

5. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

5.1. Физические основы обработки металлов резанием

5.1.1. Кинематика резания

Обработка металлов резанием – это процесс срезания режущим инструментом с поверхности заготовки слоя металла в виде стружки для получения необходимой геометрической формы, точности размеров, взаиморасположения и шероховатости поверхностей детали. Чтобы срезать с заготовки слой металла, необходимо режущему инструменту и заготовке сообщить относительные движения. Поэтому инструмент и заготовку устанавливают и закрепляют в рабочих органах станков, которые обеспечивают эти относительные движения: в шпинделе, на столе, в револьверной головке, в инструментальном магазине. Движения рабочих органов станков делят на движения резания, установочные и вспомогательные. Движения, которые вызывают срезание с заготовки слоя металла, называют *движениями резания*. К ним относят главное движение резания D_r и движение подачи D_s . *Главное движение* определяет скорость деформирования и отделения стружки, а *движение подачи* обеспечивает непрерывность врезания режущей кромки инструмента в материал заготовки. Эти движения могут быть непрерывными, прерывистыми, вращательными, поступательными, однако главное движение всегда одно, а движений подачи может быть несколько. Скорость главного движения резания обозначают V , скорость движения подачи – V_s . Движения, обеспечивающие взаимное положение инструмента и заготовки для срезания с неё заданного слоя материала, называют *установочными*. К *вспомогательным движениям* относят закрепление заготовки и инструмента, быстрое перемещение рабочих органов станка, переключение скоростей движений резания, транспортирование заготовки и т. д.

Формообразование поверхности заготовки резанием представляется схемой обработки, на которой условно изображают обрабатываемую заготовку, её установку и закрепление на станке, закрепление и положение инструмента относительно заготовки, а также движения резания и их характер, например, вращательное, возвратно-поступательное (рис. 5.1). Способ закрепления заготовки показывают полуконструктивно или условными знаками. При резании на заготовке различают *обрабатываемую поверхность*, с которой срезается припуск; *обработанную поверхность*, с которой припуск срезан; и *поверхность резания*, образуемую в процессе обработки главной режущей кромкой инструмента.

5.1.2. Методы формообразования поверхностей

Пространственную форму детали определяет сочетание различных геометрических поверхностей: плоских, круговых цилиндрических и конических, шаровых, торовых и т. д. Любая геометрическая поверхность пред-

ставляет собой совокупность последовательных положений следов одной производящей линии, называемой *образующей*, которая движется по другой производящей линии, называемой *направляющей*. Так, для образования круговой цилиндрической поверхности необходимо прямую линию (образующую) перемещать по окружности (направляющей).

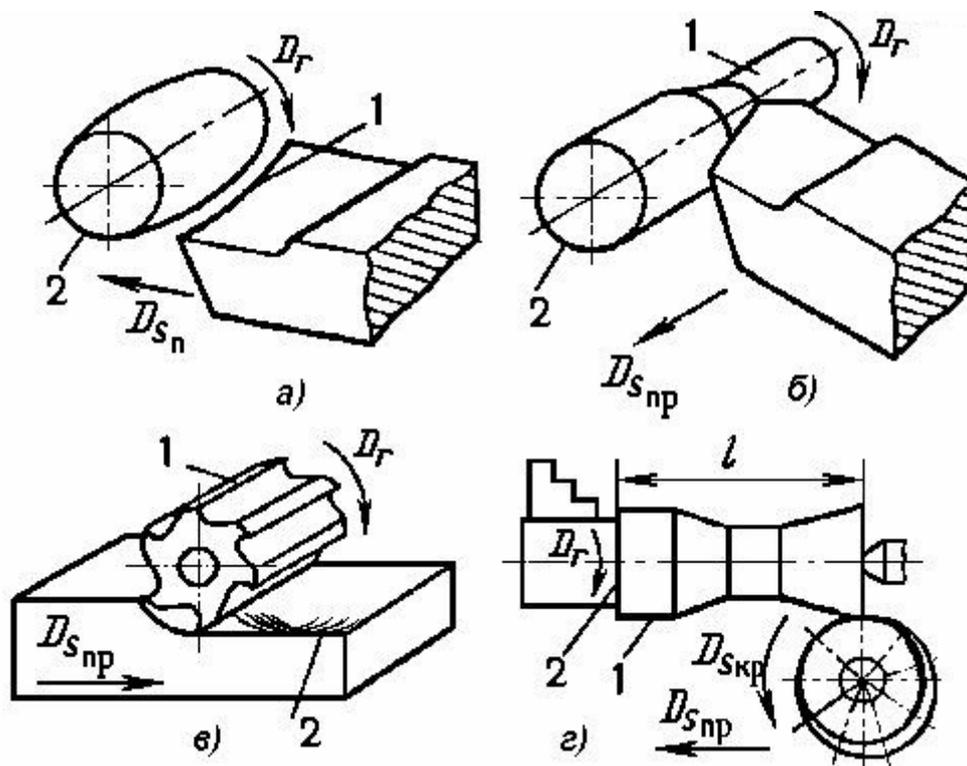


Рис. 5.1. Схемы формообразования поверхностей заготовок

При обработке заготовок на металлорежущих станках образующие и направляющие линии в большинстве случаев в явном виде отсутствуют. Они воспроизводятся комбинацией движений заготовки и инструмента, скорости которых строго согласованы. Движения резания являются формообразующими. При обработке резанием заготовок деталей машин реализуется четыре метода формообразования поверхностей: копирования, следов, касания и обкатки.

При образовании поверхностей **методом копирования** режущая кромка инструмента является реальной образующей линией 1 (рис. 5.1, а). Направляющая линия 2 воспроизводится вращением заготовки. Формообразующим является главное движение резания. Движение подачи необходимо для получения геометрической поверхности заданного размера.

При образовании поверхностей по **методу следов** образующая линия 1 является траекторией движения вершины инструмента, а направляющая линия 2 воспроизводится вращением заготовки (рис. 5.1, б). Формообразующими являются движения резания.

При образовании поверхностей по **методу касания** образующей линией 1 является режущая кромка инструмента (рис. 5.1, в), а направляющей линией 2 служит касательная к ряду вспомогательных линий – траекториям точек режущей кромки инструмента. Формообразующим является движение подачи.

При образовании поверхностей по **методу обкатки** направляющая линия 2 воспроизводится вращением заготовки. Образующая линия 1 является огибающей кривой к ряду последовательных положений режущей кромки инструмента относительно заготовки благодаря согласованию двух движений подачи (рис. 5.1, г). Скорости движений согласуются так, что за время прохождения круглым резцом расстояния l он делает один полный оборот относительно своей оси вращения.

5.1.3. Режим резания. Шероховатость поверхности

Режим резания характеризует напряжённость процесса обработки и представляет собой совокупность значений скорости главного движения резания, скорости движения подачи и глубины резания.

Скорость главного движения резания V (м/мин или м/с) – это скорость перемещения точки режущей кромки инструмента относительно обрабатываемой поверхности в направлении главного движения. Для вращательного главного движения скорость резания:

$$V = \pi \cdot D_{\text{заг}} \cdot n \cdot 10^{-3} \text{ (м/мин)},$$

где $D_{\text{заг}}$ – наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, мм;

n – частота вращения заготовки, мин^{-1} .

Скорость движения подачи V_s – это скорость рассматриваемой точки режущей кромки в направлении движения подачи. Предусматривается также понятие **подача** S – отношение расстояния, пройденного точкой режущей кромки в направлении движения подачи, к числу циклов или долей цикла другого движения во время резания (подача на оборот, на двойной ход, на зуб).

Глубина резания t (мм) – это расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями заготовки, измеренное перпендикулярно к последней и пройденное за один рабочий ход инструмента.

