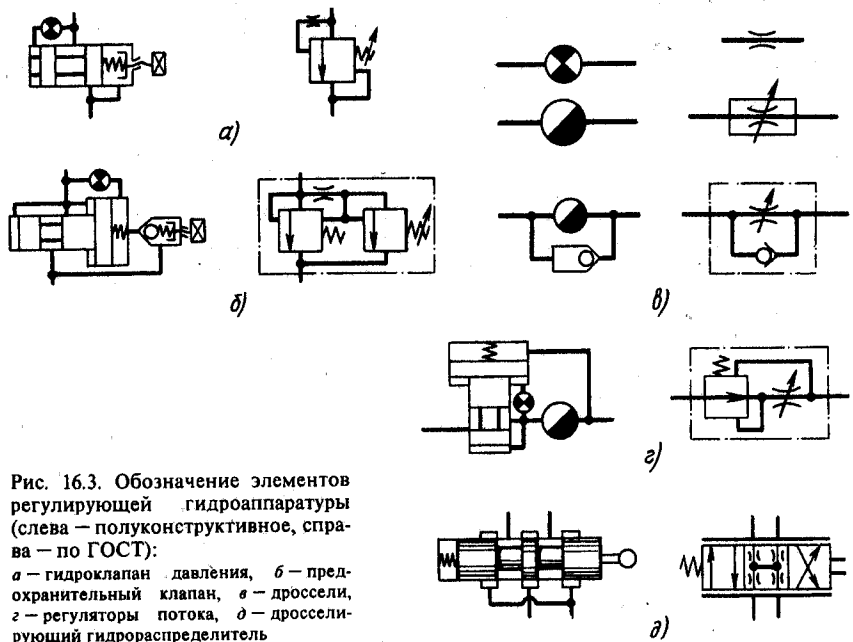


Рис. 16.3. Обозначение элементов регулирующей гидроаппаратуры (слева — полуконструктивное, справа — по ГОСТ):  
 а — гидроклапан давления, б — предохранительный клапан, в — дроссели, г — регуляторы потока, д — дросселирующий гидрораспределитель

Объемное регулирование характеризуется тем, что при постоянной нагрузке выходная мощность гидродвигателя пропорциональна расходу насоса. При дросселировании давление и расход насоса постоянны, а скорость гидродвигателя зависит от величины сопротивления дросселя. Дросселем называется местное гидравлическое сопротивление, предназначенное для регулирования скорости гидродвигателя и установленное на пути потока жидкости. Отличительная особенность дросселя от обычных местных сопротивлений, например клапанов, заключается в том, что его проходное сечение изменяется только в результате внешнего воздействия на него. Клапан же изменяет свое проходное сечение под действием проходящего через него потока жидкости. Обозначение элементов регулирующей гидроаппаратуры на гидросхемах показано на рис. 16.3.

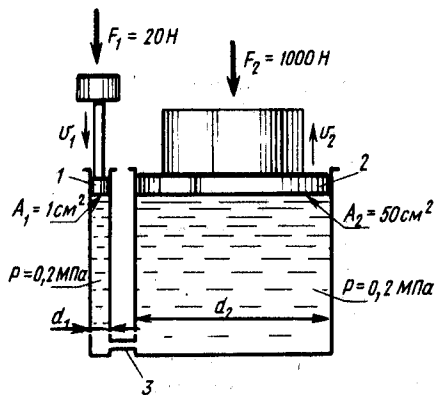


Рис. 16.4. Схема действия гидравлического усилителя

В системах автоматического регулирования работы станков применяют гидроусилители — гидравлические механизмы, которые при малых габаритах обладают большим коэффициентом

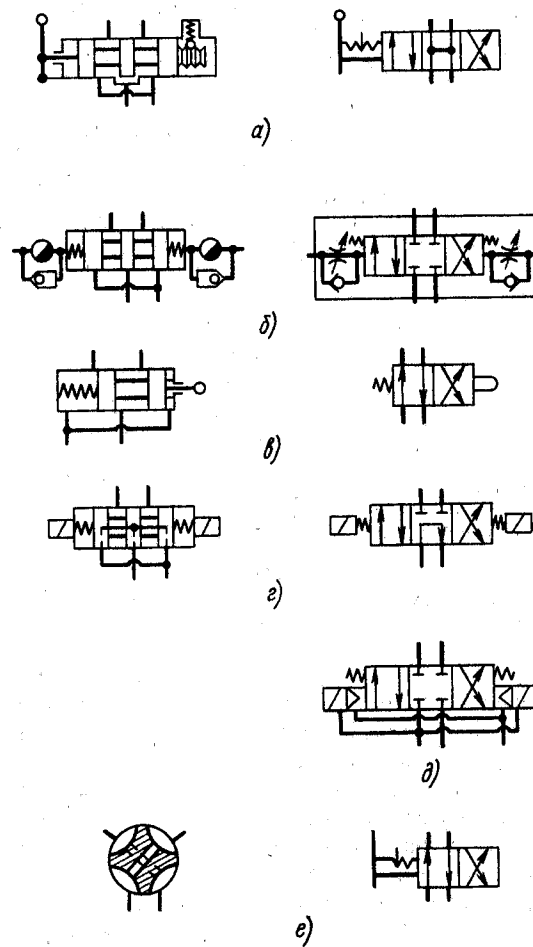


Рис. 16.5. Обозначение гидрораспределителей (слева — полуконструктивное, справа — по ГОСТ):  
 а — с ручным управлением, б — с гидравлическим управлением, в — с управлением от кулачка, г — с электрическим управлением, д — с электрогидравлическим управлением, е — кран управления

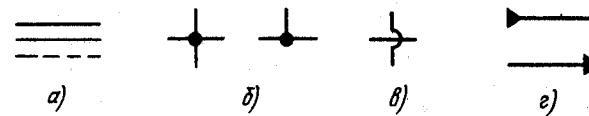


Рис. 16.6. Обозначение трубопроводов в гидроприводах:  
 а — линии связи всасывания, напора, слива (толстые линии), управления (тонкие линии), дренажные (пунктирные линии), б — соединение линий связи, в — пересечение линий без соединения, г — подвод и слив жидкости из системы



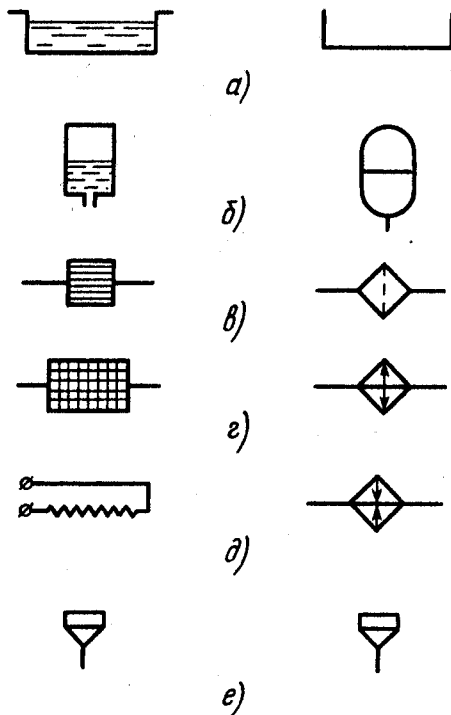


Рис. 16.7. Обозначение вспомогательных элементов гидропривода (слева — полуконструктивное, справа — по ГОСТ): а — гидробак, б — аккумулятор, в — фильтр, г — маслоохладитель, д — нагреватель масла, е — заливная горловина

$= pA_2 = 0,2 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^3 = 1000 \text{ Н}$ . Сила  $F_2$  в 50 раз больше силы  $F_1$ . Но при этом следует учесть, что перемещение  $S_1$  поршня 1 должно быть соответственно в 50 раз больше перемещения  $S_2$  поршня 2, так как объем рабочей среды остается неизменным  $S_1A_1 = S_2A_2$  или  $S_1(\pi d_1^2/4) = S_2(\pi d_2^2/4)$ , т. е.  $S_2 = S_1(d_1/d_2)^2$ . Скорости  $v_1$  и  $v_2$  перемещения (м/с) поршней за время  $t$  определяются по соотношениям:  $v_1 = S_1/t$ ;  $v_2 = S_2/t = (S_1/t)(d_1/d_2)^2 = v_1(d_1/d_2)^2$ . Количество масла, подаваемого из одной камеры в другую в единицу времени, называют объемной подачей  $Q$  (м<sup>3</sup>/с) и определяют по соотношению:  $Q = (S_1A_1)/t = (S_2A_2)/t = v_1A_1 = v_2A_2$ .

Эффективная мощность  $P_{\text{эф}}$  (Вт) гидропривода (без учета потери напора и утечек жидкости) определяется по соотношению:  $P_{\text{эф}} = pQ = pA_2v_2$ .

В момент движения тяговое усилие  $F_2$  на поршне 2 должно быть меньше соответствующей силы в статике (при неподвижных поршнях). Это связано с тем, что для прохождения потока масла через трубопровод 3 необходимо создать разность давлений  $\Delta p$  между входом и выхо-

усиления, быстродействием и высокой надежностью. Гидроусилители усиливают слабый сигнал с задающего устройства до величины, способной приводить в движение рабочий орган станка. Их применяют в механизмах подач, в копировальных, программных устройствах, а также в устройствах синхронизации движений и многих других устройствах станков.

Схема простейшего гидравлического усилителя с замкнутой циркуляцией рабочей среды (масла) показана на рис. 16.4. Поршень 1, имеющий, например, площадь  $A_1 = 1 \text{ см}^2$  ( $10^{-4} \text{ м}^2$ ), под действием нагрузки  $F_1 = 20 \text{ Н}$  создает давление, равное  $p = F_1/A_1 = 20/10^{-4} = 2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 = 0,2 \text{ МПа}$ . Это давление будет одинаковым во всех направлениях (если пренебречь собственным весом рабочей среды). Поэтому подъемная сила, действующая на поршень 2, имеющий площадь  $A_2 = 50 \text{ см}^2 \times (5 \cdot 10^3 \text{ м}^2)$ , будет равна  $F_2 =$

дом, которая зависит от скорости движения и гидравлического сопротивления трубопровода 3.

Для управления направлением потока масла, пуском, остановом или изменением направления потока масла путем полного или частичного открытия (или закрытия) рабочего проходного сечения служат распределительные устройства. По типу управления эти устройства можно классифицировать на распределители с электро- или гидроразуправлением, с управлением от кулачка или ручным. По конструктивным признакам распределительные устройства делятся на золотники и краны. Условные обозначения некоторых распределительных устройств приведены на рис. 16.5.

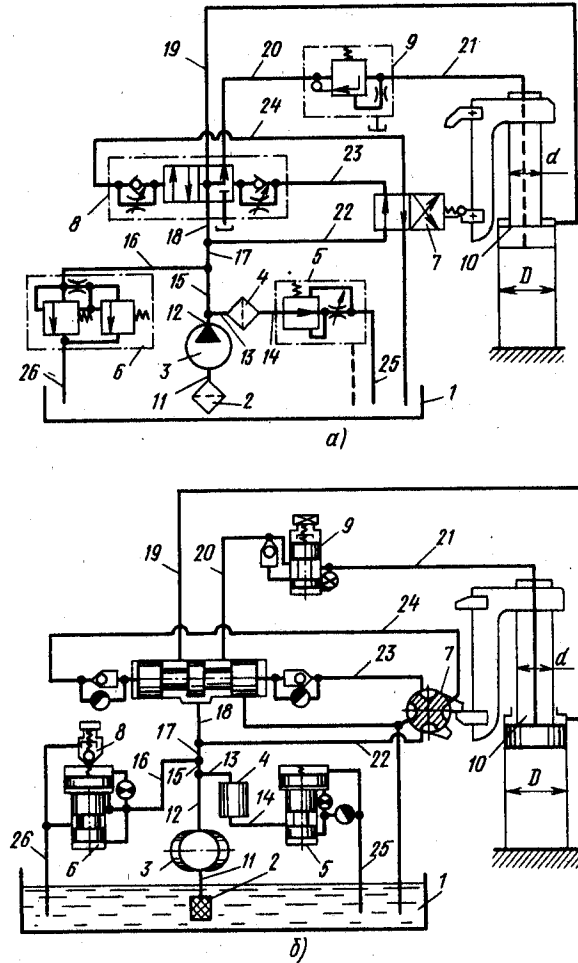


Рис. 16.8. Принципиальная гидравлическая схема гидропривода

Для связи всех элементов гидропривода в единую систему служат трубопроводы. Гидросистемы станков обычно имеют трубопроводы малой протяженности, следовательно, наибольшая доля потерь давления обусловлена местными сопротивлениями. Обозначения трубопроводов на гидросхемах станков приведены на рис. 16.6.

Гидропривод имеет также вспомогательные элементы, основными из которых являются: гидробаки, устройства для очистки масла, аккумуляторы, уплотнения, аппараты и приборы для контроля давления. Условные обозначения некоторых вспомогательных элементов гидропривода приведены на рис. 16.7.

Основные функциональные части гидропривода и взаимосвязи между ними изображают с помощью структурных схем. Функциональные части изображают в виде прямоугольников с указанием наименования каждой части или в виде условных графических обозначений. Наибольшее применение получили принципиальные гидравлические схемы, на которых все элементы или устройства и связи между ними изображают в виде условных графических обозначений, приведенных выше. Каждый элемент имеет буквенно-цифровое или только цифровое обозначение, которое наносится по определенным правилам. Для примера на рис. 16.8 приведены два варианта принципиальной гидравлической схемы одного и того же гидропривода с сохранением их цифровых обозначений 1–26: с условными графическими обозначениями (рис. 16.8, а); с полуконструктивными обозначениями тех же элементов (рис. 16.8, б).

### 16.3. НАСОСЫ И НАСОСНЫЕ УСТАНОВКИ

Насосные установки комплектуются насосами, приводимыми в движение электродвигателями и соединительными муфтами. Гидростанции станков кроме насосной установки включают в себя гидробаки, разделенные на всасывающий и сливной отсеки; системы фильтрации и охлаждения масла; контрольно-регулирующую аппаратуру. В зависимости от конструкции и назначения станка его гидростанция располагается вне станка или частично вне, а частично на станке.

Гидроприводы любого станка включают в себя прежде всего насосы. Схема действия шестеренного насоса приведена на рис. 16.9.

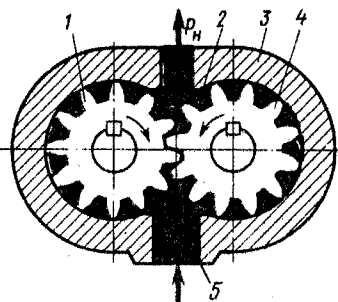


Рис. 16.9. Шестеренный насос

Основными деталями насоса являются зубчатые колеса 1 и 4, расположенные в расточках корпуса 3. При вращении зубчатых колес масло из бака засасывается в камеру 5 и с помощью впадин между зубьями и корпусом насоса переносится в камеру 2, откуда под давлением  $p$  вытесняется в напорную линию гидросистемы. Подача  $Q$  насоса (л/мин) зависит от частоты вращения колес (об/мин), размеров и числа впадин, определяемых модулем  $m$  (мм), числом зубьев  $z$  и шириной колеса  $b$

(мм):  $Q = 6,28m^2zbn \cdot 10^{-6}$ . Для насосов с номинальной мощностью в диапазоне 1–7,2 кВт, с рабочим объемом 11,2–100 см<sup>3</sup> номинальная подача составляет 12,3–133 л/мин при номинальном давлении 2,5 МПа на выходе.

Зубчатые колеса, валы, втулки насоса удерживаются в его корпусе крышками, имеющими необходимое уплотнение с сопряженными поверхностями. Для отвода утечек масла валы имеют отверстия, а крышки и втулки — необходимые канавки. Основными деталями пластинчатого насоса являются корпус, приводной вал с подшипниками и рабочий комплект (рис. 16.10), состоящий из статора 3, ротора 4,

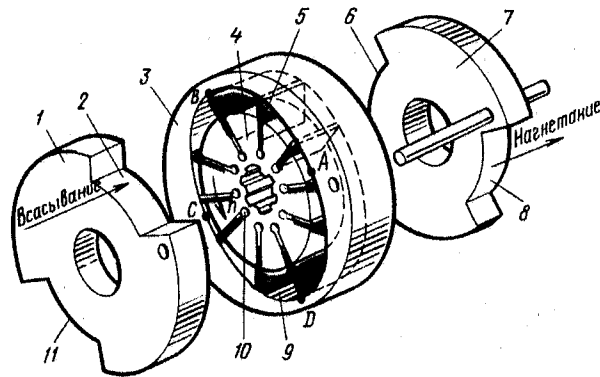


Рис. 16.10. Пластинчатый нерегулируемый насос (рабочий комплект)

пластин 5 и распределительных дисков 1 и 7. Ротор 4 связан с приводным валом с помощью шлицевого соединения. Статор 3 имеет овальное отверстие, к поверхности 9 которого прижимаются пластины 5 за счет центробежной силы и давления масла, подводимого в отверстие 10. Эти пластины могут в пазах ротора перемещаться в радиальном направлении, совершая возвратно-поступательное перемещение при вращении ротора. Объем камер между двумя соседними пластинами, внутренней поверхностью статора, наружной поверхностью ротора и торцовыми поверхностями дисков 1 и 7 зависит от положения ротора. При вращении ротора против часовой стрелки камеры на участке от А до В и на участке от С до D увеличивают свой объем, который заполняется маслом через окна 2 и 11 диска 1, связанные со всасывающей линией. При прохождении пластинами участков от В до С и от D до А объем камер уменьшается, а масло вытесняется в напорную линию гидросистемы через окна 6 и 8 диска 7. Для насосов с номинальной мощностью 1,1–26 кВт с рабочим объемом в диапазоне 8–200 см<sup>3</sup> номинальная подача масла находится в пределах 5–200 л/мин при давлении 6,3 МПа и в пределах 5–102 л/мин при давлении 12,5 МПа.