Форма и размеры сечения срезаемого слоя материала зависят от элементов режима резания, геометрических параметров режущего инструмента и формы режущей кромки. При токарной обработке в резании участвуют одновременно два движения, поэтому траекторией движения вершины резца относительно заготовки будет винтовая линия. На заготовке останутся гребешки, которые образуют микронеровности на обработанной поверхности. Совокупность микровыступов и микровпадин характеризует **шероховатость поверхности**. Шероховатость оценивается несколькими параметрами, в частности, параметром Ra – **средним арифметическим отклонением**

профиля, т.е. средним арифметическим абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины обработанной поверхности. Предпочтительные значения Ra (мкм): для предварительной черновой обработки – 100–12,5; для чистовой обработки – 6,3–0,4; для отделочной и доводочной обработки – 0,2–0,012.

5.1.4. Геометрические параметры режущего инструмента

При всём многообразии конструкций режущих инструментов они имеют много общего, и подробное изучение токарного резца позволяет ограничиться рассмотрением лишь специфических особенностей конструкций других инструментов.

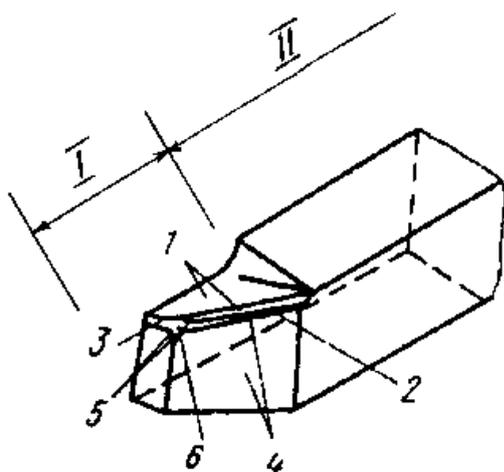


Рис. 5.2. Элементы токарного резца

Токарный резец (рис. 5.2) состоит из *крепёжной части* (державки) II, при помощи которой он крепится в резцедержателе, и *режущей части* I, которую образуют следующие элементы: 1 – передняя поверхность $A\gamma$; 2 – главная режущая кромка K ; 3 – вспомогательная режущая кромка K' ; 4 – главная задняя поверхность $A\alpha$; 5 – вспомогательная задняя поверхность $A\alpha'$; 6 – вершина.

Расположение поверхностей режущей части резца задаётся углами, для определения которых вводят **статическую систему координат** (рис. 5.3). В

эту систему входят: *основная плоскость* Pv – плоскость, проведённая через точку режущей кромки перпендикулярно направлению скорости главного движения; *рабочая плоскость* Ps – плоскость, в которой расположены направления скоростей главного движения резания и движения продольной подачи; *плоскость резания* Pn – плоскость, касательная к режущей кромке и перпендикулярная основной плоскости; *главная секущая плоскость* $P\tau$ – плоскость, перпендикулярная линии пересечения основной плоскости и плоскости резания.

В главной секущей плоскости измеряют: 1) *главный передний угол* γ – угол между передней поверхностью и основной плоскостью (рис. 5.4). С увеличением угла γ уменьшается деформация срезаемого слоя, снижаются силы резания, повышается качество обработанной поверхности, но одновременно снижается прочность лезвия, ухудшается теплоотвод от режущей кромки. Обычно угол γ имеет значения от -10° до $+20^\circ$; 2) *главный задний угол* α – угол между главной задней поверхностью и плоскостью резания. Наличие угла α уменьшает трение между главной задней поверхностью инструмента

и поверхностью резания, что уменьшает износ инструмента; 3) *угол заострения* β – угол между передней и задней поверхностями.

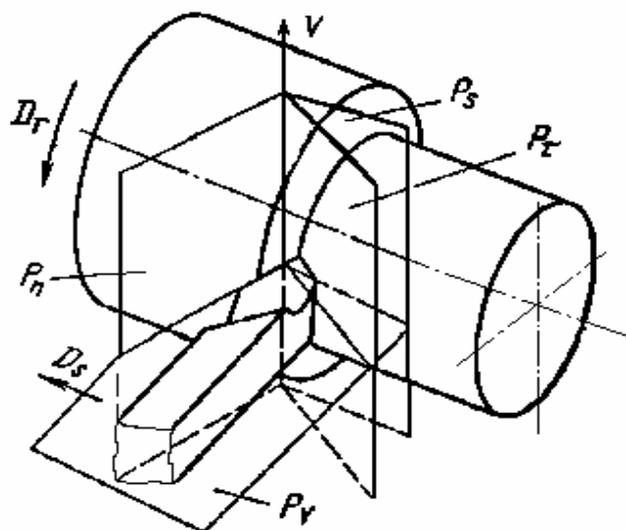


Рис. 5.3. Координатные плоскости при точении

В плоскости резания измеряют *угол наклона кромки* λ – угол между главной режущей кромкой и основной плоскостью. С увеличением угла λ качество обработанной поверхности ухудшается.

В основной плоскости измеряют *угол в плане* φ – угол между плоскостью резания и рабочей плоскостью. С уменьшением угла φ шероховатость обработанной поверхности снижается, но возрастает сила резания.

Кроме вышеперечисленных углов, в процессе проектирования и изготовления ин-

струмента, а также для расчётов изменения элементов лезвия в процессе резания, задаются и измеряются некоторые другие углы в статической и других системах координат.

5.1.5. Образование и виды стружки

Упрощенно процесс резания можно представить следующим образом: в начальный момент, когда движущийся резец вдавливаются в металл, в срезаемом слое возникают *упругие деформации* (рис. 5.5, а, зона I). При дальнейшем движении резца упругие деформации, увеличиваясь по абсолютному значению, переходят в *пластические* (рис. 5.5, а, зона II). В прирезцовом срезаемом слое материала заготовки возникает сложное упругонапряжённое состояние. Такое состояние приводит к смещению зёрен металла друг относительно друга – *сдвиговым деформациям* (рис. 5.5, а). В результате этого сдвигается элементарный объём металла по *плоскости скалывания* $O-O$ и образуется элемент стружки e (рис. 5.5, б). Далее процесс повторяется, и образуется следующий элемент (рис. 5.5, в).

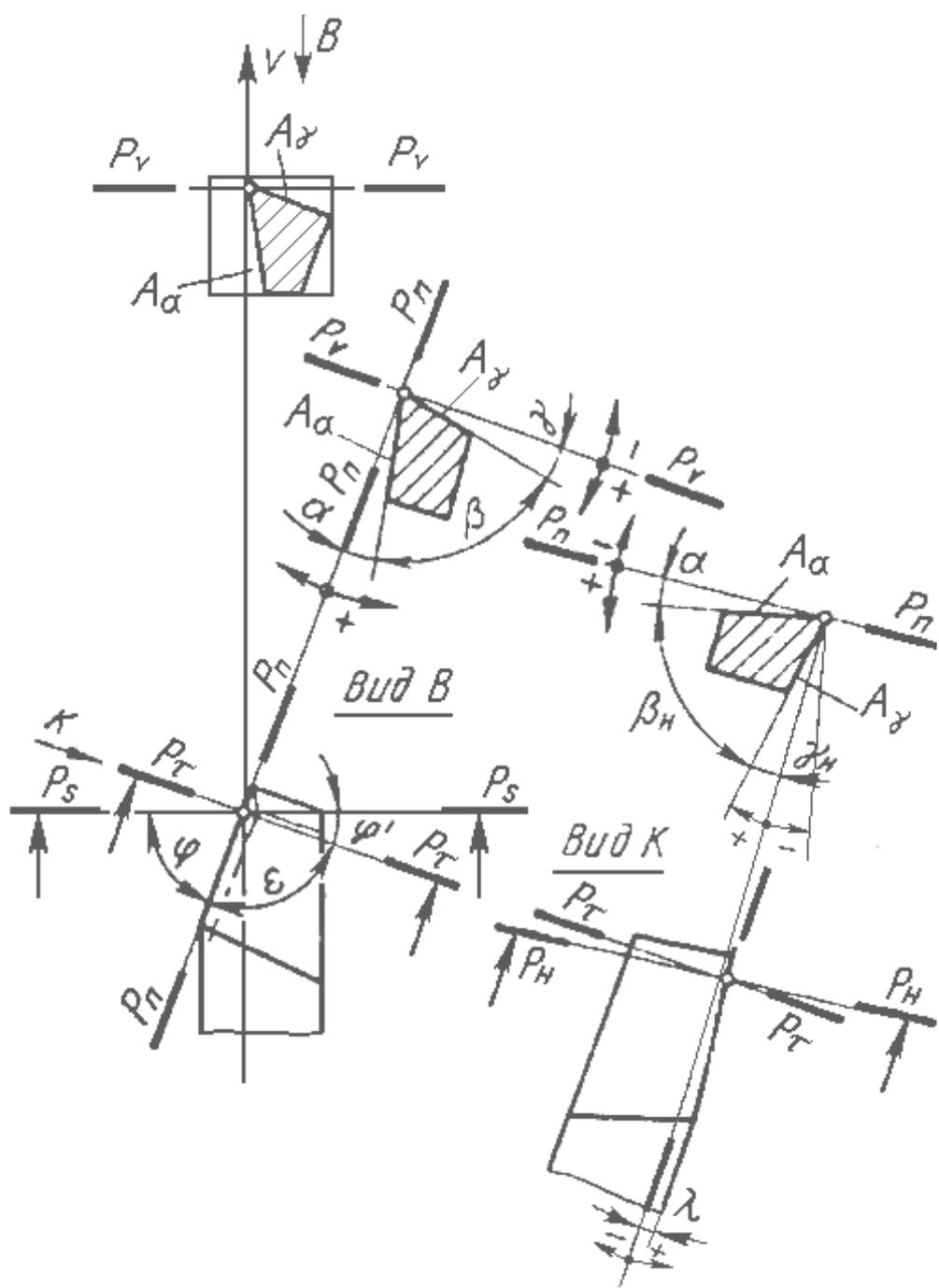


Рис. 5.4. Углы токарного резца

Характер деформирования срезаемого слоя зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, геометрических параметров инструмента, режима резания, условий обработки. При резании пластичных металлов и материалов средней твёрдости преобладает пластическая деформация, у хрупких металлов пластическая деформация практически отсутствует.

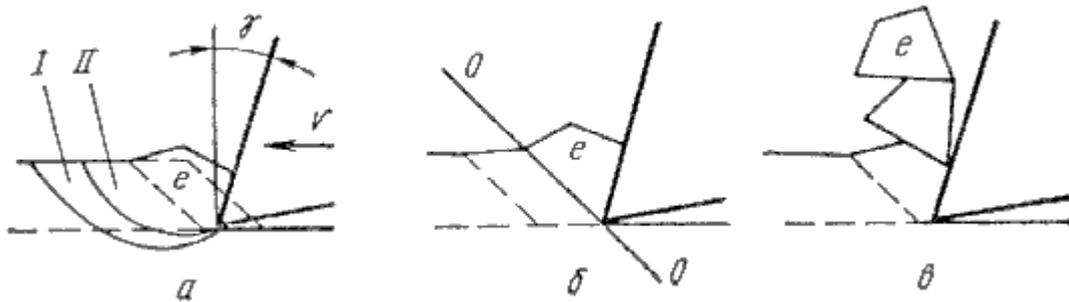


Рис. 5.5. Процесс образования стружки

Выделяют следующие виды стружки: сливную, суставчатую, элементную. *Сливная стружка*, образуемая при резании пластичных металлов, представляет собой сплошную ленту с гладкой прирезцовой стороной, на внешней стороне стружки заметны слабые пилообразные зазубрины. *Суставчатая стружка*, образуемая при резании металлов средней твёрдости, представляет собой ленту с гладкой прирезцовой стороной, а на внешней стороне имеет ярко выраженные зазубрины (рис. 5.5, в).

Элементная стружка образуется при резании хрупких металлов и состоит из отдельных, не связанных между собой элементов.

Вид образующейся стружки влияет на стойкость режущего инструмента, шероховатость обработанной поверхности, силу резания, конструкцию инструмента и определяет сложность отвода стружки из зоны резания и её транспортирования.

5.1.6. Силы резания

Деформирование и срезание с заготовки слоя металла происходит под действием внешней силы P , приложенной со стороны инструмента к обрабатываемой заготовке. Работа этой силы расходуется на упругое и пластическое деформирование металла, отделение стружки, преодоление сил трения задней поверхности инструмента о заготовку и стружки о переднюю поверхность инструмента.

В результате сопротивления металла деформированию возникают реактивные силы, действующие на режущий инструмент. Систему реактивных сил приводят к *равнодействующей силе* R . Считают, что точка приложения силы R находится на главной режущей кромке. Величина равнодействующей силы резания зависит от свойств обрабатываемого металла, скорости главного движения резания, скорости движения подачи, глубины резания, углов резца, условий резания.

При продольном точении равнодействующую силу резания обычно раскладывают на три составляющие P_z , P_x и P_y (рис. 5.6).

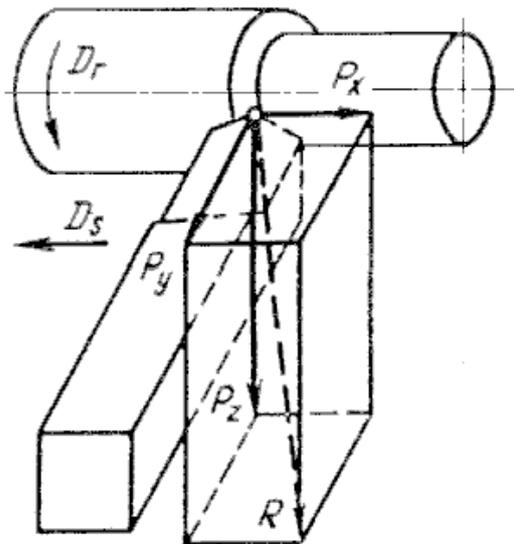


Рис. 5.6. Силы резания при точении

По рассчитанным составляющим P_z , P_x и P_y определяют крутящий момент на шпинделе станка, эффективную мощность резания, деформацию изгиба заготовки, изгибающий момент, действующий на стержень резца, а также ведут динамический расчет механизмов коробок скоростей и подач станка и т. п.

5.1.7. Наростообразование при резании

При обработке пластичных металлов на передней поверхности инструмента может образоваться слой металла, который называют **наростом**. Образование нароста объясняется тем, что при некоторых условиях обработки силы трения между передней поверхностью инструмента и срезанным слоем металла становятся больше сил внутреннего сцепления материала стружки, и при определённых температурных условиях металл прочно оседает на передней поверхности (рис. 5.7). Размеры и форма нароста постоянно меняются, частицы нароста уносятся стружкой и обработанной поверхностью заготовки, нарост срывается с передней поверхности инструмента и возникает вновь. Частота срывов нароста зависит от скорости резания.

Нарост оказывает как положительное, так и отрицательное влияние на процесс резания.

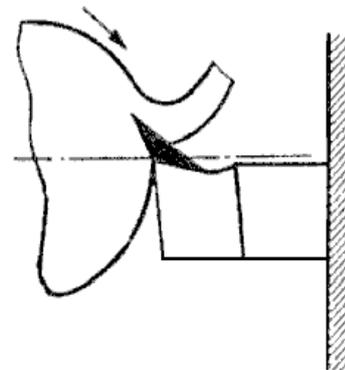


Рис. 5.7. Схема образования нароста

Положительным является то, что образование нароста приводит к увеличению переднего угла, а, следовательно, к уменьшению силы резания. Нарост уменьшает износ инструмента по передней поверхности, а также улучшает теплоотвод от режущего клина.

Но нарост увеличивает шероховатость обработанной поверхности и уменьшает геометрическую точность обработанной заготовки вследствие изменения вылета резца. Изменение переднего угла вызывает изменение силы резания, что приводит к вибрации станка, а это ухудшает качество обработанной поверхности.