Схема действия аксиально-поршневого насоса приведена на рис. 16.11. Электродвигатель 1 вращает вал 15 и ротор 4, в рабочих камерах 5 которого расположены поршни 3. Объем рабочей камеры 5 зависит от осевого положения поршня в камере. Поршни прижимаются

пружинами и давлением масла в камере к наклонной шайбе 2. При вращении ротора 4 поршни совершают возвратно-поступательное движение, увеличивая объем рабочих камер при движении от точки А к точке В на наклонной шайбе. В результате этого масло всасывается из бака 12 через всасывающую линию и полукольцевой паз 14. При движении поршней от точки В к точке А объем рабочих камер уменьшается и масло через полукольцевой паз 13 вытесняется в напорную линию 7. Давление  $p$  в напорной линии 7 контролируется манометром 8, а регулируется дросселем 9. При полностью открытом дросселе давление в напорной линии мало и масло перекачивается в бак через сливной трубопровод 10. Напорная 7 и всасывающая 11 линии гидросистемы связаны с насосом через полукольцевые пазы 13 и 14 на распределительной поверхности диска 6.

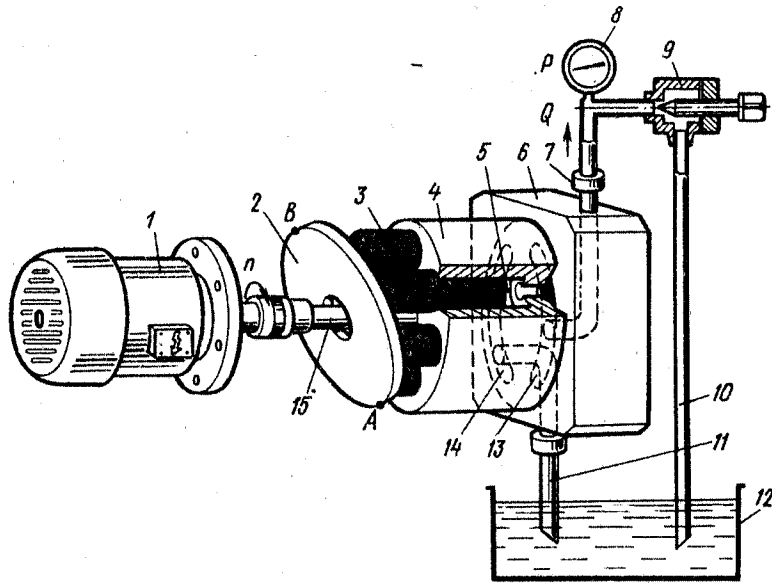


Рис. 16.11. Аксиально-поршневой насос

Аксиально-поршневые насосы рассчитаны на давление 32–40 МПа, т. е. в 5 раз больше, чем пластинчатые насосы. При номинальной мощности в диапазоне 3,3–30 кВт и рабочем объеме 4–32 см<sup>3</sup> насосы обеспечивают подачу масла от 5,25 до 45 л/мин. Аксиально-поршневые насосы бывают нерегулируемые и регулируемые.

#### 16.4. ГИДРОДВИГАТЕЛИ

В металлорежущих станках в основном применяются объемные гидродвигатели, к которым относятся гидроцилиндры и гидромоторы.

Основные типы гидроцилиндров показаны на рис. 16.12. По конструкции рабочей камеры различают поршневые (рис. 16.12, а, б, в, г, д)

и плунжерные (рис. 16.12, е, ж) цилиндры. Поршневые цилиндры могут быть с односторонним (рис. 16.12, а, в, д) или двусторонним (рис. 16.12, б, г) штоком. По направлению воздействия рабочей среды различают цилиндры одностороннего (рис. 16.12, д, е) и двустороннего действия (рис. 16.12, а–ж). Цилиндры, представленные на рис. 16.12, г, применяют главным образом в гидроприводах шлифовальных станков.

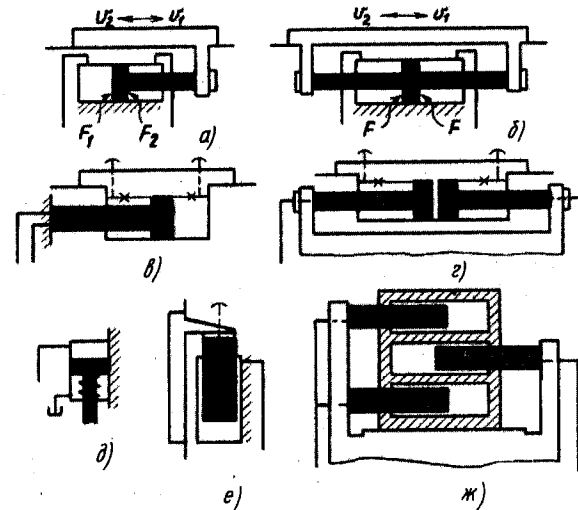


Рис. 16.12. Основные типы гидроцилиндров для станков

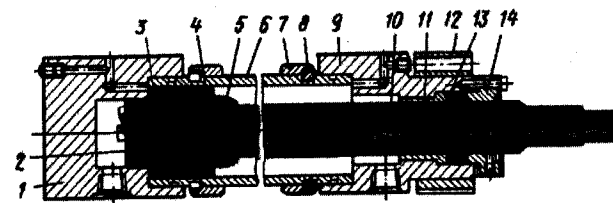


Рис. 16.13. Гидроцилиндр с односторонним штоком

Основными деталями гидроцилиндра с односторонним штоком (рис. 16.13) являются: гильза 6, крышки 1 и 9, поршень 4, шток 10 с гайкой 2, тормозные втулки 3 и 5, фланец 7, полукольца 8, втулка 11, передняя опора 12, манжета 13, крышка 14, дроссель, обратный клапан и винты. Поршень 4 имеет чугунные поршневые кольца, которые уплотняют его по поверхности цилиндра. Уплотнение штока обеспечивается манжетой 13. Масло в рабочие камеры цилиндра подводится через два отверстия. Для выпуска воздуха из рабочих камер предусмотрены отверстия, которые заглушаются пробками. Торможение поршня обеспечивается втулками 3 и 5, которые входят в соот-

ветствующие расточки в крышках 1 и 9, перекрывают отверстия в крышках и заставляют масло вытекать из рабочей камеры через дроссель. Регулировка дросселя позволяет регулировать эффективность торможения.

Аксиально-поршневой гидромотор (рис. 16.14) состоит из ротора 10 с поршнями 17, барабана 7 с толкателями 19, радиально-упорного шарикоподшипника 6, вала 1 на подшипниках 5 и 16, опорно-распределительного диска 13, корпусов 4, 9, фланца 3 с уплотнением 2, пружины 11 и торцевой шпонки 8. Масло подводится и отводится

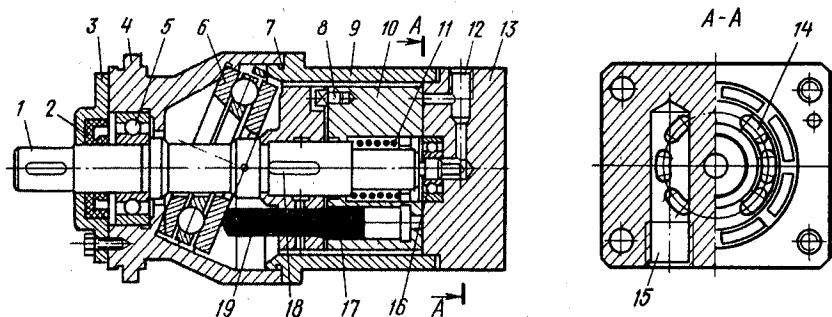


Рис. 16.14. Аксиально-поршневой гидромотор

через два отверстия 15 на опорно-распределительном диске 13, имеющем два полукольцевых паза 14. Дренажное отверстие 12 служит для отвода утечек масла. Вращение вала 1 (и связанного с ним с помощью шпонки 18, ротора 10 с барабаном 7) обеспечивается тангенциальной составляющей силы, которая возникает при воздействии поршней 17 через толкатели 19 на радиально-упорный шарикоподшипник 6. Это воздействие связано с осевой силой на поршне, возникающей при соединении рабочей камеры с напорной линией. Поршни, расположенные по другую сторону ротора, вдвигаются и вытесняют масло из соответствующих рабочих камер через сливную линию.

### 16.5. ГИДРОПРИВОДЫ ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Гидроприводы получили широкое применение в шлифовальных станках разных типов. Их используют для возвратно-поступательного перемещения столов, в устройствах правки шлифовального круга, механизмах поперечных подач и т. д.

В плоскошлифовальном станке с прямоугольным столом мод. 3Д722 гидропривод обеспечивает возвратно-поступательное движение стола с регулируемой скоростью, прерывистую и непрерывную подачу шлифовальной бабки, вертикальную подачу, блокировку маховика ручного поперечного перемещения шлифовальной бабки.

В состав гидропривода станка (рис. 16.15) входят следующие составные элементы: *Н* — регулируемый пластинчатый насос; *ЦС* —

цилиндр привода стола; *ЦБ* — цилиндр шлифовальной бабки; *ЦВП* — цилиндр механизма вертикальной подачи; *ЦР* — цилиндр блокировки ручного перемещения; *РС* — распределитель управления столом; *РО* — распределитель управления остановкой стола; *РБ* — распределитель управления шлифовальной бабкой; *РД* — распределитель дозирующий; *Р1* — *Р5* — распределители управления; *ДР1* — *ДР3* — дроссели с дистанционным электроуправлением; *А* — аккумулятор; *ЗМ* — золотник включения манометра;  $\Phi 1$ ,  $\Phi 2$  — фильтры; *ДМ* — дроссель, *КО1*, *КО2* — клапаны.

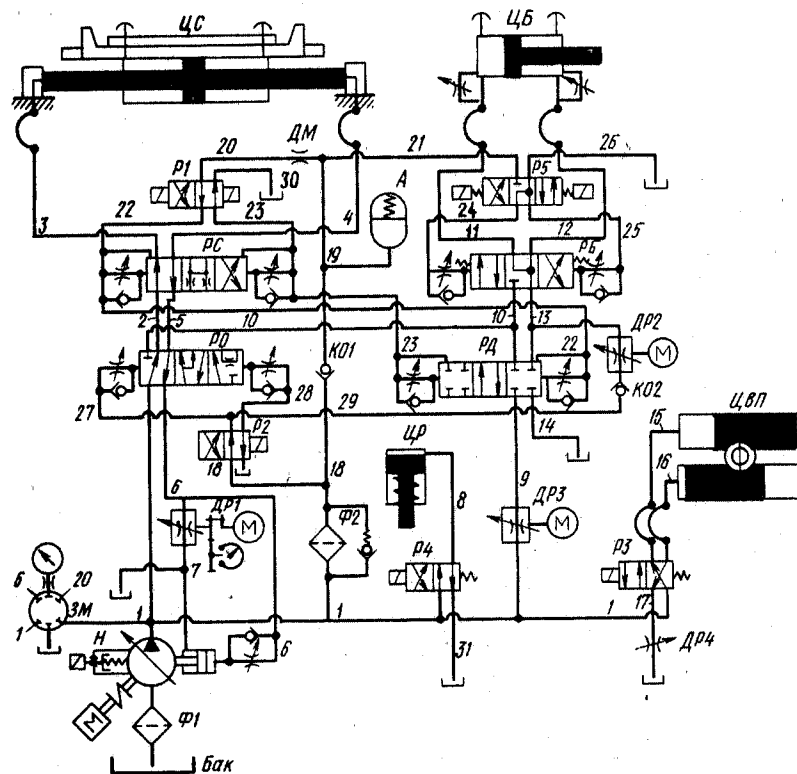


Рис. 16.15. Гидравлическая схема гидропривода плоскошлифовального станка мод. 3Д722

Положение элементов на принципиальной гидравлической схеме показано при остановленной шлифовальной бабке (при движении стола вместе с цилиндром влево). Основной поток масла идет по следующим линиям:

$\Phi 1 - Н - 1 - РО - 2 - РС - 3 - ЦС / ЦС - 4 - РС - 5 - РО - 6 - ДР1 - 7 - Бак.$

Изменение направления движения стола обеспечивается переключением распределителя  $P1$  по команде от электрических датчиков перемещения, установленных на столе. Поток масла при этом в системе управления следующий:

$$\Phi 1-H-1-\Phi 2-18-KO1-19 \begin{cases} \text{ДМ}-20-P1-23 \begin{cases} \overline{PC}/PC \\ \overline{PД}/PД \end{cases} \\ A \end{cases} \\ -22-P1-30-\text{Бак.}$$

Это обеспечивает переключение  $PC$  и изменение движения стола на обратное. Скорость движения стола регулируется дросселем  $ДР1$ , перепад давления на котором поддерживается постоянным за счет автоматического изменения подачи насоса  $H$ .

Подача шлифовальной бабки осуществляется гидроцилиндром  $ЦБ$  при включении одного из электромагнитов распределителя  $P5$ . При включении правого электромагнита поток масла в системе управления проходит по следующим линиям:

$$\Phi 1-H-1-\Phi 2-18-KO1-19 \begin{cases} 21-P5-24-\overline{PБ}/PБ-25- \\ A \end{cases} \\ -P5-26-\text{Бак.}$$

При каждом реверсе стола одновременно с  $PC$  переключается распределитель  $PД$ , золотник которого, проходя через среднее положение, кратковременно соединяет между собой линии 9, 10 и 13, 14, обеспечивая прерывистую подачу шлифовальной бабки. Настройка дросселя  $ДРЗ$  и дросселей, регулирующих время переключения  $PД$ , определяет скорость подачи шлифовальной бабки. Поток масла в системе подачи происходит по следующим линиям:

$$\Phi 1-H-1-ДРЗ-9-PД-10-PБ-11-ЦБ/ЦБ-12-PБ-13-PД-14-\text{Бак.}$$

Вертикальная подача осуществляется цилиндром  $ЦВП$  при включении электромагнита распределителя  $P3$ . Поток масла в системе вертикальной подачи осуществляется по следующим линиям:

$$\Phi 1-H-1-P3-16-ЦВП/ЦВП-15-P3-17-ДР4-\text{Бак.}$$

После отключения электромагнита распределителя  $P2$  движение стола прекращается, так как поток масла будет по линиям:

$$\Phi 1-H-1-\Phi 2-18-P2-28-PO/PO-27-P2-\text{Бак.}$$

В результате распределитель  $PO$  объединяет полости цилиндра  $ЦС$ , соединяет между собой линии 1 и 10, чем обеспечивает возможность реализации непрерывной подачи шлифовальной бабки при включении одного из электромагнитов распределителя  $P5$ .

При включении левого электромагнита поток масла проходит по линиям:

$$\Phi 1-H-1-PO-10-PБ-12-\overline{ЦБ} / ЦБ-11-PБ-13-ДР2-KO2-29-P2-\text{Бак.}$$

Цилиндр блокировки ручного перемещения  $ЦР$  срабатывает при включении электромагнита распределителя  $P4$  (поток масла  $\Phi 1-H-1-P4-8-ЦР$ ).

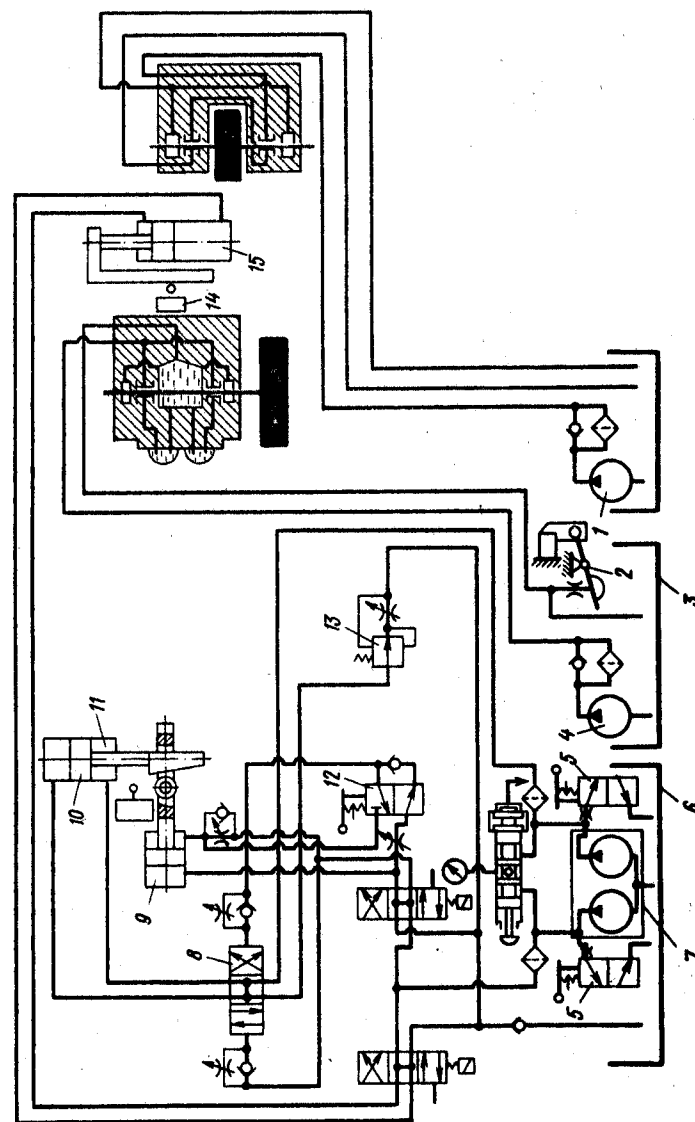


Рис. 16.16. Гидравлическая схема бесцентрово-шлифовального станка мод. 3М184

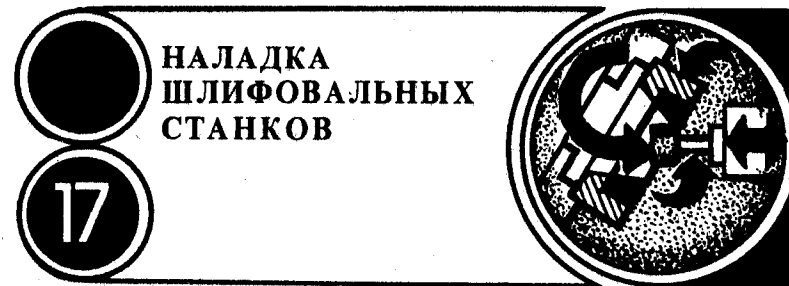
При отключении электромагнита рабочая камера цилиндра соединяется с баком через линию 31. С помощью золотника 3М можно подключать манометр к линиям 1, 6, 7 или 20.

На рис. 16.16 приведена гидравлическая схема гидропривода бесцентрово-шлифовального станка мод. 3М184. Поток масла в гидроагрегате 6 создается пластинчатым сдвоенным насосом 7 и направляется через напорные клапаны 5, масляные фильтры, золотниковые распределители 8 и 12, дроссель 13 к гидроцилиндрам быстрого подвода 9 и быстрого выталкивания 15 заготовки, к гидроцилиндру 11 копира. Шестеренный насос 4 в агрегате смазки 3 обеспечивает смазку подшипников шпинделя шлифовального круга. Циркуляция смазки в этой системе контролируется реле потока 2. Пластинчатый насос 1 в другом агрегате смазки обеспечивает смазку подшипников ведущего круга маслом большей вязкости.

Гидропривод обеспечивает (при работе методом врезания) рабочий цикл, включающий в себя ускоренный подвод шлифовальной бабки от гидроцилиндра 9, рабочую подачу от гидроцилиндра 11 и поршня 10 с копиром, выталкивание заготовки после ее обработки от гидроцилиндра 15 и быстрый отвод шлифовальной бабки от гидроцилиндра 9 по команде путевого переключателя 14. Время шлифования контролируется с помощью гидроклапана выдержки времени, который отработывает команду управления электромагнитом.

#### Контрольные вопросы

1. Какие устройства являются составными элементами гидропривода?
2. Для чего предназначены условные графические обозначения элементов гидропривода?
3. Расскажите о назначении и схеме действия насосов.
4. Какие виды объемных гидродвигателей используют в станках?
5. Для чего нужна направляющая и регулирующая гидроаппаратура?
6. Используя принципиальную гидравлическую схему станка, расскажите о составных элементах гидропривода.



#### 17.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Комплекс мероприятий по подготовке технологического оборудования и оснастки к выполнению определенной технологической операции, обеспечивающий получение высокой производительности и требуемой точности при оптимальных режимах обработки, называется *наладкой*.

К наладке относятся: выбор инструмента, его характеристики и геометрии рабочей части; выбор режимов резания, методов и средств контроля заготовки, приспособлений и другой оснастки; установка инструмента, средств контроля, оснастки и согласование взаимного расположения их с заготовкой в процессе технологической операции.

При эксплуатации металлорежущих станков некоторые параметры технологической системы постоянно изменяются под влиянием разных факторов (износ, деформации, температурные деформации и т. д.). Это может привести к выходу контролируемых параметров технологического процесса и заготовки за границы, установленные предельными их значениями (например, размер или шероховатость заготовки). Восстановление утраченных свойств оборудования достигается *подналадкой* — дополнительной регулировкой технологического оборудования и оснастки в процессе работы для восстановления достигнутых при наладке значений параметров. Для подналадки на станке предусматриваются соответствующие механизмы и устройства регулировок или компенсации отклонений. Если требуемая регулировка обработки обеспечивается без участия рабочего, то подналадка называется автоматической. К устройствам автоматической подналадки относятся системы, обеспечивающие поддержание нагрузок в заданных пределах, отключение кинематической цепи при перегрузках, регулировка зазоров в кинематических парах по мере износа их элементов.

Ряд современных станков оснащается адаптивными системами управления, которые позволяют учитывать изменение контролируемых переменных параметров процесса обработки и автоматически реализовывать команды для самонастройки или самоподстройки оборудования. Адаптивные системы управления повышают точность и производительность обработки, обеспечивают однородность изделий по качеству.

Установка необходимых передаточных отношений зубчатых и ременных передач, регулирование длин звеньев рычажных механизмов и другие операции для получения требуемых перемещений и скоростей исполнительных органов станка и другого оборудования называется *настройкой*.

Процесс наладки станка состоит из ряда этапов, основными из которых являются: этап организационно-технических мероприятий, включающий в себя подготовку рабочего места и подготовку оборудования к пуску; этап собственно наладки, включающий настройку станка, этап испытания и проверки правильности наладки и корректировки ее в случае необходимости. Любой станок универсальный или специальный, с ручным управлением или автомат требует после некоторого перерыва в работе проверки сохранения им наладочных параметров.

Подготовка рабочего места состоит в размещении на предусмотренной производственной площади в установленном или целесообразном месте инструмента, технической документации, заготовок и т.п. Подготовка оборудования к пуску заключается в подборе и подготовке режущего и измерительного инструмента, приспособлений, проверке наличия ограждений и заземления, подготовке системы смазки и системы подачи смазочно-охлаждающей жидкости.

Наладка станка производится по операционной карте и схеме наладки, при этом приспособления и инструменты устанавливаются и закрепляются на станке, проверяют зазоры в подвижных соединениях, устанавливают режимы обработки и величины перемещений суппортов, столов и других подвижных элементов на требуемую величину.

Испытание оборудования производится пробной обработкой заготовок в ручном или полуавтоматическом цикле. Корректировка наладки проводится по результатам измерения обработанных заготовок.

## 17.2. СПОСОБЫ НАЛАДКИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

При наладке устанавливают наладочный размер. Наладочным размером называют либо числовое значение расстояния между установочными элементами станка, либо другие параметры, определяющие заданное (или требуемое) взаимное положение обрабатываемой поверхности и рабочей поверхности шлифовального круга.

Различают простую и сложную наладку. При простой наладке задается наладочный размер, остающийся неизменным при осуществлении данной технологической операции. При сложной наладке наладочный размер при осуществлении данной технологической операции претерпевает корректировку в зависимости от колебания припуска заготовки, изменения жесткости технологической системы под действием силовых и температурных факторов, погрешностей закрепления заготовки и инструмента и т.п.

При расчете числового значения наладочного размера учитывают предельные размеры детали, определяемые допуском на ее изготов-

ление, погрешности измерения и самой наладки, силовые и температурные деформации в технологической системе. Например, наладочный размер  $d$  при наружном круглом шлифовании может быть определен так:  $d = f d_{\min} + 0,5\Delta + A$ , где  $f$  — некоторая функция от минимального размера обрабатываемой заготовки ( $d_{\min}$ ), половины поля рассеивания размеров при установке наладочного размера ( $0,5\Delta$ ), части поля допуска заготовки (10—20% от общего поля допуска), необходимой для компенсации погрешностей измерений и деформаций упругой технологической системы ( $A$ ).

Наладку производят по пробному проходу, по пробным деталям, по эталонам, по нормальному наладочному калибру.

Наладка по пробному проходу производится в условиях обработки каждой детали и требует больших затрат вспомогательного времени. Наладка состоит в обработке первоначально небольшого участка поверхности по методу пробы, в измерении получаемого на этом участке фактического размера (например, диаметра) заготовки и в изменении глубины резания (или подачи) до тех пор, пока не будет достигнуто совпадение (в пределах требуемой точности) действительного и расчетного значений наладочного размера и в последующей обработке всей поверхности. Наладка по пробному проходу проста, универсальна, применима при любом способе базирования, но требует надлежащей квалификации и опыта.

Наладка по пробным деталям основана на расчетно-экспериментальном или расчетном методах. Наладка состоит в определении наладочного размера путем расчетов по формулам, полученным в результате анализа расчетной схемы или обобщения экспериментальных результатов или производственной информации, в установке относительного положения инструмента и заготовки на наладочный размер и в обработке пробных деталей. После обработки партии пробных деталей производят измерение и оценивают отклонения размеров, формы и расположения поверхностей. Определяют размах отклонений размеров по разности между наибольшим и наименьшим числовыми значениями размеров обработанных деталей и ожидаемую величину поля рассеивания размеров для всей партии. Сопоставляют результаты с нормированными предельными отклонениями размеров, формы и расположения поверхностей, вносят необходимые коррективы в настройку станка за счет регулировочных перемещений. Правильность наладки по пробным деталям контролируется измерением заготовок.

Наладка по эталону проводится в статических условиях при неработающем станке, на который устанавливают макет заготовки в виде эталона или соответствующий калибр. Иногда эталоны снабжаются измерительными устройствами типа индикатора. Режущее лезвие инструмента или рабочая поверхность круга подводится к эталону до соприкосновения с определенным натягом или с зазором, величина которого контролируется щупом. Необходимые при этом размеры эталона рассчитываются.

Последовательность наладки универсального круглошлифовального станка при установке заготовки в центрах такова:

1) в зависимости от длины обрабатываемой заготовки устанавливают на столе переднюю и заднюю бабки. Для равномерного распределения износа направляющих стола и станины положение бабок на столе целесообразно изменять время от времени, добиваясь равномерного распределения нагруженных участков на столе. При шлифовании цилиндрической поверхности поворотный стол устанавливают в нулевое положение. Проверяют отсутствие загрязнений и повреждений на рабочих поверхностях отверстий передней и задней бабок. После установки в отверстия центров производят их выверку: при перемещении задней бабки к передней оси обоих центров должны совпадать. В случае несовпадения осей проводят необходимую корректировку поворотом передней бабки;

2) устанавливают шлифовальный круг после тщательной балансировки на балансировочном приспособлении или станке и проводят его правку. По операционной карте устанавливают режимы резания: частоту вращения заготовки и скорость продольной подачи. После установки детали в центрах определяют положение упоров, подающих команду на изменение направления движения стола. Проверку правильности их установки осуществляют при ручном перемещении стола. Упоры должны закрепляться надежно, чтобы исключить их сдвиг во время шлифования;

3) при наладке станка по методу пробных проходов вначале включают вращение круга и вращение заготовки и подводят круг к заготовке до появления искры. Перемещая стол вручную по всей длине заготовки, добиваются относительно равномерного съема припуска, наблюдая за этим по интенсивности искры. Далее включают автоматическую продольную подачу и проверяют отклонение профиля продольного сечения заготовки. Если образующие прямолинейны, но не параллельны, то добиваются устранения конусообразности путем регулировки положения стола.

Механизм поперечной подачи с имеющимся лимбом настраивают на съём припуска. Величину припуска измеряют по заготовке до установки на станок или непосредственно на станке. После подвода круга до появления искры освобождают лимб и поворачивают его на величину, соответствующую припуску на сторону. Закрепив лимб в этом положении, включают механизм автоматической подачи. При совмещении нулевых делений лимба и деления на корпусе механизма поперечной подачи автоматическая подача будет отключена с помощью упора. За два-три деления по лимбу целесообразно проверить размер заготовки, чтобы не допустить выхода размера за предельное значение. В случае необходимости вносят корректировку в наладку.

### 17.3. НАЛАДКА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ И ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМ СТАНКОВ

Гидропривод станка объединяет в систему ряд основных элементов: насос, гидродвигатель, направляющую и регулирующую гидроаппаратуру, вспомогательные устройства и аппараты. Долговечность

и надежность гидропривода зависят от правильной организации его технического обслуживания. Ежедневно необходимо проверять уровень масла в баке; наличие пены или мутности масла, свидетельствующих о попадании воды; степень загрязнения фильтров; температуру масла; настройку регулируемых аппаратов; герметичность трубопроводов; наличие утечек; надежность закрепления основных узлов, а также проводить очистку или замену фильтроэлементов и устранять утечки.

Для исключения поломок, которые обычно происходят при первом запуске гидропривода в эксплуатацию, необходимо строго соблюдать определенный порядок запуска: 1) заполнить бак маслом; 2) ослабить регулировочный винт предохранительного клапана; 3) установить упоры, отвести вручную рабочие органы в неопасную зону; помнить, что при запуске возможны случайные движения рабочих органов и поэтому необходимо внимательно следить за работой системы, чтобы принять меры для исключения аварии; 4) повернуть вручную вал насоса на несколько оборотов; 5) проверить направление вращения привода насоса путем кратковременного включения электродвигателя насоса; 6) проверить наличие давления в напорной линии гидросистемы при включении насосной установки; 7) устранить наружные утечки, заменить неисправные уплотнения; 8) начинать работу необходимо при низком давлении, выпустив воздух из верхних частей трубопроводов и исполнительных органов; 9) установить нормальное давление и, переключая распределители, проверить полный ход всех рабочих органов; 10) убедиться, что в баке на поверхности масла нет пены; 11) произвести регулировку дросселя, клапанов, реле на заданные режимы работы; 12) определить установившуюся температуру масла; если она превышает норму, то проверить работу системы охлаждения; 13) подключить схему электроавтоматики.

При наладке гидросистемы могут быть обнаружены неисправности, которые следует устранить. Наиболее вероятные неисправности следующие.

**Гидродвигатель не работает.** Возможные причины: неисправности насоса и неисправность гидродвигателя, недостаточное рабочее давление, повышение трения в направляющих, засорение дросселя, блокировка не позволяет осуществить движение. Установить причину неисправности можно путем ряда проверок. Необходимо проверить натяжку клиньев направляющих и оценить уровень усилия при ручном перемещении. Проверить блокировки, переключить золотник распределителя вручную. Отказ распределителя обычно связан с отсутствием питания, неисправностью электромагнита, конечного выключателя или реле, заклинивания золотника или поломки пружины, или засорения золотника. При засорении дроссель необходимо разобрать, промыть и очистить масло. Неисправные насосы и гидродвигатели следует заменить новыми или отремонтировать.

**В системе нет давления.** Возможные причины: насос не вращается, открыт предохранительный клапан, неправильное направление вращения насоса, низкий уровень масла в баке, масло сливается



через какой-либо неисправный узел. Для устранения дефекта необходимо проверить поток масла в гидросистеме, выявить, нет ли соединения напорной и сливной линии, проверить исправность предохранительного клапана, насоса и его привода.

**Недостаточное давление в системе.** Возможные причины: неисправность или неправильная настройка предохранительного клапана, засорение фильтра, наличие загрязнений в масле, изношенный насос, чрезмерно высокая скорость исполнительных звеньев. Для устранения неисправностей необходимо проверить предохранительный клапан, заменить фильтроэлемент, отфильтровать масло в гидросистеме, заменить изношенный насос на новый, уменьшить скорость движения, если расход масла недостаточен для нормальной работы предохранительного клапана.

**Недостаточная скорость движения гидродвигателя.** Возможные причины: износ насоса, мала частота вращения электродвигателя привода насоса, большие внутренние утечки в гидросистеме, закупорка трубопровода, неисправность регулятора потока, неисправность или засорение предохранительного клапана, холодное масло и повышена его вязкость.