Таким образом, нарост полезен при черновой обработке, когда возникают большие силы резания, снимается большой слой металла и выделяется большое количество тепла. При чистовой обработке, наоборот, нарост вреден, так как приводит к снижению качества обработанной поверхности.

Интенсивность образования нароста в значительной степени зависит от скорости главного движения резания: при скоростях до 12 м/мин и более 50 м/мин нарост практически не образуется. Для предотвращения нароста рекомендуется также изменять геометрические параметры инструмента, применять смазочно-охлаждающие жидкости, тщательно обрабатывать переднюю поверхность инструмента.

5.1.8. Упрочнение при резании

Результатом упругого и пластического деформирования материала обрабатываемой заготовки является **упрочнение** (наклёпывание) поверхностного слоя заготовки. При анализе процесса резания принято считать инструмент острым, однако режущая кромка всегда имеет радиус закругления ρ (рис. 5.8), который при обычных методах заточки составляет примерно 0,02 мм. Следовательно, инструмент может срезать с заготовки стружку

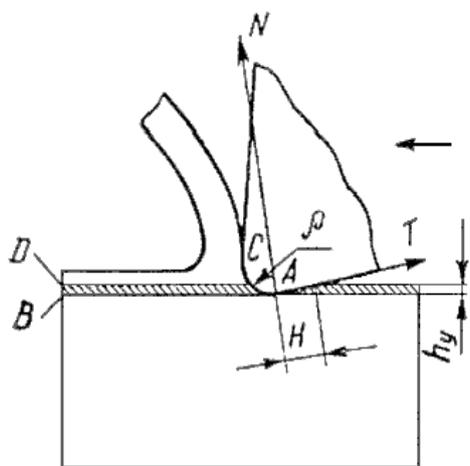


Рис. 5.8. Схема упрочнения при резании

только при условии, что глубина резания t соизмерима с радиусом ρ . В стружку переходит часть слоя металла, лежащая выше линии CD . Слой металла, лежащий между линиями AB и CD , будет упругоупрочненно деформироваться.

При работе инструмента радиус ρ быстро растёт вследствие затупления режущей кромки, и расстояние между линиями AB и CD увеличивается.

Упрочнение металла обработанной заготовки проявляется в повышении её поверхностной твёрдости, которая может возрасти в 1,5–2 раза, а глубина наклёпанного слоя составляет 0,02–2 мм. Значения твёрдо-

сти и глубины упрочнённого слоя зависят от способа обработки (максимальные – при сверлении), свойств материала обрабатываемой заготовки, геометрии инструмента, режима резания.

После перемещения резца относительно обработанной поверхности происходит упругое восстановление деформированного слоя на величину h_y , в результате образуется контактная площадка шириной H между обработанной поверхностью и задней поверхностью инструмента. Со стороны обработанной поверхности возникают силы нормального давления N и трения F . Чем больше упругая деформация, тем больше сила трения. Для уменьшения силы трения у инструмента предусматривается задний угол.

Изменениям состояния поверхностного слоя препятствуют нижележащие слои материала. В сложном взаимодействии явлений в поверхностных и нижележащих слоях материала возникают **остаточные напряжения**, которые могут быть растягивающими или сжимающими. *Напряжения растяжения* снижают предел выносливости материала заготовки, так как приводят к появлению микротрещин в поверхностном слое. *Напряжения сжатия*, напротив, повышают предел выносливости деталей. Следовательно, окончательную обработку поверхностей заготовок следует выполнять такими методами, чтобы в поверхностном слое возникали остаточные напряжения сжатия, либо напряжения отсутствовали совсем.

Наклёп обработанной поверхности можно рассматривать как благоприятное явление, если возникающие остаточные напряжения являются сжимающими. Однако наклёп, полученный при черновой обработке, отрицательно влияет на резание при последующей чистовой обработке, когда срезаются тонкие стружки, так как он снижает стойкость инструмента, а шероховатость поверхности увеличивается.

5.1.9. Тепловыделение при резании

Резание сопровождается образованием теплоты вследствие упруго-пластического деформирования металла в зоне стружкообразования, трения стружки о переднюю поверхность инструмента, трения задней поверхности о поверхность резания. Из зоны резания тепло отводится стружкой (25–85 %), поглощается заготовкой (10–50 %) и инструментом (2–8 %), а также отводится в окружающую среду.

Теплообразование отрицательно влияет на процесс резания. Нагрев инструмента до высоких температур приводит к структурным изменениям, снижению твёрдости и потере режущей способности.

Нагрев вызывает изменение геометрических размеров инструмента, из-за чего возникают отклонения размеров и формы обработанных поверхностей от заданных. Нагрев заготовки также приводит к изменению её размеров. При жёстком закреплении на станке заготовка начинает деформироваться, что снижает точность обработки.

Для уменьшения отрицательного влияния тепловыделения на качество обработки резание следует вести с применением *смазочно-охлаждающих сред*. В зависимости от технологического метода обработки, режима резания, материалов заготовки и инструмента применяют различные смазочно-охлаждающие среды, которые можно разделить на следующие группы:

1) *жидкости*: водные растворы солей, эмульсии, растворы мыл, масла и др.;

2) *газы и газообразные вещества*: углекислый газ, азот, четырёххлористый углерод, пары поверхностно-активных веществ, распылённые жидкости и др.;

3) *твёрдые вещества*: порошки воска, парафина, битума, мыльные порошки и др.

Чаще всего применяют смазочно-охлаждающие жидкости. Обладая смазывающими свойствами, жидкости снижают трение и работу деформирования, общее количество выделяющегося тепла уменьшается. Жидкости отводят тепло из зоны резания, охлаждая инструмент и заготовку. Смазывающее действие препятствует образованию нароста на инструменте, в результате чего снижается шероховатость и повышается точность обработанных поверхностей.

При черновой обработке, когда необходимо сильное охлаждающее действие, широко используют различные растворы и эмульсии на водной основе. При чистовой обработке, когда требуется получить высокое качество обработанной поверхности, используют различные масла. Подача жидкости в зону резания чаще всего выполняется через узкое сопло под давлением на переднюю поверхность инструмента, иногда жидкость подают тонкой струей под давлением со стороны задних поверхностей. Когда охлаждение режущего инструмента затруднено, жидкость подводят непосредственно в зону резания через каналы в теле режущего инструмента, например, при сверлении глубоких отверстий.

5.1.10. Износ и стойкость инструмента

Трение между стружкой и передней поверхностью инструмента и между поверхностью резания и главной задней поверхностью приводит к изнашиванию режущего инструмента. Высокие контактные давления и тепловыделение вызывают следующие *виды изнашивания*: *абразивное* – в условиях сухого и полусухого трения; *окислительное* – образование и разрушение оксидных плёнок; *адгезионное* – вырыв частиц материала инструмента материалом стружки или заготовки вследствие их молекулярного сцепления; *термическое* – структурные превращения в материале инструмента. Общий характер износа токарного резца представлен на рис. 5.9.

При изнашивании резца на передней поверхности образуется *лунка* шириной b , а на главной задней поверхности – *ленточка* шириной h . Обра-

зование ленточки уменьшает глубину резания, так как изменяется вылет резца, а это снижает точность обработки.

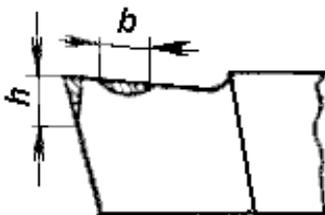


Рис. 5.9. Характер изнашивания токарного резца

Допустимое значение износа называют **критерием износа**. В большинстве случаев за критерий износа принимают износ инструмента h по главной задней поверхности. Для токарных резцов из быстрорежущей стали $h = 1,5–2$ мм, для резцов с пластинами твердого сплава $h = 0,8–1$ мм. Допустимый износ соответствует определённому периоду стойкости.

Под **периодом стойкости инструмента T** понимают суммарное время его работы (в мин) между переточками при определённом режиме резания. Период стойкости зависит от свойств материала инструмента и заготовки, режима резания, геометрии инструмента, условий обработки. Например, стойкость токарных резцов составляет 30–90 мин.

Износ инструмента вызывает также рост силы резания, что увеличивает деформацию заготовки и инструмента и еще более снижает точность обработки. Растут глубина наклёпанного слоя на заготовке и силы трения между заготовкой и инструментом, а это приводит к увеличению тепловыделения при резании.

Для уменьшения влияния износа инструмента на точность и качество обработки применяются автоматические подналадчики металлорежущих станков и режущие инструменты с неперетачиваемыми пластинами из сверхтвёрдых и керамических материалов.

5.1.11. Вибрации при резании

При обработке заготовок иногда возникают периодические колебательные движения (**вибрации**) элементов системы *станок-приспособление-инструмент-заготовка*, и резание теряет устойчивость.

Вибрации резко снижают качество обработанной поверхности (возникает шероховатость, появляется волнистость); усиливается переменный характер силы резания, а нагрузки на движущиеся детали станка возрастают в десятки раз, особенно в условиях резонанса, когда частота собственных колебаний системы совпадает с частотой колебаний, возникающих при резании; период стойкости инструмента резко падает; возникает сильный шум. При резании **вынужденные (внешние) колебания** возникают под действием внешних периодических возмущающих сил из-за прерывистости процесса резания, неуравновешенности вращающихся масс, погрешностей изготовления и сборки передач. Вынужденные колебания устраняют, повышая жёсткость станка и уменьшая величину возмущающих сил.

Автоколебания (незатухающие самоподдерживающиеся) создаются и управляются силами, возникающими в процессе резания, и после прекращения процесса резания исчезают. Причинами автоколебаний являются: изменение сил резания и трения на рабочих поверхностях инструмента; изменение сечения срезаемого слоя металла; образование и срывы наростов; упругие деформации заготовки и инструмента. Низкочастотные автоколебания (50–500 Гц) вызывают волнистость на обработанной поверхности, высокочастотные (800–6000 Гц) – мелкую рябь. Автоколебания можно устранить, изменяя режим резания и геометрию инструмента; правильно, без дисбаланса, устанавливая заготовку на станке, а также обрабатывая заготовки на больших скоростях резания.

Для гашения автоколебаний используют виброгасители: гидравлические, динамические, упругие и другие.

Однако вибрации могут положительно влиять на процесс резания. Сущность ***вибрационного резания*** состоит в том, что в процессе обработки создаются искусственные колебания инструмента с регулируемой частотой и заданной амплитудой в определенном направлении. Источник колебаний – высокочастотный генератор, частота колебаний 200–20000 Гц, амплитуда 0,02–0,002 мм. Оптимальные амплитуды и частоты колебаний задают, исходя из режима резания, технологического метода обработки и т. д. Колебания могут совпадать с направлением движения подачи или с направлением главного движения резания.

Вибрационное резание обеспечивает дробление стружки на отдельные элементы, снижает сопротивление металла деформированию и эффективную мощность резания, предупреждает наростообразование, однако в некоторых случаях снижает стойкость инструмента.

5.1.12. Точность, качество и производительность обработки

Под ***точностью обработки*** понимают соответствие размеров, формы и взаиморасположения обработанных поверхностей требованиям чертежа. Допустимые отклонения фактических размеров обработанных поверхностей деталей от их конструктивных размеров, указываемых в рабочем чертеже, регламентируются государственными стандартами. Предельные отклонения формы обработанных поверхностей от геометрически правильных поверхностей и точность их взаимного расположения также определяются государственными стандартами.

Одним из показателей ***качества обработанной поверхности*** является шероховатость (см. п. 5.1.3).

Чем выше требования, предъявляемые к точности и качеству поверхностей, тем длительнее процесс обработки заготовки и сложнее технологический процесс изготовления детали. Самую высокую точность обработки обеспечивают адаптивные системы программного управления.

Производительность обработки определяет число деталей, изготавливаемых в единицу времени. Максимальная производительность достигается при работе с наибольшей подачей, глубиной и скоростью резания при наименьшей длине обрабатываемой поверхности и наименьшем припуске на обработку.

Элементы режима резания назначают в следующей последовательности. Сначала назначают глубину резания, при этом стремятся весь припуск на обработку срезать за один рабочий ход режущего инструмента. Если необходимо делать несколько рабочих ходов, то на первых (черновых) ходах задают максимально возможную глубину резания, исходя из характеристик станка, а на последнем (чистовом) она должна составлять $\approx 20\%$ от предыдущих. Затем выбирают значение подачи, обычно наибольшее допустимое, с учетом требований точности и допустимой шероховатости обработанной поверхности, а также мощности станка, режущих свойств инструмента. Наконец, определяют скорость главного движения резания, исходя из выбранных глубины резания, подачи и стойкости режущего инструмента. После вычисления скорости резания определяют частоту вращения шпинделя станка, соответствующую этой скорости резания. На станках со ступенчатым регулированием частоты вращения назначают ближайшую меньшую частоту вращения. Затем определяют составляющие силы резания P_z , P_x , P_y ; эффективную мощность резания и мощность электродвигателя станка. Исходя из размеров обрабатываемой заготовки и мощности электродвигателя, выбирают модель станка, после чего окончательно уточняют режим резания в соответствии с паспортными техническими характеристиками выбранной модели станка.

5.2. Инструментальные материалы

5.2.1. Свойства инструментальных материалов

Режущие инструменты работают в условиях больших силовых нагрузок, высоких температур и трения, поэтому материал рабочей части инструмента должен иметь высокую сопротивляемость на изгиб, растяжение, сжатие, кручение, а также высокую твердость. Твердость рабочей части должна значительно превышать твердость материала заготовки.

Высокие прочностные свойства необходимы, чтобы инструмент обладал сопротивляемостью соответствующим деформациям в процессе резания, а достаточная вязкость позволяла бы воспринимать ударные динамические нагрузки, возникающие при обработке заготовок из хрупких материалов и заготовок с прерывистой поверхностью. Инструментальные материалы должны иметь высокую *красностойкость*, т. е. сохранять большую твердость при высоких температурах. Важнейшей характеристикой материала инструмента является *износостойкость*: чем выше износостойкость, тем

медленнее изнашивается инструмент. Это значит, что разброс размеров деталей, последовательно обрабатываемых одним и тем же инструментом, будет минимальным.

5.2.2. Инструментальные стали

Углеродистые инструментальные стали содержат 0,7–1,3 % С. Для режущих инструментов применяют стали У9А, У10А, У11А и др. После термообработки стали имеют красностойкость 200–240 °С. При достижении этих температур твёрдость стали резко падает и инструмент не может выполнять работу резания. Допустимые скорости резания не превышают 0,3 м/с. Из этих сталей изготавливают метчики, плашки, развёртки и т. д.

Легированные инструментальные стали – это углеродистые стали, легированные хромом, вольфрамом, марганцем, кремнием, ванадием и др. Легированные стали, по сравнению с углеродистыми, имеют повышенную вязкость в закалённом состоянии и красностойкость 250–300 °С. Для изготовления плашек, развёрток, протяжек, свёрл используют стали 9ХС, ХВСГФ и др. Допустимые скорости резания до 0,4 м/с при обработке стали 45.

Быстрорежущие стали содержат 5,5–19 % вольфрама, 2,3–5,5 % молибдена, 3,8–4,4 % хрома, 2–10 % кобальта и ванадия, а также 0,8–1,1 % углерода. Для изготовления режущих инструментов применяют стали Р6М5, Р18, Р9К5 и др. Быстрорежущие стали имеют красностойкость 600–640 °С, обладают повышенной износостойкостью и могут работать со скоростями до 1,7 м/с. Из быстрорежущих сталей изготавливают инструменты простой и сложной формы: резцы, концевые фрезы, свёрла, зенкеры, червячные зуборезные фрезы и др.