**Неравномерность движения или автоколебания рабочего органа.** Возможные причины: наличие воздуха в масле, низкая жесткость или отсутствие закрепления трубопроводов, недостаточное противодавление в сливной линии гидросистемы, динамическая неустойчивость системы автоматического регулирования, колебания запорно-регулирующих элементов клапанов.

**Повышенный нагрев масла.** Возможные причины: пониженная вязкость масла, засорение фильтра, неисправность системы охлаждения или недостаточная подача воды в водяной теплообменник, мал поток воздуха перед воздушным теплообменником, повышенное давление масла в гидросистеме.

Пневматический привод обладает простотой управления, надежностью, простотой конструкции, возможностью регулирования и сохранения постоянного усилия на исполнительном органе. Основными элементами пневмосистемы станка являются пневмодвигатель, пневмоаппаратура, вспомогательные пневмоустройства и воздухопроводящая сеть. Минимальный комплект пневмоаппаратуры состоит из распределительного крана, влагоотделителя и маслораспылителя.

При наладке пневмосистемы необходимо проверить и убедиться в исправности основных узлов и элементов, проверить герметичность системы по показанию манометра и отсутствию недопустимых утечек. Об утечках обычно судят по образованию пузырей в мыльной пене, которой покрывают проверяемые места соединения элементов.

Стабильность давления воздуха в широком диапазоне его расходов контролируется манометром, а поддерживается с помощью стабилизатора давления. Давление, создаваемое стабилизатором, зависит от площади проходного сечения клапана. Для того чтобы обеспечить заданное давление, необходимо поддерживать клапан в определенном положении. Это автоматически осуществляется с помощью

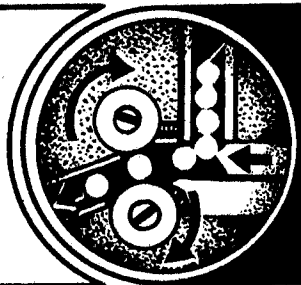
системы пружин, сопел, диафрагм и регулировочного винта. Если рабочее давление в системе не увеличивается, то следует проверить уплотнения на разъемах, прочистить и продуть отверстия сопел. Если давление не уменьшается или падает при увеличении или уменьшении расхода воздуха, то необходимо промыть сферическую поверхность клапана и отверстие под клапан, прочистить отверстия сопел, проверить герметичность узлов сопел. В стабилизаторе имеются предохранительный и аварийный клапаны, поэтому он должен быть установлен в местах, обеспечивающих отсутствие колебаний, вибраций и ударов.

#### Контрольные вопросы

1. Какие мероприятия относятся к наладке станка?
2. Какая цель достигается при подналадке станка?
3. Перечислите основные виды наладок станков.
4. В чем заключается подготовка абразивного инструмента к эксплуатации?
5. Какие мероприятия проводят при наладке гидравлической системы станка?
6. Какой порядок необходимо соблюдать при первом пуске гидропривода?

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

18



### 18.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

На универсальных металлорежущих станках вспомогательные функции, связанные с загрузкой, закреплением и разгрузкой заготовок, подводом и отводом инструмента, контролем заготовок и инструмента, оператор выполняет, как правило, вручную. Для повышения объема выпуска и качества продукции, сокращения трудовых затрат, улучшения условий производства осуществляют механизацию и автоматизацию технологических процессов.

Под механизацией технологических процессов понимают применение энергии неживой природы в технологическом процессе (или его составных частях), полностью управляемом людьми.

Под автоматизацией технологических процессов понимают применение энергии неживой природы в технологическом процессе (или его составных частях) и для выполнения процесса, и для управления им без непосредственного участия людей. И так, в условиях механизации технологических процессов функции оператора сводятся к управлению работой оборудования, контролю и наладке оборудования. При автоматизации технологических процессов оператор не принимает непосредственного участия в изготовлении каждого изделия, он только ведет наблюдение за работой оборудования.

Целью автоматизации технологического процесса, в частности шлифования, является создание автоматического технического устройства, например шлифовального станка, функционирующего и управляемого без непосредственного участия людей. Для этого шлифовальные станки с автоматическим циклом работы оснащают автоматическими устройствами загрузки — выгрузки заготовок, смены и правки инструмента, контроля заготовок (см. гл. 12) и инструмента, а также автоматическими устройствами управления всем этим оборудованием по заданному алгоритму с использованием энергии неживой природы, т. е. без участия людей.

### 18.2. АВТООПЕРАТОРЫ, МАНИПУЛЯТОРЫ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ

Для автоматизации и механизации ручных операций в промышленности используют устройства, которые обладают одной, двумя

или тремя возможностями, присущими человеку: физическими, функциональными или умственными. Физические возможности — это способность развивать силу, скорость, совершать работу по перемещению тел, двигаться и работать надежно и непрерывно в течение длительного времени. Функциональные возможности — это умение приспосабливаться к внешним условиям при воспроизведении некоторых двигательных функций человека. Умственные возможности — это способность к ощущению и восприятию, к памяти, логике, обучению, к распознаванию команд управления и т. п. Эти устройства имеют самые разные названия, классификация их очень условна, так как признаки очень разнообразные; основными являются автооператоры, манипуляторы и промышленные роботы.

*Автооператором* называют автоматическую машину или устройство в виде манипулятора и неперепрограммируемого устройства управления. Автооператор служит для выполнения вспомогательных и транспортных производственных операций. Наладка автооператора требует регулирования, смены кулачков, перестановки упоров, изменения размеров звеньев и т. п. Автооператоры отличаются простотой системы управления и конструкции, обладают высокой надежностью и долговечностью, поэтому они (несмотря на необходимость переналадок) широко применяются в машиностроении. Обычно автооператоры выполняют одну, две, иногда три простые операции.

*Манипулятор* — это управляемое устройство или машина для выполнения двигательных функций, аналогичных функциям руки человека при перемещении объектов в пространстве. Это устройство оснащено рабочим органом.

*Промышленный робот* — это автоматическая машина, стационарная или передвижная, состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора, имеющего несколько степеней подвижности, и перепрограммируемого устройства программного управления для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций. Таким образом, промышленный робот — это машина-автомат, которая частично или полностью выполняет функции человека.

В настоящее время промышленные роботы и манипуляторы включают в состав автоматизированных и автоматических линий, гибких производственных систем и автоматизированных комплексов. Они позволяют избавить человека от монотонного, малоквалифицированного, тяжелого и часто вредного для здоровья труда. Число роботов, отнесенное к общему количеству промышленных рабочих, во всех развитых странах непрерывно повышается. Роботы позволяют улучшить качество выпускаемой продукции, уменьшить брак и отходы производства, снизить себестоимость продукции. Роботы способны выполнять работу в условиях ограниченной видимости, в темноте, при высоких температурах, в воде, в вакууме, во вредной атмосфере и т. п. Они способны быстро приспосабливаться к изменениям в конструкции изделий (обладают гибкостью), т. е. являются техни-

ческой базой при создании гибких автоматизированных производств, приспособленных к частой смене продукции.

На рис. 18.1 показаны полуконструктивная (рис. 18.1, а) и структурная (рис. 18.1, б) схемы промышленного робота, предназначенного для автоматизации вспомогательных работ при обслуживании технологического оборудования. Робот I производит загрузку заготовок IV

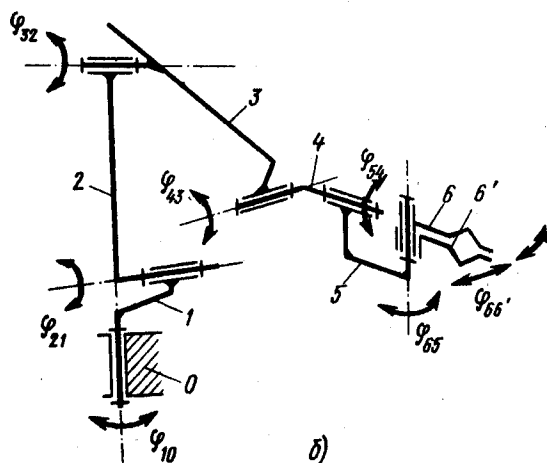
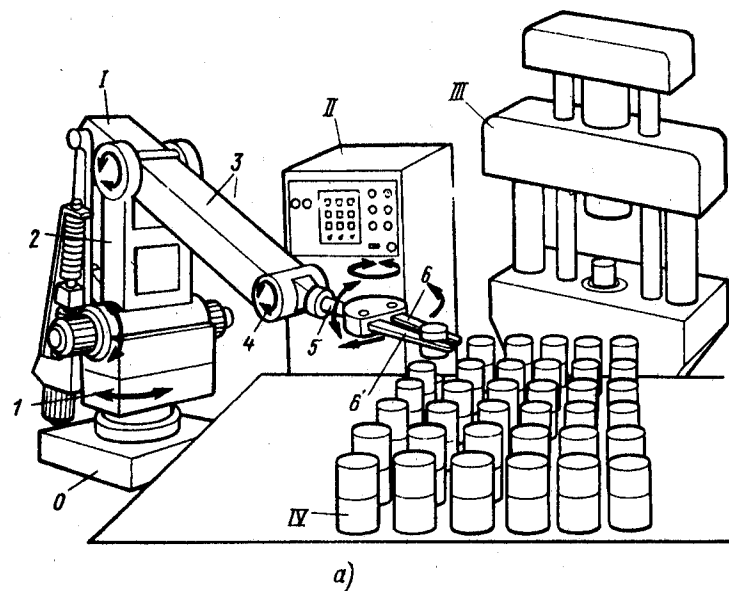


Рис. 18.1. Компонка основных устройств (а) и структурная схема (б) шарнирно-рычажного механизма промышленного робота

в пресс III. Робот оснащен системой позиционного управления II с электроприводом, состоящим из электродвигателей, датчиков скорости и положения. Основная цепь робота состоит из звеньев 1, 2, 3, 4, 5 и захватного устройства 6, 6'. Эти звенья соединены одноподвижными кинематическими парами, допускающими относительный поворот звеньев на соответствующие углы  $\varphi_{10}$ ,  $\varphi_{21}$ ,  $\varphi_{32}$ ,  $\varphi_{43}$ ,  $\varphi_{54}$ ,  $\varphi_{65}$ ,  $\varphi_{66}$ . Программирование робота осуществляется путем обучения с пульта управления и команд на программноносителе от системы управления.

В зависимости от вида кинематических пар, использованных в структурной схеме робота, числа и размеров звеньев получают разные размеры, форму и объект рабочей зоны, обслуживаемый манипулятором, и разные манипуляционные и маневренные возможности.

В зависимости от назначения применяет позиционную или контурную систему управления роботами. При позиционной системе управления программа определяет координаты точек пространства, в которых последовательно должно находиться захватное устройство манипулятора. Этого обычно достаточно для выполнения операции типа «взять — положить». Траектория между заданными точками пространства при позиционной системе не контролируется, а выбирается такой, чтобы время движения было бы минимальным. Контурная система управления строится на базе микроЭВМ с использованием специального языка, созданного для упрощения общения оператора с роботом.

При этой системе задаются координаты определенных точек: начала и конца перемещения на заданном участке и вид кривой между этими точками: прямая, окружность или другая линия. Это задание должно обеспечить рабочему инструменту робота непрерывное движение по определенной траектории, зависящей от конфигурации, например, обрабатываемой заготовки. Создание такой программы обучения производится с пульта с помощью ручного управления в процессе обучения робота.

Промышленный робот мод. РФ-204М, имеющий манипулятор с двумя «руками», с грузоподъемностью по 1 кг показан на рис. 18.2. Одна «рука» при обслуживании рабочей зоны станка держит заготовку, которую надо установить, а вторая — предварительно снимает обработанную деталь. Такое решение позволяет уменьшить простои станка. Привод робота — пневматический. Система управления — цикловая: все звенья работают с помощью датчиков конечного положения (упоров). Точность позиционирования высокая — до 0,05 мм. Программа робота формируется по пробному перемещению, которое проводится вручную по командам с пульта управления.

Для обслуживания нескольких станков манипулятор крепится на транспортном устройстве — тележке. Транспортная тележка перемещается по двутавровой балке с помощью линейного асинхронного двигателя. Робот имеет 8 степеней подвижности, не считая подвижности захватного устройства.

Электрогидравлический робот «Контур 002М» работает в сфери-

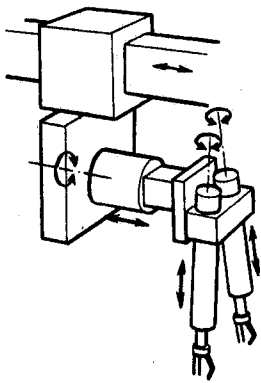


Рис. 18.2. Промышленный робот мод. РФ-204М с двухруким манипулятором

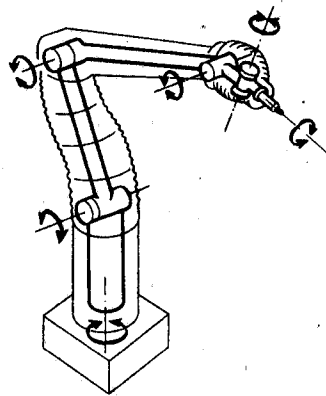


Рис. 18.3. Электрогидравлический робот «Контур 002М»

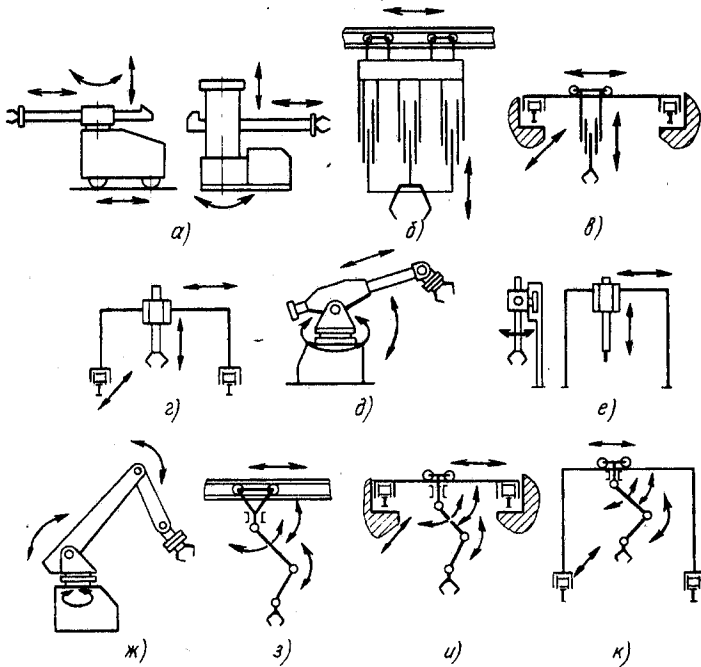


Рис. 18.4. Основные конструктивно-компоновочные схемы промышленных роботов:

*a* — напольно-стреловые с манипулятором на подвижной или неподвижной опорной части, *б* — тельферно-стреловые с манипулятором, прикрепленным к тельферной тележке, которая перемещается по подвижному мосту, *в, г* — портално-стреловые, у которых опорная часть выполнена в виде портала, *д* — напольные с шарнирно-стреловым манипулятором, закрепленным на подвижной или неподвижной опорной части, *е* — порталные шарнирно-стреловые, *ж* — напольно-шарнирные с шарнирным манипулятором, закрепленным на подвижной или неподвижной опорной части, *з* — тельферно-шарнирные (на тельферной тележке), *и* — мосто-шарнирные, *к* — портално-шарнирные

ческой системе координат и имеет 6 степеней подвижности (рис. 18.3). В конструкции этого робота использованы неполноповоротные гидравлические двигатели, которые развивают значительные крутящие моменты. Грузоподъемность — до 10 кг, скорость перемещения инструмента, закрепленного в захватном устройстве, может достигать до 2 м/с, погрешность позиционирования — до 3 мм. Робот «Контур 002М» обычно используют на тех операциях, где требуется непрерывное перемещение рабочего инструмента по заданной траектории. К таким операциям относятся шлифование поверхности сложной формы, пескоструйная обработка, окрашивание и др. Robotами «Контур» управляет специальная система управления. В процессе обучения происходит автоматическая запись программы на магнитных дисках. При обучении оператор вручную перемещает захватное устройство или рабочий инструмент по требуемой траектории. При работе система управления получает сигналы от датчиков, которые установлены во всех кинематических парах, сравнивает полученную информацию с запрограммированной на данный момент в процессе обучения и выдает необходимые команды на гидроприводы, обеспечивающие воспроизведение требуемых перемещений.

Основные конструктивно-компоновочные схемы промышленных роботов показаны на рис. 18.4, согласно которым роботы могут быть разделены на 10 групп.

На рис. 18.5 показана схема расположения промышленного робота 5, используемого в качестве автоматического загрузочного устройства, обслуживающего два станка (например, шлифовальных) 2 и 3, заготовки к которым поступают по конвейеру 1. В исходной позиции А робот захватывает с конвейера 1 заготовку по команде с пульта управления и переносит ее на позицию В. Во время обработки заготовки робот имеет останов. После окончания операции на станке 2 заготовка переносится на позицию С перед станком 3. По сигналу управления на станке 3 открывается заслонка 4 и заготовка устанавливается на позицию D, а захватное устройство манипулятора возвращается в исходную позицию А для захвата следующей заготовки.

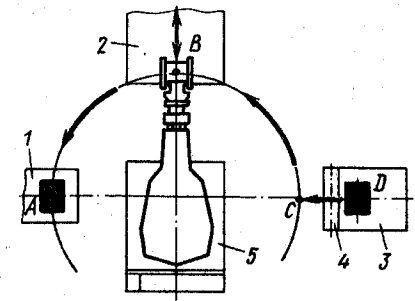


Рис. 18.5. Схема оборудования промышленным роботом конвейера и двух станков

### 18.3. УСТРОЙСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЗАГРУЗКИ И ВЫГРУЗКИ ЗАГОТОВОК НА ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ

При автоматизации производства большое внимание уделяют автоматизации процесса загрузки — выгрузки заготовок. Для этих целей используют различные устройства, которые должны обладать простой конструкцией, высокими надежностью и быстродействием, быть

безопасными в работе. Вспомогательные перемещения загрузочного устройства должны совмещаться с рабочим циклом станка.

В зависимости от способа укладки заготовок в емкости различают три типа загрузочных устройств: бункерное, магазинное и штабельное.

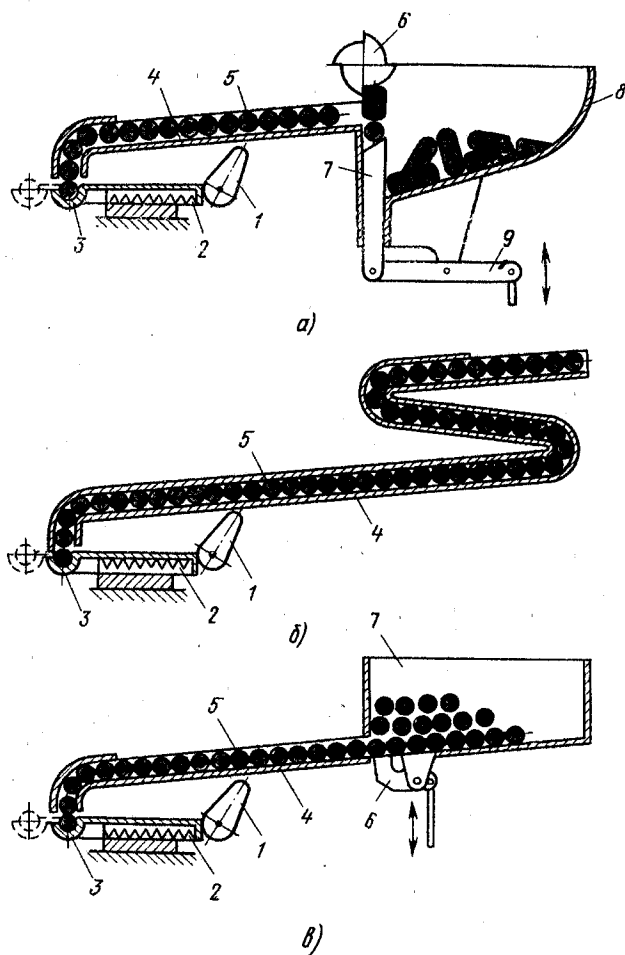


Рис. 18.6. Основные типы загрузочных устройств для штучных заготовок

**Бункерным** называют такое загрузочное устройство, в котором заготовки размещаются навалом (рис. 18.6, а). Эти устройства применяют для заготовок простой геометрической формы с небольшими массой и размерами. Бункерное загрузочное устройство состоит из бункера 8, в который засыпают навалом заготовки 5, механизма захвата 7 и ориентации 6 заготовок с приводом и рычаж-

ным механизмом 9, накопителя-лотка 4, отсекателя для штучной выдачи заготовок из их потока, совмещенного с питателем 3 для подачи штучной заготовки в зону обработки станка. Питатель 3 перемещается от кулачкового-пружинного привода, состоящего из кулачкового механизма 1 с пружиной 2.

**Магазинным** загрузочным называют такое устройство, в котором заготовки расположены в ориентированном положении (рис. 20.6, б). Магазин с заготовками 5 может выполняться в виде лотка открытого или закрытого типа или в виде цепного магазина. Питатель 3 с кулачково-пружинными приводами 1 и 2 передает заготовки в рабочую зону станка.

**Штабельным** загрузочным называют устройство, в котором заготовки находятся в ориентированном положении и расположены в несколько рядов (рис. 20.6, в). Заготовки 5 поступают в лоток 4 из магазина 7. Возможное заклинивание заготовок в штабеле устраняют с помощью ворошителя 6.

На рис. 18.7 показано устройство автоматической загрузки-разгрузки на круглошлифовальном станке, которое состоит из лотка 1, автооператора 2, отводящего лотка 3 и конвейера 4. Автооператор может быть «однорукий» или «двухрукий».

На рис. 18.8 приведено устройство загрузки-разгрузки круглошлифовального станка с поворотным питателем 4, который передает заготовки с конвейера 1 на линию центров станка с помощью подъемника 3. После окончания шлифования питатель 4 передает заготовку на отводящий конвейер 2.

При шлифовании валов в условиях массового производства широко используют порталные загрузочные устройства (рис. 18.9). На стойке 1 закреплен портал 6 с горизонтальной направляющей. На каретке 2 с приводом 3 закреплены манипуляторы 4. Наличие двух «рук» в манипуляторе позволяет совместить время загрузки и разгрузки, так как одна «рука» снимает обработанную заготовку, а вторая — устанавливает для обработки новую заготовку. Портальное загрузочное устройство с помощью загрузочного манипулятора захватывает заготовку с конвейера 5, перемещает ее с помощью каретки в рабочую зону станка (загрузка), отводит манипулятор с обработанной заготовкой и укладывает ее на отводящий конвейер.

Высокая степень совмещения вспомогательных операций с основной операцией достигнута при использовании устройств загрузки-разгрузки с помощью простых автооператоров (рис. 18.10). Заготовки поступают по загрузочному лотку 1, подаются толкателем 2 в промежуточную позицию 3. По команде устройства управления автооператор 4 рычажного типа переносит заготовку 5 на позицию 6, где осуществляется шлифование требуемых поверхностей. После окончания цикла шлифования автооператор 4 передает деталь в разгрузочный лоток 7. Продолжительность такой загрузки составляет около 0,5 с.

Для загрузки многоступенчатых валиков с разобценными поверхностями используют автооператоры типа укладчиков (рис. 18.11).

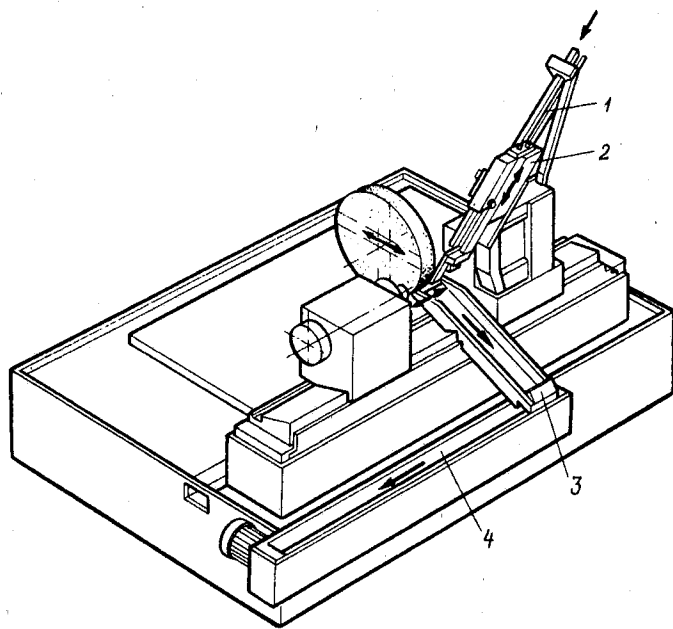


Рис. 18.7. Устройство загрузки — разгрузки круглошлифовального станка

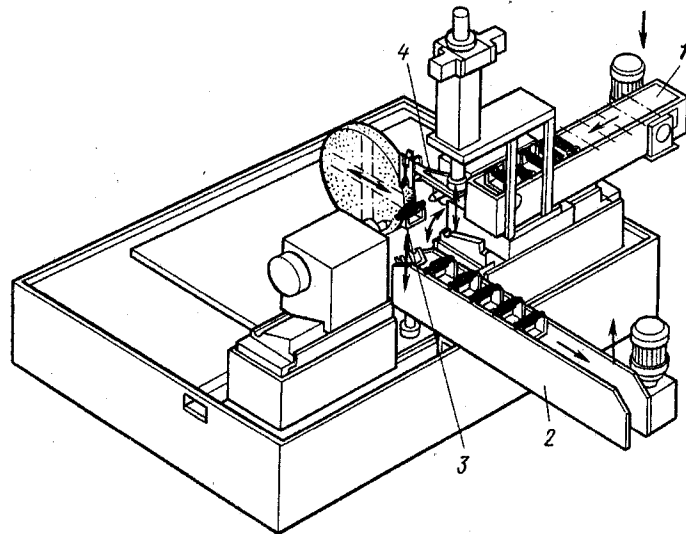


Рис. 18.8. Устройство загрузки — разгрузки с помощью поворотного питания

Заготовки 8 обрабатывают на бесцентрово-шлифовальном станке с помощью двух шлифовальных кругов 6 и двух ведущих кругов 7, рабочие поверхности которых имеют соответствующий профиль (рис. 18.11, а). Укладчик 1 (рис. 18.11, б) снабжен гидроцилиндром 2, работа которого осуществляется по командам устройства управления.

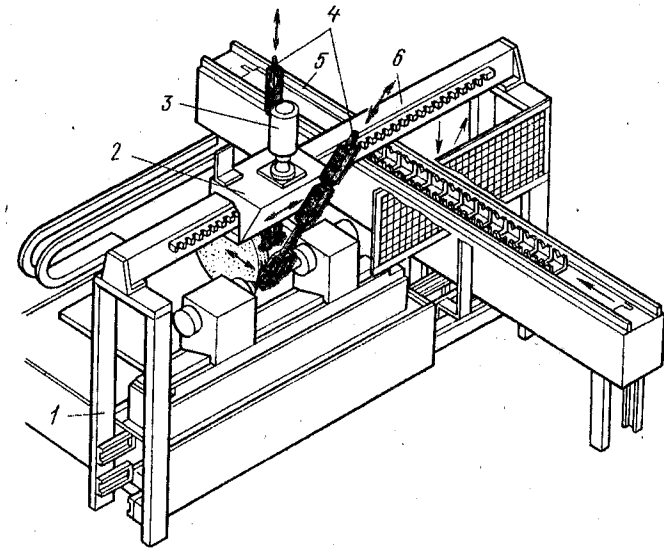


Рис. 18.9. Устройство загрузки — разгрузки с помощью портального манипулятора

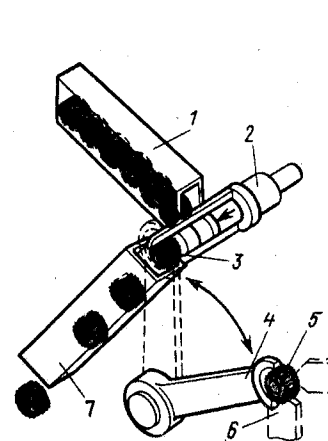


Рис. 18.10. Рычажное устройство загрузки — разгрузки круглошлифовального станка

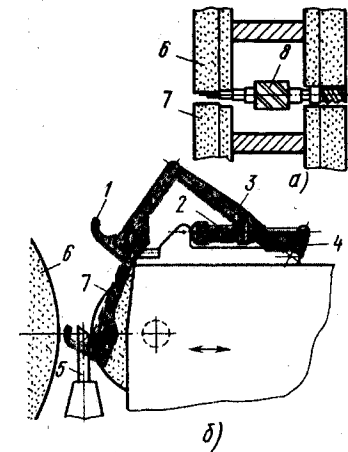


Рис. 18.11. Рычажное устройство загрузки — разгрузки при шлифовании многоступенчатого валика

Гидроцилиндр посредством рычагов 3 и 4 переносит заготовку с позиции загрузки на позицию шлифования и опускает на опорный нож 5. В процессе шлифования укладчик 1 находится в рабочей зоне станка, затем он снимает заготовку (по окончании цикла шлифования) и передает ее в позицию разгрузки.

Высокой надежностью обладает устройство загрузки—разгрузки бесцентрово-шлифовального станка (рис. 18.12). Столб заготовок

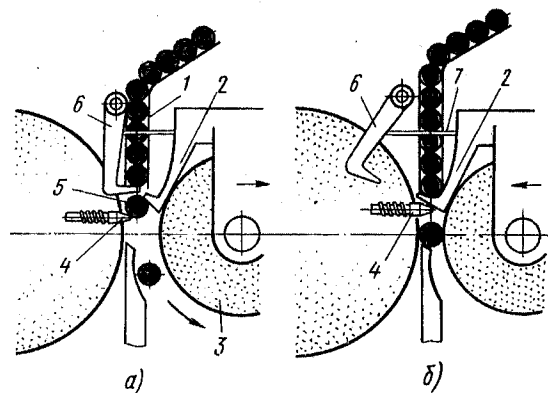


Рис. 18.12. Устройство загрузки—разгрузки бесцентрово-шлифовального станка

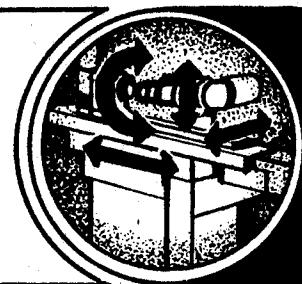
(рис. 18.12, а) удерживается в желобе 1 отсекателем 6, а заготовка 5—упором 4. При подходе бабки ведущего круга 3 толкатель 7 отводит отсекатель 6 и заготовка 5 опускается на опорный нож в позицию шлифования (рис. 18.12, б). В процессе обработки столб заготовок удерживается отсекателем 2. После окончания операции шлифования и отвода ведущего круга упор 4 и отсекатель 6 занимают исходные положения, обработанная деталь скатывается в отводящий лоток, и цикл обработки, включая операции загрузки—разгрузки, завершается.

#### Контрольные вопросы

1. Что понимают под механизацией и автоматизацией технологического процесса?
2. Расскажите о назначении роботов и манипуляторов.
3. Какое устройство называют автооператором?
4. Используя структурные схемы манипуляторов, расскажите о степенях подвижности механизма и возможных перемещениях захватного устройства?
5. Расскажите о работе устройств для автоматической загрузки и выгрузки заготовок на шлифовальных станках.

## ПРОГРАММНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

19



### 19.1. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СТАНКАМИ

В решении задачи ускорения социально-экономического развития страны на базе научно-технического прогресса главенствующая роль принадлежит машиностроению, продукция которого должна обеспечить многократное увеличение производительности труда во всех областях производственной деятельности человека при автоматизации всех ее стадий.

Управление станком называют ручным, если выполнение операции осуществляется непосредственно человеком на основе исходной информации в форме чертежа, технологической документации и текущей информации по результатам наблюдений за работой станка, инструмента, измерительных и регистрирующих устройств и другого оборудования. При ручном управлении циклом работы станка рабочий должен обладать знаниями, умением и опытом, наличие которых позволяет выполнять технологическую операцию с заданной производительностью, обеспечивая при этом требуемое качество изделия. При этом управлении возможности повышения производительности ограничены способностями человека, качество же изделий может оказаться нестабильным, а иногда и низким.

Управление станком называют автоматическим, если выполнение операциями обеспечивается комплексом устройств и средств связи, обеспечивающим требуемое согласованное взаимодействие исполнительных механизмов станка, заготовки, инструмента и т. п.

Управление движением станка, его механизмов и транспортных средств, режимов работы машины, изменением физических и химических параметров технологического процесса по заранее заданной программе называется *программным управлением (ПУ)*.

Способ достижения цели с однозначным описанием операций и процедуры их выполнения в заданной форме называется *программой*.

Система программного управления состоит из ряда устройств, предназначенных для выполнения определенных функций: программ-носитель, на котором записана программа работы исполнительных органов станка; устройства ввода программы; считывающего устройства, способного воспринимать символы программы и преобразовывать их в электрические сигналы управления; преобразующего устрой-

ства, обрабатывающего рабочие команды для движения исполнительных органов станка; привода исполнительных органов станка; системы обратной связи, осуществляющей контроль соответствия выполняемого движения исполнительных органов запрограммированным параметрам.