В целях экономии из быстрорежущих сталей обычно изготавливают только рабочую часть инструмента, которую сваривают с хвостовой частью, изготовленной из конструкционной стали.

5.2.3. Твёрдые сплавы

Инструментальные твёрдые сплавы – это спечённые многофазные композиции, состоящие из твёрдых, тугоплавких соединений – карбидов вольфрама, титана, тантала – и металлического кобальта. Твёрдые сплавы делят на группы: *вольфрамовую* (ВК6, ВК10 и др.), *титановольфрамовую* (Т15К6, Т5К10 и др.), *титанотанталовольфрамовую* (ТТ7К12, ТТ10К8Б). Твёрдые сплавы применяют в виде пластин определённых форм и размеров, которые припаиваются к корпусам инструментов или крепятся механическим способом. Твёрдые сплавы имеют высокую износостойкость и теплоустойчивость 800–1250 °С, что позволяет вести обработку со скоростями до 14 м/с. Недостатком твёрдых сплавов является низкая пластичность.

Твёрдые сплавы используют для обработки заготовок из хрупких и вязких сплавов; из труднообрабатываемых коррозионностойких и жаро-

прочных сталей и сплавов; из твёрдых чугунов, закалённых сталей, сплавов титана, керамики и т. д.

5.2.4. Свёрхтвердые и керамические материалы

Инструментальные материалы на основе нитрида бора (композиционные) относятся к *свёрхтвёрдым*, а на основе оксида алюминия – к *керамическим*.

Существует несколько групп материалов на основе модификаций нитрида бора. Так, материалы, полученные на основе фазового превращения графитоподобного нитрида бора в кубический (композит 01 – *эльбор* и композит 02 – *белбор*) применяются для точения и фрезерования закалённых сталей и чугунов любой твёрдости, а также твёрдых сплавов с содержанием кобальта более 15 %. Материалы, полученные на основе превращения вюрцитного нитрида бора в кубический (композит 09 – *ПТНБ* и композит 10 – *гексанит-Р*) применяются для обработки сталей и чугунов любой твёрдости и твёрдых сплавов.

Керамические материалы также делятся на несколько групп: *оксидная “белая” керамика*, состоящая из Al_2O_3 и легированная ZrO_2 и другими оксидами, применяется для обработки незакалённых сталей и серых чугунов со скоростями до 15 м/с; *оксидно-карбидная “чёрная” керамика*, состоящая из Al_2O_3 , TiC и других карбидов тугоплавких металлов, применяется для обработки ковких, высокопрочных, отбелённых модифицированных чугунов и закалённых сталей.

Пластины из таких материалов крепят к корпусам механическим способом либо пайкой, выполнив предварительно металлизацию пластин.

5.2.5. Абразивные материалы

Абразивные материалы – мелкозернистые или порошковые вещества (химические соединения элементов), используемые для изготовления абразивных инструментов: шлифовальных кругов, головок, сегментов, брусков. К ним относят: электрокорунды, карбид кремния, карбид бора, синтетические алмазы, оксид хрома, «славутич» и др.

Абразивные материалы имеют высокие твердость, теплостойкость (до 1800 °С) и износостойкость, что позволяет применять скорости резания до 100 м/с. Инструменты из абразивных материалов используют главным образом для окончательной обработки деталей, когда предъявляются повышенные требования к точности и шероховатости обработанных поверхностей.

Шлифовальные круги из электрокорунда применяют для обработки различных сталей и сплавов; из карбидов кремния – для обработки вязких сплавов, для обработки и заточки твердосплавных и минералокерамических режущих инструментов. Порошки карбида бора используют для притирочных и доводочных материалов.

Алмазы составляют особую группу материалов. В промышленности используют природные и синтетические алмазы. Алмаз является самым твёрдым материалом, имеет высокую теплостойкость и износостойкость, у него не происходит слипания со многими материалами. Недостаток алмазов – их хрупкость. Алмазы используют для изготовления алмазных инструментов (круги, бруски, пилы, ленты) и доводочных порошков. Кристаллы алмазов применяют для оснащения режущих инструментов (резцов, сверл). Наиболее широко используют алмазные резцы для тонкого точения и растачивания деталей из жаропрочных сталей и сплавов, сплавов алюминия, меди и неметаллических твердых материалов. Обработку ведут со скоростями резания до 20 м/с. Поверхности деталей, обработанные в этих условиях, имеют низкую шероховатость и высокую точность размеров.

5.3. Металлорежущие станки

5.3.1. Классификация металлорежущих станков

Серийно выпускаемые металлорежущие станки классифицируются согласно *общегосударственной единой системе условных обозначений станков*. Она построена по десятичной системе: все металлорежущие станки разбиты на десять групп (группа 0 – резервная, 1 – токарные, 2 – сверлильные и расточные, 3 – шлифовальные и доводочные, 4 – электрофизические и электрохимические, 5 – зубо- и резьбообрабатывающие, 6 – фрезерные, 7 – строгальные, долбежные и протяжные, 8 – разрезные, 9 – разные), группа – на десять типов, а тип – на десять типоразмеров. В *группу* объединены станки по общности технологического метода обработки или близкие по назначению. *Типы* станков характеризуют такие признаки, как назначение, степень универсальности, число главных рабочих органов, конструктивные особенности. Внутри типа станки различают по техническим характеристикам.

В соответствии с этой классификацией каждому станку присваивают определенный *шифр*: первая цифра определяет группу станков, вторая – тип, третья (иногда третья и четвертая) – условный размер станка. Буква на втором или третьем месте позволяет различать станки одного типоразмера, но с разными техническими характеристиками. Буква в конце шифра означает модификацию станка одной базовой модели. Например, шифром 3Ш185 обозначен бесцентрово-шлифовальный станок (группа 3, тип 1), модернизированный (Ш), с наибольшим диаметром шлифуемой заготовки 85 мм (85). Шифры станков с числовым программным управлением (ЧПУ) содержат букву Ф.

Станки также классифицируют по степени универсальности, по числу главных рабочих органов, по точности, по степени автоматизации.

5.3.2. Кинематика станков

Приводом станка называют совокупность механизмов, передающих движение от источника (электродвигателя) к рабочим органам станка

(шпинделю, суппорту, столу). Различают приводы рабочих, вспомогательных и установочных перемещений заготовки и инструмента. Приводы станков бывают со ступенчатым и бесступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя и величины подач. Приводы со *ступенчатым регулированием* выполняют в виде зубчатых коробок передач, обеспечивающих получение определённого ряда значений частоты вращения или скорости подачи. Системы *бесступенчатого регулирования*, включающие электродвигатели постоянного тока с тиристорной системой управления в сочетании с двух-четырёхступенчатыми коробками передач, обеспечивают широкий диапазон частот вращения шпинделя и скоростей подачи, что предполагает возможность работы на строго расчётном режиме резания.

Передачей называют механизм, передающий движение от одного элемента к другому (с вала на вал) или преобразующий одно движение в другое (вращательное в поступательное). В передаче элемент, передающий движение, называют *ведущим*, а элемент, получающий движение, – *ведомым*. Каждая передача характеризуется *передаточным отношением* i , т. е. числом, которое показывает, во сколько раз частота вращения ведомого элемента меньше или больше частоты вращения ведущего элемента. К основным передачам относятся ремённая, цепная, зубчатая, червячная, реечная, винтовая.