Станки, а также другое легкоперенастраиваемое оборудование, снабженные системами автоматического управления, являются основой для создания гибких производственных систем (ГПС).

Программное управление работой элементов станка разделяют на цикловое и числовое программное управление.

Цикловое программное управление (ЦПУ) основано на использовании простейших программ, содержащих только информацию о цикле и режимах обработки, обеспечиваемых регулируемым электроприводами главного движения и подачи. Простейшим устройством ЦПУ является кулачковый командоаппарат (программатор), который выдает команды на путевые переключатели, обеспечивающие начало движения или прекращение движения соответствующих рабочих органов станка по заданной программе от путевых переключателей. Путевые переключатели имеют достаточно высокую точность срабатывания и достаточную долговечность.

Системы ЦПУ могут быть с аппаратным управлением (электрические, гидравлические или пневматические). Программу в таких устройствах часто вводят с панели нажатием клавиши с обозначением логического элемента.

Станки с ЦПУ отличаются простотой конструкции, невысокой стоимостью, однако их переналадка требует значительного времени. Поэтому станки с ЦПУ эффективно используются для обработки заготовок больших партий деталей простой формы. Они находят применение в крупносерийном и массовом производствах и автоматических линиях для этих производств.

Развитие электроники и вычислительной техники, внедрение ЭВМ в производство привели к применению в станкостроении систем числового программного управления (ЧПУ). Числовое программное управление основано на программах, содержащих информацию чертежа детали, о цикле и режимах обработки, о перемещении заготовки и информации об инструменте, записанную в виде определенной последовательности чисел, представляющую собой язык программирования. В системах ЧПУ на всем пути подготовки программы управления вплоть до ее передачи рабочим органам станка мы имеем дело только с информацией в цифровой форме.

Системы ЧПУ можно классифицировать по различным признакам: перемещению рабочих органов (позиционные, контурные, комбинированные или универсальные системы), наличию обратной связи (разомкнутые, замкнутые системы) и др.

В позиционных системах ЧПУ обработка осуществляется в процессе поочередного или одновременного перемещения рабочих органов станка по различным координатам ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ).

В контурных системах управление обеспечивается перемещением рабочих органов станка по траектории (обычно криволинейной)

и с контурной скоростью, заданными программой. Контурной скоростью является результирующая скорость подачи рабочих органов станка, направление которой совпадает с касательной в каждой точке заданного контура обработки.

В универсальных системах ЧПУ используют комбинированные позиционно-контурные системы управления.

В разомкнутых системах ЧПУ действительное положение рабочих органов станка не контролируется, а определяется точностью передаточных механизмов и точностью выполнения заданных программ, вводимых программноносителем по начальной информации.

В замкнутых системах имеется обратная связь и осуществляется сопоставление информации о контролируемом исполнении перемещений и команд с заданными параметрами в программе. В замкнутых системах управления выделяют три подгруппы: 1) системы управления с обратной связью по положению рабочих органов станка; 2) системы управления с обратной связью по положению рабочих органов и с компенсацией погрешностей станка из-за тепловых деформаций, износа инструмента, вибраций и т. п.; 3) адаптивные (самоприспосабливающиеся, в том числе самонастраивающиеся, самоорганизующиеся, самообучающиеся) системы управления, в которых при непредвиденных изменениях в технологической системе обес-

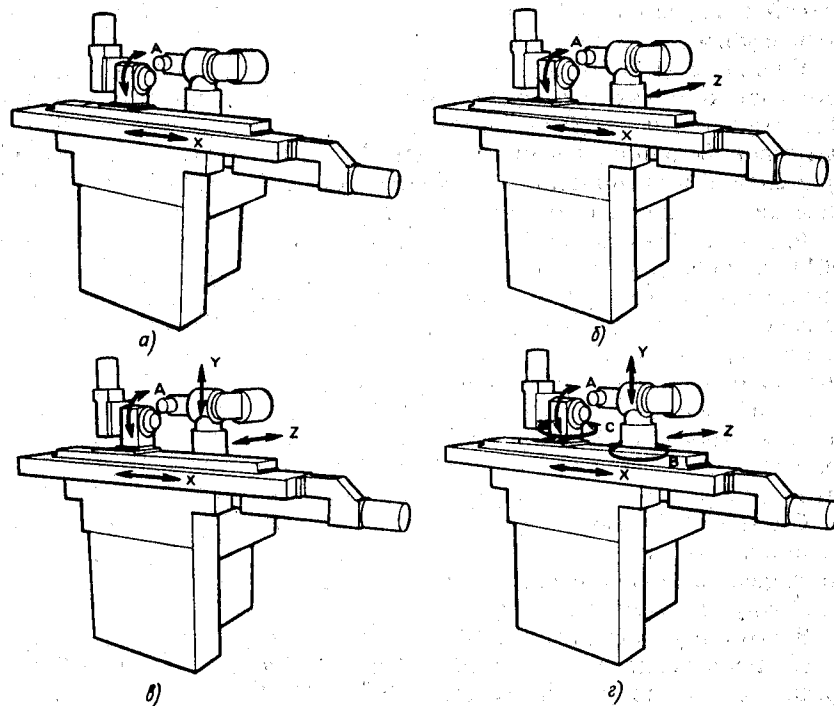


Рис. 19.1. Схемы с двумя (а), тремя (б), четырьмя (в) и многими (г) управляемыми перемещениями исполнительных органов заточного станка



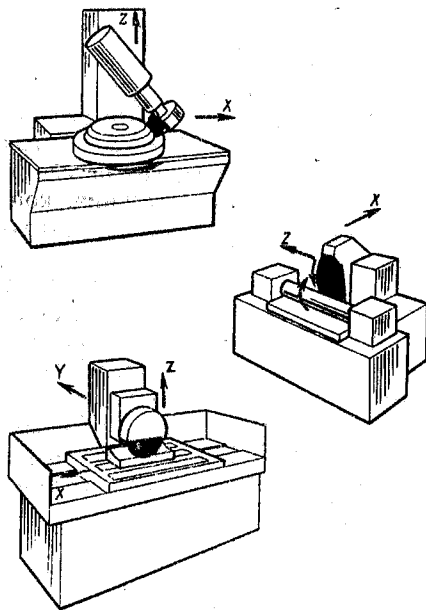


Рис. 19.2. Схемы управляемых перемещений на плоскошлифовальном и круглошлифовальном станках

(рис. 19.1). Для заточки осевого цилиндрического лезвийного инструмента по передней и задней поверхностям достаточно двух перемещений (рис. 19.1, а), для инструмента с цилиндрическими и коническими участками лезвия используют станки с тремя перемещениями (рис. 19.1, б), для инструмента с наклонным или винтовым зубом используют станки с четырьмя (рис. 19.1, в) или более (рис. 19.1, г) перемещениями. Управляемые перемещения на плоскошлифовальных и круглошлифовальных станках показаны на рис. 19.2.

При обозначении моделей станков с ЧПУ используют индексы: Ф2 — для позиционной; Ф3 — для контурной; Ф4 — для позиционно-контурной систем ЧПУ; Ф1 — для цифровой индикации положения при ручном вводе данных.

## 19.2. СВЕДЕНИЯ О ПРОГРАММИРОВАНИИ

В станках с ЧПУ программа записывается с помощью специального языка на перфоленте, магнитной ленте, магнитном диске или хранится в памяти управляющей вычислительной машины.

Совокупность знаков (символов) и система определенных правил, с помощью которых информация может быть представлена (закодирована) в виде набора таких символов для передачи, обработки и хранения, называется *кодом*. Конечная последовательность кодовых знаков называется *словом*. Совокупность (набор) символов, исполь-

печивается высокая точность обработки, оптимальная производительность и минимальная себестоимость обработки за счет использования информации о разных параметрах процесса обработки, размерах заготовок, нагрузках и температурах в зоне резания и т. п. Название системы происходит от термина «адаптация», под которым понимают приспособление организмов к изменяющимся внешним условиям.

Работа станка с ЧПУ и программирование тесно связаны с системами координат. Оси координат необходимы для определения перемещений рабочих органов по направлению и величине. Для всех станков с ЧПУ принята правая система координат X, Y, Z. Оси координат располагают параллельно направляющим станка. Поворот вокруг осей X, Y, Z обозначают буквами A, B, C

зуемых при кодировании, называется *алфавитом кода*. Запись текста программы в той форме, в которой она затем переносится на программноноситель (перфоленты, магнитные ленты, магнитные диски и т. п.) путем пробивки комбинаций отверстий или записи магнитных штрихов, называется *кодированием*. Наибольшее распространение в ЭВМ получила двоичная система кодирования, которая использует только две цифры: 0 и 1. Это связано с тем, что элементы электроавтоматики имеют обычно два устойчивых состояния: контакты замкнуты или разомкнуты. Одному из этих состояний соответствует символ 1, другому — символ 0.

Число символов в слове (кодовой комбинации) называют *длиной слова*, а число единиц в слове — его *весом*. Любое число из десятичной системы счисления, которой пользуются в повседневной жизни, можно перевести в двоичную систему. Этот переход осуществляют путем последовательного деления десятичного числа на 2 и последовательной записи остатка. Этот переход можно проследить на примере числа 43. Записывают два столбца цифр: в левом делимое, а ниже — частное; в правом — остаток при делении:

43 —
21 — 1
10 — 1
5 — 0
2 — 1
1 — 0
0 — 1

Если правый столбец цифр записать при чтении снизу вверх, то полученная совокупность символов будет изображать число в двоичной системе счисления, т. е.  $(43)_{10} = (101011)_2$ .

Широкое применение получила и другая методика, которая основана на том, что любое число можно представить как сумму чисел, каждое из которых является степенью числа 2:

$2^0 = 1$ ;  $2^1 = 2$ ;  $2^2 = 4$ ;  $2^3 = 8$ ;  $2^4 = 16$ ;  $2^5 = 32$ ;  $2^6 = 64$ ;  $2^7 = 128$ ;  $2^8 = 256$ ;  $2^9 = 512$ ;  $2^{10} = 1024$  и т. д. Чтобы, например, представить число 1193 в двоичной системе, последовательно прибавляют наибольшее число, являющееся степенью числа 2:

$1193 = 1024 + 169 = 1024 + 128 + 41 = 1024 + 128 + 32 + 9 = 1024 + 128 + 32 + 8 + 1 = 2^{10} + 2^7 + 2^5 + 2^3 + 2^0$ ;

$(1193)_{10} = (1000000000)_2 + (10000000)_2 + (100000)_2 + (1000)_2 + (1)_2 = (10010101001)_2$ ;  $(1193)_{10} = (10010101001)_2$ .

Десятичные цифры от 0 до 9 изображаются четырехразрядными двоичными числами:

0 = 0000	5 = 0101
1 = 0001	6 = 0110
2 = 0010	7 = 0111
3 = 0011	8 = 1000
4 = 0100	9 = 1001

Иногда применяют двоично-десятичный код, при котором каждая цифра числа записывается на отдельной строке в двоичной системе, а строки следуют друг за другом.

Сигналы для управления исполнительными приводами представляются в единичном или унитарном коде, в котором число выражается количеством цифровых знаков. Он удобен тем, что любому числу соответствует эквивалентное количество импульсов. С каждым импульсом исполнительное устройство станка перемещается на строго определенную величину — на величину дискреты.

При подготовке управляющих программ вся геометрическая информация определяется из чертежа детали. Эта исходная размерная информация проходит ряд этапов, прежде чем она превратится в перемещение рабочих органов. Из десятичной системы счисления информация представляется на программноносителе в двоично-десятичном буквенно-цифровом коде, далее преобразуется в двоичном коде для выполнения машинных операций в устройстве ЧПУ, представляется в унитарном коде в виде оперативных сигналов для управления исполнительными приводами и реализуется в виде перемещения исполнительного органа на одну дискрету под действием каждого импульса унитарного кода.

Помимо геометрической информации при подготовке управляющих программ (УП) используется необходимая технологическая информация, к которой относят маршрутные и операционные карты, выбор режимов резания, выбор режущего и вспомогательного инструмента, выбор приспособлений, технологические команды и т. п. Записанные на перфолентах или магнитных лентах УП представляют собой последовательность кадров (фраз). Отдельный кадр программы является последовательностью слов, расположенных в определенном порядке и несущих информацию об одной технологической рабочей операции. Слово программы — последовательность символов, рассматриваемых в определенной связи как единое целое. Глава программы — определенное количество кадров, заданных в необходимой последовательности, первый из которых является главным кадром. Главный кадр характеризует начальное состояние следующего за ним участка программы. Условная запись структуры кадра УП с максимально возможным объемом информации называется форматом. Формат определяет набор применяемых слов, порядок их расположения и объем информации каждого слова. Слова в УП должны быть записаны с использованием буквенных адресов — адресный способ записи; с использованием знаков разделения ГТ (табуляция) и буквенных адресов — универсальный способ записи. При адресном способе записи программы управления числовой информацией слова должен предшествовать буквенный адрес, указывающий на принадлежность этой информации.

При универсальном способе записи УП символ табуляции ГТ должен предшествовать адресу слова. При записи УП используют алфавитно-цифровой набор по ГОСТ 13052—74.

Кодовые дорожки 1 на перфоленте нумеруются последовательно с 1-й по 8-ю, начиная с базовой кромки 2 (рис. 19.3). Базовая кромка 2 — это край перфоленты, от которого начинается нумерация дорожек. Между базовой кромкой и ведущей дорожкой 3, имеющей транспортные отверстия малого диаметра (1,17 мм), расположены

три кодовые дорожки. На перфолентах (по ГОСТ 13052—74) используют 7-битный код (бит — единица информации, соответствующая на перфоленте одному отверстию). Разряды 7-битного кода имеют номера с 1-го по 7-й, восьмой проверочный бит используется для обнаружения ошибок в каждой строке. Каждая строка должна содержать только одну кодовую информацию с соответствующим знаком четности. Знак четности выбирается таким, чтобы в каждой строке число двоичных единиц было бы четным. Семиразрядный код позволяет кодировать 128 символов. Расположение пробивок на перфоленте некоторых адресов, цифр, управляющих символов и специальных знаков представлено на рис. 19.4. В этом коде, основанном на международной системе кодирования информации, приняты следующие основные рекомендации по применению букв, сокращенных слов и знаков:

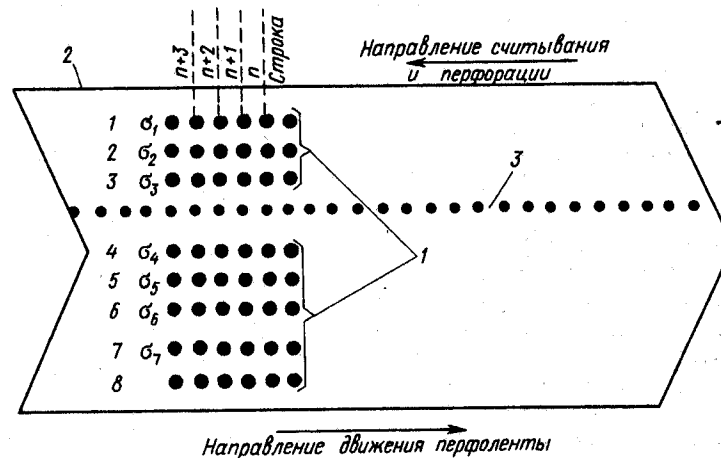


Рис. 19.3. Схема дорожек на перфоленте

$A, B$  или  $C$  — вращение вокруг осей  $X, Y$  или  $Z$  или осей, параллельных им;  $I, J, K$  — начальные координаты соответственно по осям  $X, Y, Z$  центра дуги при круговой интерполяции;  $X, Y, Z$  — перемещение по координатным осям; «←» и «→» — направление перемещения;  $U, V, W$  — вторичное перемещение параллельно осям  $X, Y, Z$ ;  $P, Q, R$  — третичное перемещение (или ускоренный ход) параллельно осям  $X, Y, Z$ ;  $T$  — номер инструмента;  $S$  — скорость главного движения, частота вращения шпинделя;  $F$  — подача;  $G$  — подготовительная функция, определяющая режим работы ЧПУ;  $M$  — вспомогательная функция, осуществляющая специальные технологические команды; % — начало программы;  $LF$  — конец кадра. Например, перемещение в положительном направлении вдоль оси  $X$  на величину 80 мм (при цене дискреты 0,01 мм — 8000 дискрет) и в отрицательном направлении по оси  $Y$  на величину 60 мм со скоростью подачи 60 мм/мин в закодированном виде включает номер кадра (адрес  $N$ ),

Кодовая таблица		ISO 7-bit																		
Значение	Символ	Сочетание отверстий	№ бита (P-контрольный бит)																	
			P	7	6	5	4	3	2	1										
Отсутствие отверстий	ПВС																			
Шаг назад	ВШ	•																		
Таблицы	ГТ																			
Конец кадра. Смена строки	LF																			
Возврат каретки	ВК	•																		
Интервал	Пробел	•																		
Начало примечания	(																			
Конец примечания	)																			
Начало программы, остановка перематки	%	•																		
Главный кадр	:																			
Пропуск кадра	/																			
Знак плюс	+																			
Знак минус	-																			
Цифра 0	0																			
Цифра 1	1																			
Цифра 2	2																			
Цифра 3	3																			
Цифра 4	4																			
Цифра 5	5																			
Цифра 6	6																			
Цифра 7	7																			
Цифра 8	8																			
Цифра 9	9																			
Вращательное движение вокруг оси X	A																			
Вращательное движение вокруг оси Y	B																			
Вращательное движение вокруг оси Z	C																			
Вращательное движение вокруг любой оси	D																			
2-я подача и пр.	E																			
Подача, выдержка времени	F																			
Путевое условие	G																			
Вспомогательная функция	H																			
Параметр интерполяции по оси X	I																			
Параметр интерполяции по оси Y	J																			
Параметр интерполяции по оси Z	K																			
Подпрограммы на перфоленте	L																			
Вспомогательная функция	M																			
Номер кадра	N																			
Не используется	O																			
3-е перемещение, параллельное X	P																			
Приращение глубины и прочее	Q																			
Ускоренный ход в направлении Z и пр.	R																			
Частота вращения шпинделя	S																			
Номер инструмента	T																			
2-е перемещение, параллельное X	U																			
2-е перемещение, параллельное Y	V																			
2-е перемещение, параллельное Z	W																			
Перемещение по X	X																			
Перемещение по Y	Y																			
Перемещение по Z	Z																			
Ташение	ЗБ																			

Рис. 19.4. Код ISO - 7 bit на восьмидорожечной перфоленте

прямолинейный режим движения при подаче (код функции G01); команду подачи (код F06) и записывается в следующей форме: N001 G01 X+008000Y-00600 F0660 LF.

Подготовку управляющей программы проводят вручную либо с использованием вспомогательной аппаратуры или ЭВМ. При ручном составлении УП требуется для каждого этапа выполнить расчет координат опорных точек, выбрать инструмент и режимы резания на основании изучения чертежа детали и заготовки, анализа маршрутной технологии обработки, паспорта станка, каталогов режущего, мерительного и вспомогательного инструмента, приспособлений и мест крепления заготовок. Эти операции требуют времени, большого внимания и опыта. Поэтому в программах, составленных вручную, встречаются неточности и ошибки.

Вспомогательные устройства и ЭВМ значительно облегчают процесс программирования, повышают его надежность, снижают время и затраты на подготовку УП для станков с ЧПУ.

### 19.3. ШЛИФОВАЛЬНЫЕ СТАНКИ С ЧПУ

Преимущества шлифовальных станков с ЧПУ особенно проявляются в условиях мелкосерийного и единичного производства, когда обрабатываются детали со многими переходами (например, при обработке ступенчатых валов), когда требуется переналадка станка при обработке тяжелых деталей, установка которых производится с применением подъемных устройств. Например, при обработке вала с шестью шейками (диаметром 40, 50, 70 и 180 мм и массой 60 кг) экономия времени при использовании станка с ЧПУ вместо обычного станка составила 34%.

В круглошлифовальных станках, построенных по модульному принципу, при обработке ступенчатых валов в единичном и мелкосерийном производствах системы ЧПУ обеспечивают управление по пяти координатам X, Y, Z, U, W (рис. 19.5), по частоте вращения заготовки, шлифованием торцов, автоматической правкой и компенсацией износа шлифовального круга, автоматическим завершением цикла при достижении заданных размеров, контролируемых датчиками. Ввод исходных данных производят с помощью клавиатуры на пульте или перфолентах. На рис. 19.6 показаны схемы управляемых перемещений при правке рабочей поверхности кругов на круглошлифовальном (рис. 19.6, а) и плоскошлифоваль-

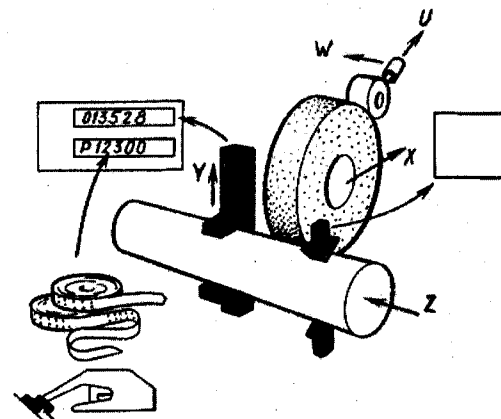


Рис. 19.5. Координаты, управляемые от ЧПУ в круглошлифовальном станке

ном (рис. 19.6, б, в) станках. При наружном шлифовании гладких и прерывистых валов с несколькими ступенями в условиях мелкосерийного производства используют круглошлифовальный полуавтомат повышенной точности мод. 3М151Ф2, оснащенный широкодиапазонным измерительным прибором активного контроля и позиционной системой программного управления типа Ф2. Производительность на

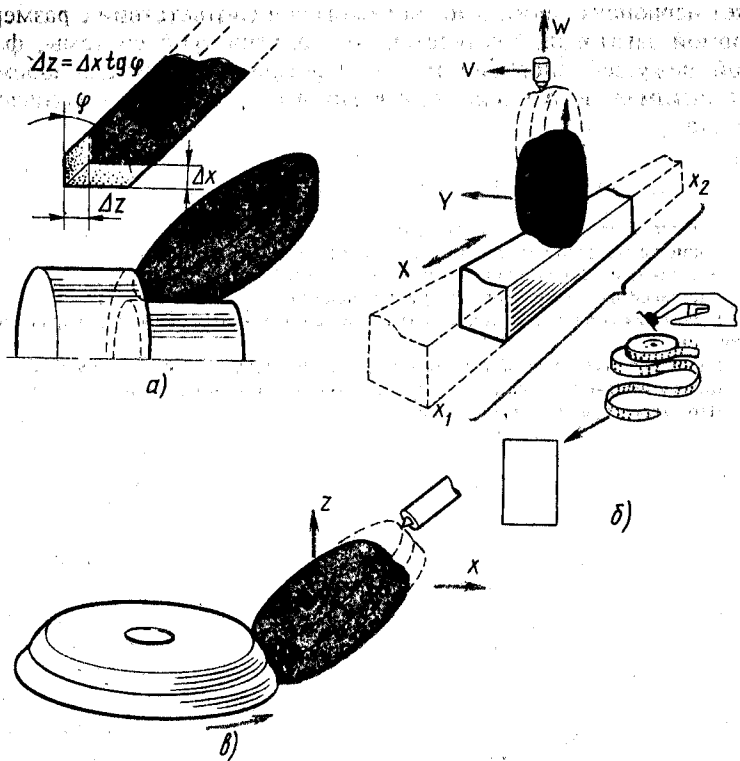


Рис. 19.6 Схемы перемещений при правке кругов на круглошлифовальном (а) и плоскошлифовальном (б, в) станках

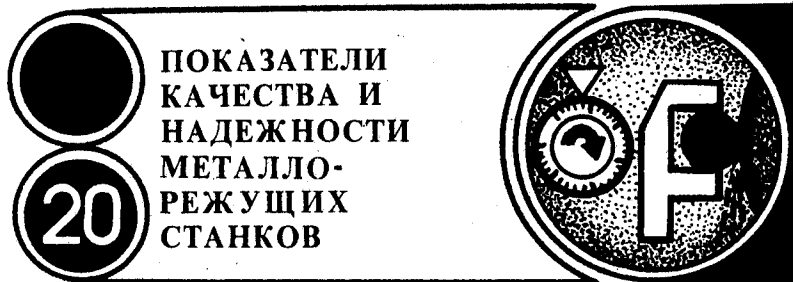
этом станке в 1,5–2,5 раза выше, чем на базовом станке мод. 3М152 без ЧПУ. Размеры шлифуемых деталей: диаметр до 200 мм; длина до 700 мм; дискретность подачи 0,001 мм; диапазон подач 0,02–1,2 мм/мин; скорость резания до 50 м/с; мощность 10 кВт. Станок обеспечивает 6-й квалитет точности диаметров, параметр  $Ra$  шероховатости на цилиндрических поверхностях 0,32 мкм, на торцовых поверхностях 1,25 мкм. Число программируемых шеек вала — 8; число координат — 3, но одновременно — по 1 координате. Ввод программы производится декадными переключателями.

Станок мод. 3М151Ф2 выпускается в комплекте с устройством ЧПУ с адаптацией на базе малой ЭВМ 15ВСМ5 и двух цифровых

вольтметров, используемых в режиме аналого-цифрового преобразователя. Информацию о процессе получают от широкодиапазонного прибора активного контроля, измерительного преобразователя мощности главного привода для определения момента касания круга с заготовкой при подходе на форсированной подаче, измерительных преобразователей положения стола и положения шлифовальной бабки. Наличие ЭВМ позволяет обеспечивать адаптивное управление за счет первоначального выбора режимов в соответствии с размерами и формой заготовки, жесткостью технологической системы, фактической режущей способностью шлифовального круга и формирования оптимального цикла шлифования с разбиением фактического припуска.

#### Контрольные вопросы

1. Что такое программное управление?
2. Какие устройства содержит система программного управления?
3. Что такое цикловое программное управление?
4. Что такое числовое программное управление?
5. В чем заключается отличие замкнутой системы программного управления от разомкнутой?
6. Как переводят число из десятичной системы счисления в двоичную?
7. Как записывают числа с помощью двоично-десятичного кода?
8. Что такое управляющая программа?



## ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ МЕТАЛЛО- РЕЖУЩИХ СТАНКОВ

### 20.1. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

Любое изделие, любая продукция обладает целым комплексом объективных особенностей, которые проявляются при эксплуатации или потреблении этого изделия. Эти особенности называют *свойствами продукции*. Совокупность свойств продукции, удовлетворяющих определенным потребностям в соответствии с ее назначением, называют *качеством продукции*.

Количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, составляющих ее качество, рассматриваемая применительно к определенным условиям ее изготовления и эксплуатации или потребления, называется *показателем качества продукции*. Показатель качества продукции (ПКП), характеризующий одно из ее свойств, называют *единичным ПКП*, а характеризующий несколько ее свойств называют *комплексным ПКП*.

Показатель качества продукции, по которому принимают решение оценивать ее качество, называют *определяющим ПКП*.

Определяющими ПКП станка, оценивающими его возможную область применения, являются технические показатели (технические условия). К ним в первую очередь относятся следующие показатели: технологические возможности станка, т. е. размеры, форма и материал заготовок, которые могут на нем обрабатываться; точность обработки; производительность; экономические и эксплуатационные показатели (стоимость изготовления и эксплуатации, ремонтпригодность, занимаемая площадь, металлоемкость, энергоемкость, безопасность работы и т. п.).

Показатели качества определяют различными методами. При измерительном методе значения показателей осуществляют на основе технических средств измерения. При экспертном методе значения показателей качества определяются на основе заключения экспертов, а при социологическом методе — на основе сбора и анализа мнений ее потребителей (фактических или возможных). Используют также расчетный и другие методы определения ПКП.

При оценке качества станка выполняют ряд операций, включающих выбор показателей качества, определение значений этих показателей и сопоставление их с базовыми, принятыми за основу при сравнительной оценке ее качества. При этом выявляются:

годная продукция — продукция, удовлетворяющая всем установленным требованиям;

дефекты — каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям (явные, скрытые, критические, значительные, малозначительные, устранимые, неустраняемые дефекты);

брак — продукция, передача которой потребителю не допускается из-за наличия дефектов; брак может быть исправимым и неисправимым.

Градация продукции определенного вида по одному или нескольким показателям качества называется ее *сортом*, а если ее устанавливают при государственной аттестации — то *категорией* качества продукции. Действия, осуществляемые при изготовлении и эксплуатации или потреблении продукции в целях установления, обеспечения и поддержания необходимого уровня ее качества, называют *управлением качеством продукции*.

В нашей стране создана система управления качеством продукции, представляющая совокупность управляющих органов и объектов управления, взаимодействующих с помощью материально-технических и информационных средств.

Для планомерного повышения качества и своевременного внедрения научно-технических достижений используется государственная аттестация продукции и осуществляется государственный надзор за качеством продукции. Основными задачами аттестации промышленной продукции являются увеличение объемов производства продукции, соответствующей лучшим отечественным и мировым достижениям или превосходящей их.

Продукцию машиностроительных предприятий делят на две категории — высшую и первую.

К первой категории качества относится продукция, показатели которой соответствуют современным требованиям стандартов и технических условий и которая удовлетворяет потребностям народного хозяйства и населения страны.

К высшей категории качества относят продукцию со стабильными показателями качества, которые соответствуют лучшим отечественным или мировым достижениям или превосходят их. Продукция высшей категории качества учитывает требования международных стандартов, конкурентноспособна на внешнем рынке, обеспечивает экономическую эффективность, удовлетворяет потребности народного хозяйства и населения страны.

Продукции высшей категории качества присваивается государственный Знак качества.

### 20.2. НАДЕЖНОСТЬ ИЗДЕЛИЙ И ЕЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Эффективное использование станка в пределах, заданных его техническими условиями, в значительной мере определяется его надежностью, которая закладывается в конструкции при проектировании и изготовлении и реализуется при эксплуатации.

Состояние изделия, при котором оно способно выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах,

установленных нормативно-технической документацией, называется *работоспособностью*.

Свойство изделия сохранять работоспособность в течение требуемого времени или требуемой наработки называется *надежностью*. К показателям надежности относят: безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость.

*Отказом* называется неисправность, без устранения которой невозможно дальнейшее выполнение машиной (станком) всех или хотя бы одной из основных ее функций. Различают отказы полные, частичные, катастрофические, внезапные, постепенные, параметрические и др. При возникновении полного отказа невозможно использовать машину до устранения причины отказа. При частичном отказе ухудшается работа одного или нескольких элементов (частей, узлов) машины. При катастрофическом отказе происходит полное нарушение работоспособности. При параметрическом отказе ухудшаются показатели качества функционирования изделия (например, потеря станком точности). Свойство машины выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки в конкретных условиях и режимах эксплуатации этой машины, называется *безотказностью*. За показатели безотказности принимают среднюю наработку до первого отказа, наработку на отказ, гарантийную наработку, вероятность безотказной работы в течение определенного промежутка времени.

*Долговечность* машины характеризует свойство ее сохраняться в течение срока службы с учетом физического и морального износа до разрушения или другого предельного состояния, связанного, например, с первым капитальным ремонтом, модернизацией или списанием. Показателями долговечности являются ресурс, средний срок службы, срок службы до первого капитального ремонта, межремонтный срок службы, срок службы до списания и т. п. Под *ресурсом* понимают сумму интервалов времени безотказной работы изделия за период эксплуатации до разрушения или другого предельного состояния. *Срок службы* — это календарная продолжительность эксплуатации изделия до разрушения или другого предельного состояния. *Гарантийный срок службы* — это календарная продолжительность эксплуатации изделия, в течение которой завод-изготовитель гарантирует исправность и несет материальную ответственность за возникновение неисправности при условии соблюдения правил эксплуатации изделия.

*Ремонтпригодность* — свойство машины, заключающееся в ее приспособленности к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей путем проведения технического обслуживания и ремонтов. К показателям ремонтпригодности относятся средняя трудоемкость ремонтов и т. п.

*Сохраняемость* — свойство машины сохранять обусловленные эксплуатационные показатели в течение срока службы и после срока хранения и транспортирования, установленного в технической документации.

### 20.3. ИЗНОС ДЕТАЛЕЙ И ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ МАШИН

Процесс постоянного изменения размеров тела при трении, проявляющийся в отделении поверхностного слоя материала и его остаточной деформации, называют *изнашиванием*. Результатом изнашивания является *износ*, который проявляется в изменении формы, размеров и состояния рабочих поверхностей деталей. При определенной величине износа наступает существенное, а иногда и резкое ухудшение эксплуатационных качеств деталей, узлов и механизмов машины.

При плохом уходе за станком (машиной), несоблюдении режима смазки, значительной перегрузке, несвоевременном техническом обслуживании и ремонте износ быстро нарастает и в течение короткого промежутка времени может достигнуть таких значений, при которых дальнейшая работа станка становится невозможной. Восстановление машины и оборудования после такого износа связано со значительными затратами времени, средств и материалов. Для ряда деталей станка устанавливают предельно допустимый износ.

Все виды изнашивания разделяют на следующие основные группы: механическое, молекулярно-механическое, коррозионно-механическое. При механическом изнашивании происходит либо абразивное микрорезание частицами, разрушающими поверхность за счет резания и царапания с отделением стружки (абразивное изнашивание), либо усталостное изнашивание, при котором вследствие циклического воздействия на микровыступы поверхностей происходит наклеп поверхностного слоя, который становится хрупким и разрушается с отделением частиц.

Молекулярно-механическое изнашивание — это изнашивание под воздействием молекулярных и атомарных сил в процессе механического взаимодействия микровыступов.