Кинематической схемой металлорежущего станка называют условное графическое изображение всех механизмов и передач, которые передают движение от электродвигателя к исполнительным органам станка. Она даёт представление об относительном расположении основных элементов привода и позволяет установить, в каком направлении передаётся движение и в какое движение оно преобразуется в любом механизме привода. Часть кинематической схемы, которая служит для передачи движения от электродвигателя к исполнительному органу или от

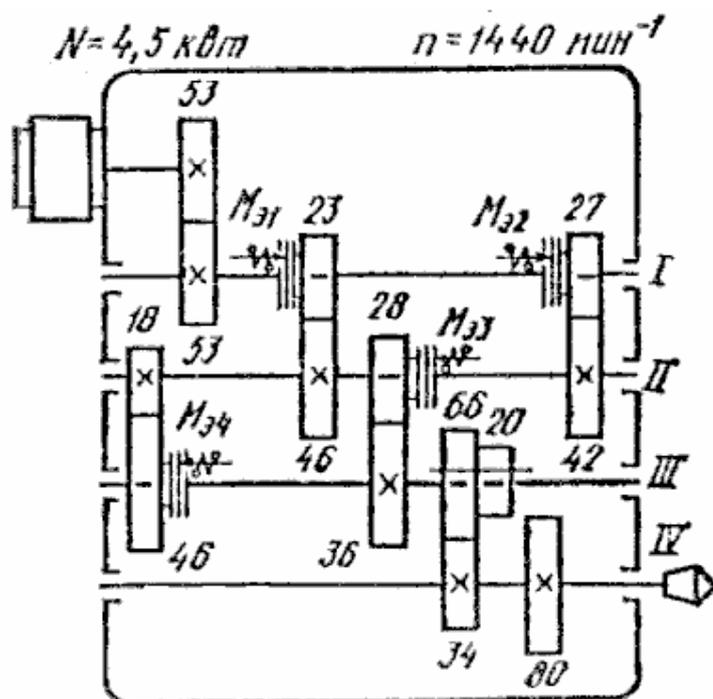


Рис. 5.10. Кинематическая цепь главного движения резания

одного исполнительного органа к другому, называют *кинематической цепью*. Различают кинематические цепи главного движения резания (рис. 5.10), движений подач и ускоренных перемещений. Переключением электромаг-

нитных муфт Мэ₁ – Мэ₄ и перемещением зубчатых колёс на валах можно передавать движение с вала на вал через различные пары зубчатых колес, поэтому конечный вал IV будет иметь восемь различных частот вращения.

5.4. Обработка заготовок на токарных станках

5.4.1. Характеристика метода точения

Токарные станки предназначены для обработки поверхностей заготовок, имеющих форму тел вращения. Технологический метод формообразования поверхностей заготовок точением характеризуется вращательным движением заготовки (главное движение резания) и поступательным движением инструмента – резца (движение подачи). Движение подачи осуществляется параллельно оси вращения заготовки (продольное движение подачи), перпендикулярно оси вращения заготовки (поперечное движение подачи), под углом к оси вращения заготовки (наклонное движение подачи).

Под *точением* понимают обработку наружных поверхностей заготовок. Разновидностями точения являются: *расточивание* – обработка внутренних поверхностей; *подрезание* – обработка торцовых плоских поверхностей; *разрезание* – разделение заготовки на части.

На токарных станках выполняют черновую, получистовую и чистовую обработку поверхностей заготовок.

5.4.2. Типы токарных станков

По технологическому назначению станки токарной группы делятся на типы. *Токарно-винторезные станки* (рис. 5.11, а) применяют в условиях единичного производства для обработки небольших партий заготовок.

Токарно-револьверные станки (рис. 5.11, б) имеют специальное устройство для закрепления инструментов – револьверную головку и предназначены для обработки сложных заготовок, требующих применения большого числа режущих инструментов.

Токарно-карусельные станки (рис. 5.11, в) предназначены для обработки крупных тяжёлых заготовок, у которых отношение длины (высоты) заготовки к диаметру составляет 0,3–0,7. Особенностью станков является наличие круглого горизонтального стола-карусели с вертикальной осью вращения.

Многорезцовые токарные полуавтоматы (рис. 5.11, е) предназначены для обработки наружных поверхностей заготовок типа ступенчатых валов, обработка нескольких поверхностей заготовки ведётся одновременно.

Одношпиндельные токарно-револьверные автоматы (рис. 5.11, г) используются для обработки заготовок небольших размеров, но сложной формы. Они работают по циклу параллельной обработки поверхностей и применяются для изготовления больших партий деталей.

Многошпиндельные автоматы параллельной обработки заготовок (рис. 5.11, д) используются в массовом производстве, число одновременно обрабатываемых заготовок равно числу шпинделей.

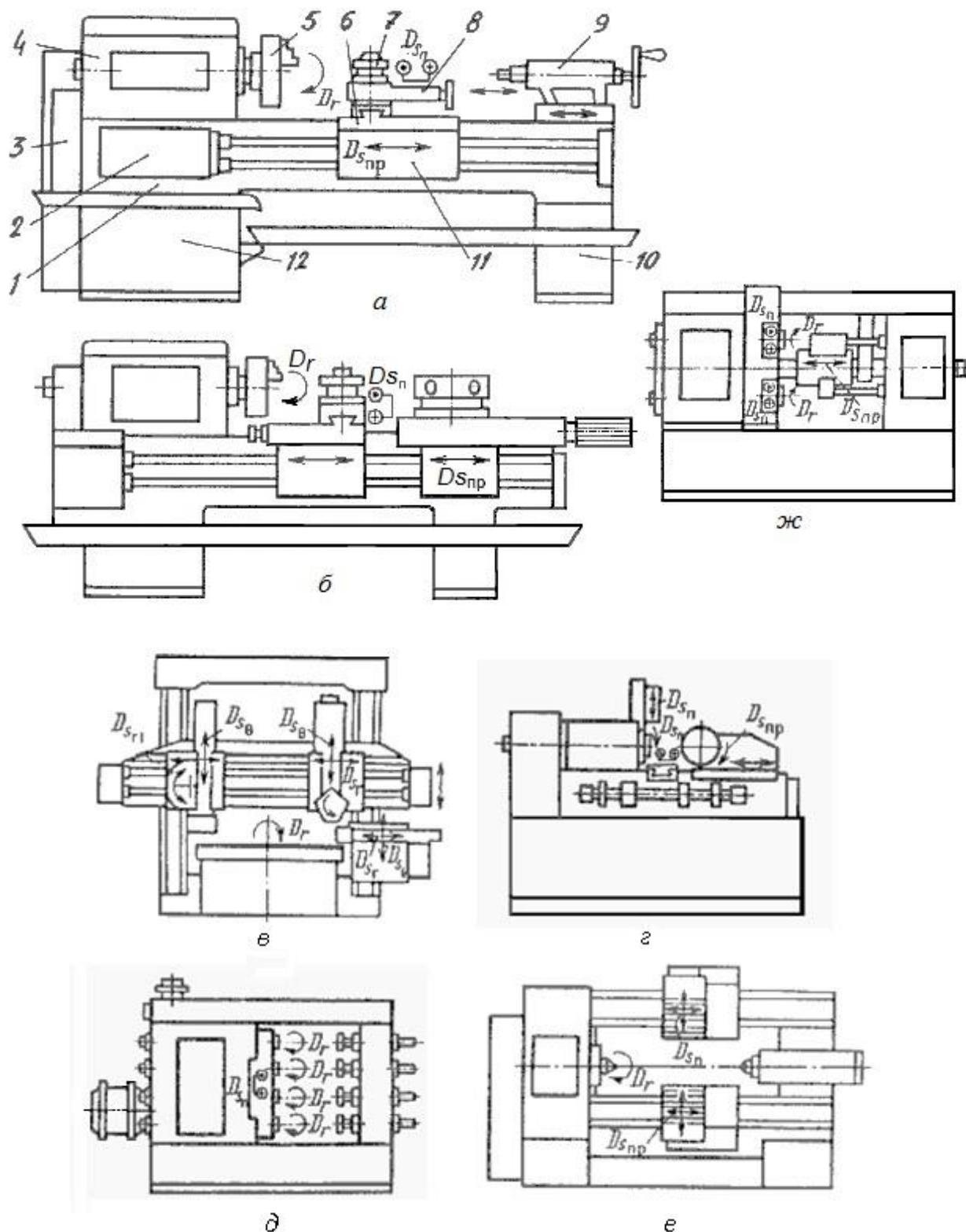


Рис. 5.11. Общие виды станков токарной группы

Многошпиндельные автоматы последовательной обработки (рис. 5.11, ж) предназначены для одновременной обработки нескольких заготовок (по числу шпинделей). На каждой из позиций заготовки находятся на разных стадиях обработки. Станкостроительная промышленность также производит широкую гамму токарных станков, оснащаемых системами ЧПУ.