При коррозионно-механическом изнашивании наблюдается химическое взаимодействие со средой. Проявление износа в машинах сопровождается глухим стуком в местах сопряжения поверхностей; шумом в зубчатых передачах; толчками, которые ощущаются при изменении направления движения; следами дробления на обработанной поверхности; повышенным нагревом трущихся поверхностей; изменением характера издаваемого подшипниками шума; появлением на поверхностях трения царапин, бороздок и забоин.

Для уменьшения износа и повышения долговечности оборудования необходимо: использовать машины в соответствии с их назначением и техническими характеристиками; строго и своевременно выполнять инструкции по смазыванию трущихся поверхностей, чистке механизмов и деталей, уборке машин; использовать для смазки сорта масел установленных марок; своевременно проводить техническое обслуживание и профилактический ремонт оборудования; наносить износостойкие покрытия на изнашивающиеся поверх-

ности; повышать твердость рабочих поверхностей упрочнением различными технологическими способами; обеспечивать хорошую подачу смазки в зоны трения.

#### 20.4. ПРОВЕРКА СТАНКОВ ПО НОРМАМ ТОЧНОСТИ

К основным показателям точности станка относятся: 1) геометрическая точность баз для установки заготовки и инструмента; 2) геометрическая точность траектории перемещений рабочих органов станка, несущих заготовку и инструмент; 3) точность расположения осей вращения и направления прямолинейных перемещений рабочих органов станка, несущих заготовку и инструмент; 4) точность взаимосвязанных относительных перемещений рабочих органов станка, а также делительных и установочных перемещений рабочих органов станка; 5) точность координатных перемещений (позиционирования) рабочих органов станка, несущих заготовку и инструмент; 6) стабильность некоторых параметров точности при повторных испытаниях; 7) точность геометрической формы и расположения обработанных поверхностей изделия или образца; 8) шероховатость обработанных поверхностей изделия или образца.

Первые три пункта относятся к геометрической точности станка. Следующий пункт определяет кинематическую точность станка. Кинематические погрешности в основном обусловлены точностью изготовления конечных звеньев кинематических цепей. На точность позиционирования влияет большое число факторов, а на погрешность формы и взаимного расположения обработанных поверхностей и их шероховатость влияет весь комплекс погрешностей, перечисленных выше. При определении точностных характеристик станка очень важны условия их испытаний на точность, которые также нормируются. К основным условиям испытаний относятся: разогрев станка до определенной температуры (рабочей); расположение измерительных приборов; способ и число измерений.

Проверку станков и оборудования по нормам геометрической точности проводят с использованием уровней для проверки правильности установки горизонтальных и вертикальных поверхностей станка; с помощью контрольных линеек, угольников и щупов при контроле прямолинейности, перпендикулярности и плоскостности поверхностей; с помощью оправок и индикаторов при контроле биений и суммарных отклонений формы и расположения; с использованием специальных приборов при контроле особо точных станков.

#### 20.5. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ОТКАЗОВ СТАНКОВ

Техническое диагностирование заключается в определении работоспособности, установлении видов брака, причин и поиска неисправностей без разборки или с частичной разборкой оборудования и без ухудшения качества выпускаемой продукции и в прогнозировании технического состояния и периода безотказной работы оборудования.

Для получения диагностической информации проводят измерения вибраций, акустических колебаний, постоянных и переменных деформаций, параметров процесса обработки и рабочих циклов, постоянных и переменных составляющих силы резания, температуры инструмента и заготовки, качества поверхностного слоя на заготовках после обработки или в процессе обработки. Иногда применяют сложные методы диагностирования с использованием специальной аппаратуры и различных преобразователей, сигналы от которых поступают в измерительные и регистрирующие, а также в управляющие устройства. Полученные параметры обычно сравнивают с техническими условиями и при отклонении выявляют причину отказа с указанием элемента, ответственного за подобный отказ.

В зависимости от объема диагностической информации можно указать не только место и причину отказа, но выявить и время отказа при использовании автоматических средств диагностирования.

Автоматические диагностические устройства разделяются по назначению на информационные и на защитно-предохранительные. Диагностическая информация в таких системах обычно выводится на табло. Диагностирование проводят не только в период эксплуатации оборудования, но и в периоды наладки оборудования и в периоды плановых ремонтов.

#### 20.6. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Система технического обслуживания (ТО) имеет целью обеспечить нормальную работоспособность оборудования в течение всего срока службы, предотвратить или свести к минимуму его простой.

По системе ТО проводят следующие мероприятия: техническую подготовку к работе; уборку стружки; чистку оборудования; снабжение инструментом, технологической оснасткой, маслами, смазочно-охлаждающей жидкостью, заготовками; ежедневное смазывание станка и доливку СОЖ; выявление и предупреждение неисправностей; замену или восстановление отказавших деталей и сборочных единиц для устранения отказов.

Техническое обслуживание является планируемым мероприятием, позволяющим уменьшить число отказов оборудования, увеличить его долговечность и снизить производственные затраты за счет активного наблюдения за работой станков, предупредительных мероприятий и восстановления работоспособности отказавших элементов.

#### 20.7. СИСТЕМА ПЛАНОВО-ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Комплекс операций по восстановлению работоспособности станков и оборудования называется *ремонт*.

Ремонт по потребности — это восстановление работоспособности оборудования из-за резкого непредвиденного ухудшения его технического состояния или внезапного отказа.

Система рациональной эксплуатации технологического оборудования машиностроительных предприятий предусматривает проведение ремонтов в плановом порядке с целью предупреждения неожиданного выхода из строя оборудования из-за резкого ухудшения его технического состояния. Такая система ремонта называется планово-предупредительным ремонтом (ППР). Она предусматривает проведение определенных организационно-технических мероприятий, обеспечивающих восстановление или работоспособность оборудования в заранее назначенные сроки. Система ППР предусматривает техническое обслуживание и плановые текущий, средний и капитальный ремонты.

Текущий ремонт — это такой ремонт, который осуществляют для обеспечения или восстановления работоспособности изделия и который состоит в замене и восстановлении отдельных деталей и узлов.

Средний ремонт — это ремонт, выполняемый для восстановления исправности и частичного восстановления ресурса изделия с заменой или восстановлением составных частей ограниченной номенклатуры и контролем технического состояния составных частей, выполняемым в полном объеме, установленном нормативно-технической документацией.

Капитальный ремонт — это ремонт, выполняемый для восстановления исправности и полного (или близкого к полному) восстановления ресурса изделия с заменой любых его частей, включая базовые элементы.

Методы ремонта зависят от масштабов производства и организации службы ремонта. В условиях специализированных ремонтных заводов и цехов применяют либо поточный, либо агрегатный метод ремонта. В последнем случае неисправные агрегаты заменяют новыми или обезличенными, заранее отремонтированными агрегатами.

Поддержание работоспособности оборудования между плановыми ремонтами обеспечивается техническим обслуживанием: плановыми осмотрами и проверками с устранением обнаруженных дефектов, смазочными работами, дежурным обслуживанием при отказах, авариях и поломках.

#### Контрольные работы

1. Какие методы используют для определения показателей качества продукции?
2. Что называют работоспособностью изделия?
3. Какими показателями оценивают надежность изделия?
4. Назовите основные виды изнашивания.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Около 80% шлифовальных станков, работающих в отечественном машиностроении, имеют ручное управление. Измерения заготовок проводятся после окончания обработки измерительными устройствами типа микрометров, скоб, шаблонов. При этом время, затрачиваемое на измерение, в 7—16 раз превосходит время обработки. Анализ структуры затрат рабочего времени на шлифовальных станках показывает, что в условиях мелкосерийного производства чистое время резания составляет около 40%, а в условиях крупносерийного производства — 60%. Поэтому развитие абразивной обработки идет по пути повышения уровня автоматизации шлифовальных станков; повышения производительности и точности обработки; совершенствования конструкции абразивных инструментов; повышения качества абразивных материалов.

При автоматизации шлифовальных станков сокращение вспомогательного времени достигается за счет следующих основных мероприятий: автоматизации загрузки, установки и снятия деталей; автоматизации процесса смены инструментов; применения активного контроля заготовок в процессе шлифования; увеличения скоростей установочных перемещений; автоматизации процесса правки и совершенствования правящих инструментов; автоматической компенсации погрешностей обработки и правки.

Сократить время, затрачиваемое на наладку станка, можно путем автоматизированной наладки станков с ЧПУ с помощью замены управляющих программ; применения электронных устройств для наладки и автоматизации установочных перемещений; подготовки кругов вне станка и использования специальных устройств для их автоматической балансировки на станке, а также других мероприятий.

Повышение производительности обработки и сокращение основного времени на шлифовальных станках достигается за счет совершенствования циклов шлифования, повышения мощности привода главного движения станка, скоростей резания и подачи, автоматизации цикла шлифования. Как следствие, становится необходимым повышение жесткости и виброустойчивости станков.

Для повышения производительности шлифовальной обработки используются способы многокруговой, совмещенной и многопозиционной обработки. Широкое применение совмещенного многокругового



очередными задачами в области абразивной обработки являются: создание шлифовальных станков с ЧПУ, разработка и совершенствование устройств ЧПУ специально для шлифовальных станков; создание гибких шлифовальных модулей, шлифовальных роботов, а также промышленных роботов для обслуживания шлифовальных станков. В общем виде гибкий станочный модуль — это автоматический металлорежущий станок, оснащенный устройствами ЧПУ и средствами автоматизации технологических процессов, способный работать автономно, многократно осуществляющий циклы обработки, имеющий возможность встраиваться в гибкие системы и автоматически перенастраиваться. Шлифовальный модуль — это автоматический шлифовальный станок, обладающий всеми перечисленными качествами.

У нас в стране и за рубежом уже создаются гибкие шлифовальные модули, работающие автоматически в две и более смены. Они оснащены устройствами автоматической смены деталей и шлифовальных кругов, правки и диагностирования.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	5
<b>1. Шлифование и его технологические особенности . . . . .</b>	<b>7</b>
1.1. Виды шлифования . . . . .	7
1.2. Первоначальные сведения о шлифовальном станке . . . . .	12
1.3. Ознакомление с основными узлами станка . . . . .	16
1.4. Абразивный инструмент . . . . .	20
1.5. Подготовка абразивного инструмента к работе . . . . .	22
1.6. Понятие об организации рабочего места, техническом обслуживании станка и его наладке . . . . .	24
<b>2. Механизмы и детали машин . . . . .</b>	<b>26</b>
2.1. Основные понятия . . . . .	26
2.2. Подшипники скольжения и качения . . . . .	29
2.3. Валы, оси, муфты и передачи . . . . .	32
<b>3. Узлы и механизмы шлифовальных и заточных станков . . . . .</b>	<b>39</b>
3.1. Основные узлы и механизмы станка . . . . .	39
3.2. Станина и направляющие . . . . .	39
3.3. Шлифовальная бабка . . . . .	43
3.4. Механизмы движения подачи . . . . .	47
3.5. Передняя и задняя бабки . . . . .	48
<b>4. Общие сведения о технологическом процессе и технологической документации . . . . .</b>	<b>50</b>
4.1. Основные понятия о технологической подготовке производства . . . . .	50
4.2. Технологический процесс . . . . .	51
4.3. Технологические документы . . . . .	53
4.4. Технологические базы . . . . .	54
4.5. Припуски на обработку резанием . . . . .	59
4.6. Точность обработки . . . . .	59
4.7. Шероховатость и волнистость поверхности . . . . .	66
4.8. Технологичность конструкций . . . . .	69
<b>5. Круглое наружное шлифование . . . . .</b>	<b>71</b>
5.1. Технологические особенности . . . . .	71
5.2. Режимы шлифования . . . . .	73
5.3. Установка и крепление заготовок на станке . . . . .	80
5.4. Конструктивные особенности и кинематика круглошлифовальных станков . . . . .	86
5.5. Подготовка круглошлифовального станка к работе . . . . .	94
<b>6. Круглое внутреннее шлифование . . . . .</b>	<b>98</b>
6.1. Технологические особенности . . . . .	98

6.2. Режимы шлифования	99
6.3. Установка и крепление заготовок на станке	101
6.4. Конструктивные особенности и кинематика внутришлифовальных станков	106
6.5. Подготовка станка к работе	109
<b>7. Плоское шлифование</b>	111
7.1. Технологические особенности	111
7.2. Режимы шлифования	112
7.3. Установка и закрепление заготовок на станке	113
7.4. Конструктивные особенности и кинематика шлифовальных станков	115
7.5. Подготовка станка к работе	120
<b>8. Бесцентровое круглое наружное шлифование</b>	121
8.1. Технологические особенности	121
8.2. Режимы обработки	122
8.3. Установка и базирование заготовок на бесцентрово-шлифовальных станках	126
8.4. Конструктивные особенности и кнематика бесцентрово-шлифовальных станков	129
8.5. Подготовка к работе бесцентрово-шлифовальных станков	133
<b>9. Профильное шлифование</b>	136
9.1. Технологические особенности	136
9.2. Правка рабочей поверхности шлифовальных кругов	142
9.3. Профилишлифовальные станки	146
<b>10. Шлифование на специализированных станках</b>	149
10.1. Специализированные шлифовальные станки	149
10.2. Шлифование колец подшипников качения	149
10.3. Совмещенное шлифование разобренных поверхностей валов	153
10.4. Шлифование кулачков	155
<b>11. Активный контроль при шлифовании</b>	158
11.1. Основные схемы активного контроля	158
11.2. Приборы, используемые для активного контроля	160
11.3. Активный контроль при круглом шлифовании	165
11.4. Активный контроль при внутреннем шлифовании	167
11.5. Активный контроль на бесцентрово-шлифовальных и плоскошлифовальных станках	170
<b>12. Основы резания материалов абразивными инструментами</b>	174
12.1. Основные схемы взаимодействия абразивного зерна с заготовкой	174
12.2. Рабочая поверхность абразивного инструмента	175
12.3. Образование поверхности при абразивной обработке	179
12.4. Силы резания, работа и мощность при шлифовании	181
12.5. Тепловые явления и охлаждение при шлифовании	182
12.6. Износ рабочей поверхности круга при шлифовании и правка круга	185
12.7. Балансировка шлифовальных кругов	190
<b>13. Шлифовальные круги и выбор их характеристики</b>	192
13.1. Геометрическая форма и размеры абразивных инструментов	192
13.2. Абразивные материалы	197
13.3. Зернистость шлифовальных материалов и инструментов	203
13.4. Структура абразивного инструмента	206
13.5. Связка абразивных инструментов	209
13.6. Твердость абразивных инструментов	213
13.7. Классы точности абразивных инструментов	217
13.8. Классы неуравновешенности шлифовальных кругов	217
13.9. Маркировка шлифовальных кругов	218

<b>14. Заточка лезвийного режущего инструмента</b>	223
14.1. Кинематические характеристики резания	223
14.2. Геометрические и конструктивные элементы режущих инструментов	223
14.3. Назначение заточки и доводки режущего инструмента	226
14.4. Заточка резцов	230
14.5. Заточка сверл	250
14.6. Заточка зенкеров и разверток	264
14.7. Заточка фрез	274
14.8. Заточка метчиков и плашек	290
14.9. Заточка протяжек	295
14.10. Заточка зуборезного инструмента	304
14.11. Заточка инструментов, оснащенных поликристаллами сверхтвердых материалов	314
<b>15. Электропривод и электрооборудование</b>	316
15.1. Назначение и виды электроприводов	316
15.2. Устройство электродвигателя	317
15.3. Аппаратура управления и защиты	320
15.4. Электроприводы шлифовальных станков	323
<b>16. Гидрооборудование станков</b>	325
16.1. Гидропривод и принцип его работы	325
16.2. Основные элементы гидропривода и их условные обозначения на схемах	326
16.3. Насосы и насосные установки	332
16.4. Гидродвигатели	334
16.5. Гидроприводы шлифовальных станков	336
<b>17. Наладка шлифовальных станков</b>	341
17.1. Основные понятия и определения	341
17.2. Способы наладки шлифовальных станков	342
17.3. Наладка гидравлической и пневматической систем станков	344
<b>18. Автоматизация шлифовальных станков</b>	348
18.1. Основные понятия	348
18.2. Автооператоры, манипуляторы и промышленные роботы	348
18.3. Устройства для автоматической загрузки и выгрузки заготовок на шлифовальных станках	353
<b>19. Программное управление</b>	359
19.1. Система управления станками	359
19.2. Сведения о программировании	362
19.3. Шлифовальные станки с ЧПУ	367
<b>20. Показатели качества и надежности металлорежущих станков</b>	370
20.1. Система управления качеством продукции	370
20.2. Надежность изделий и ее показатели	371
20.3. Износ деталей и повышение долговечности машин	373
20.4. Проверка станков по нормам точности	374
20.5. Диагностирование отказов станков	374
20.6. Техническое обслуживание станочного оборудования	375
20.7. Система планово-предупредительных работ	375
Заключение	377