Токарно-винторезный станок (рис. 5.11, а) состоит из следующих узлов: станина 1 с направляющими закреплена на тумбах – передней 12 и задней 10. В передней бабке 4 смонтированы коробка скоростей и шпиндель. На шпинделе устанавливают приспособление для закрепления заготовок 5. Коробку подач 2 крепят к лицевой стороне станины. С левой стороны станины установлена коробка сменных зубчатых колёс 3. Продольный суппорт 6 перемещается по направляющим станины, на нем смонтирована поперечная каретка с верхним суппортом 8, на котором располагается четырёхпозиционный резцедержатель 7. К продольному суппорту крепят фартук 11, в котором смонтированы механизмы подач. В пиноли задней бабки 9 устанавливают задний центр или инструмент для обработки отверстий (свёрла, зенкеры).

5.4.3. Режущий инструмент и приспособления

Основным принципом классификации токарных резцов является их технологическое назначение. Различают резцы (рис. 5.12): *проходные прямые* и *упорные* для обтачивания наружных цилиндрических и конических поверхностей, *расточные проходные* и *упорные* – для растачивания сквозных и глухих отверстий, *отрезные* – для отрезания заготовок, *резьбовые* – для нарезания наружных и внутренних резьб, *фасонные* – для обтачивания фасонных поверхностей, *прорезные* – для протачивания кольцевых канавок, *галтельные* – для обтачивания переходных поверхностей между ступенями валов по радиусу, *подрезные* – для обтачивания плоских торцевых поверхностей.

Для закрепления заготовок на токарно-винторезных станках широко используют *трёхкулачковые самоцентрирующие патроны* (рис. 5.12, а), их применяют для закрепления заготовок при отношении их длины к диаметру $l/d < 4$. При отношении $l/d = 4-10$ заготовку устанавливают в центрах, для этого заготовку центруют, т. е. сверлят *центровые отверстия* с торцов вала специальными центровочными свёрлами. *Центры* бывают *упорные* (рис. 5.12, б), *срезанные* (рис. 5.12, в), *шариковые* (рис. 5.12, г). *Срезанные центры* применяют при подрезании торцов заготовки, когда подрезной резец должен подойти близко к оси вращения заготовки. *Шариковые центры* используют при обтачивании конических поверхностей сдвигом задней бабки в поперечном направлении, а *обратные центры* (рис. 5.12, д) – при обработке заготовок небольших диаметров. *Вращающиеся центры* (рис. 5.12, е) применяют при большой глубине резания, когда возникают значительные силы резания.

Поводковый патрон (рис. 5.12, ж) и *хомутик* (рис. 5.12, з) используют для передачи крутящего момента от шпинделя станка на заготовку, закрепленную в центрах.

При отношении $l/d > 10$ для уменьшения деформации заготовок применяют *люнеты*. *Подвижный открытый люнет* (рис. 5.12, и) устанавливают на продольном суппорте станка, *неподвижный закрытый люнет* (рис. 5.12, к) закрепляют на станине. Силы, действующие со стороны инструмента на заготовку, воспринимаются опорами люнетов, что повышает точность обработки.

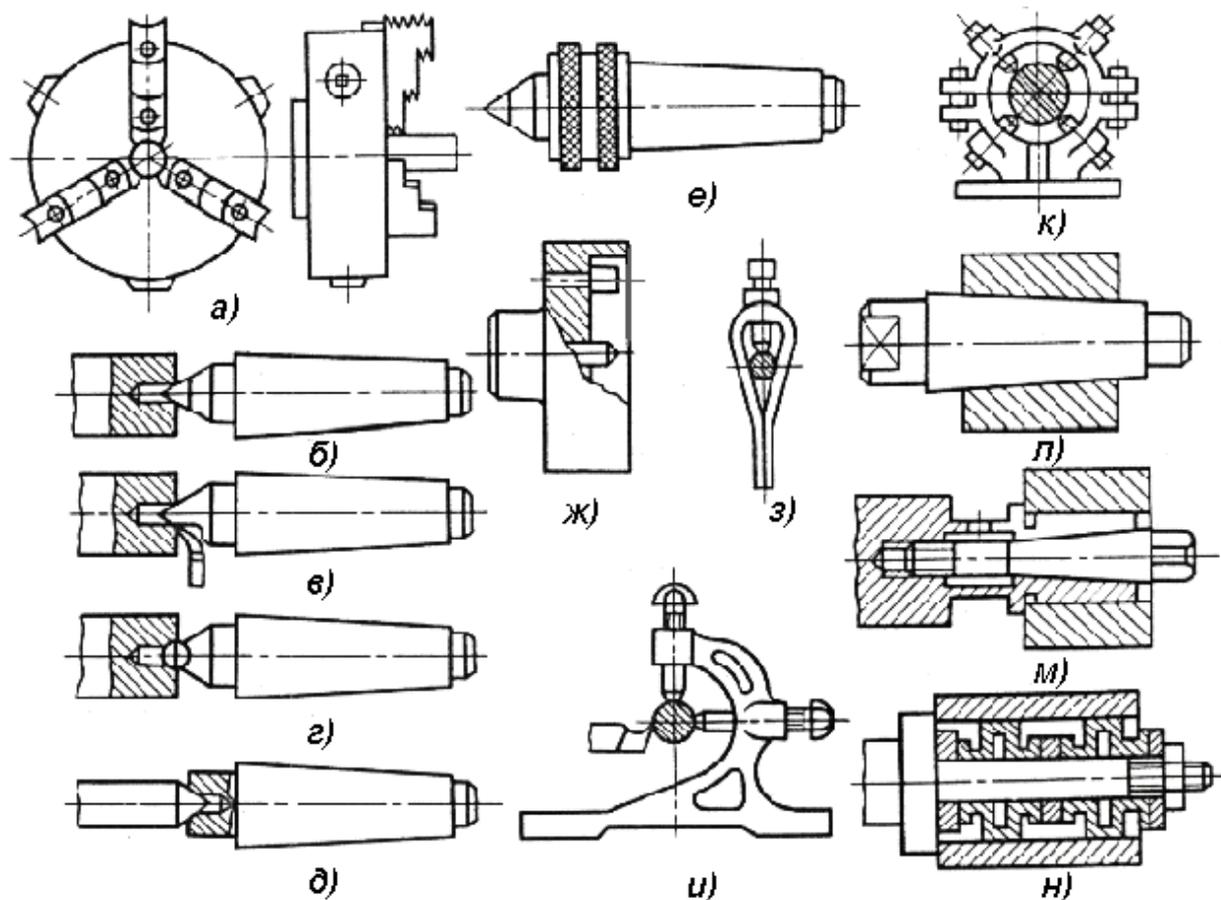


Рис. 5.12. Приспособления для закрепления заготовок на токарных станках

Для закрепления заготовок типа втулок, колец, стаканов применяются *оправки: конические, цанговые, с гофрированными втулками* (рис. 5.12, л, м, н). На токарно-револьверных станках, полуавтоматах и автоматах для закрепления заготовок-прутков используют *цанговые патроны*.

5.4.4. Основные виды токарных работ

Схемы основных видов обработки поверхностей, приведённые на рис. 5.13, являются типовыми, так как их можно реализовать на универсальных токарных станках, полуавтоматах, автоматах и станках с ЧПУ.

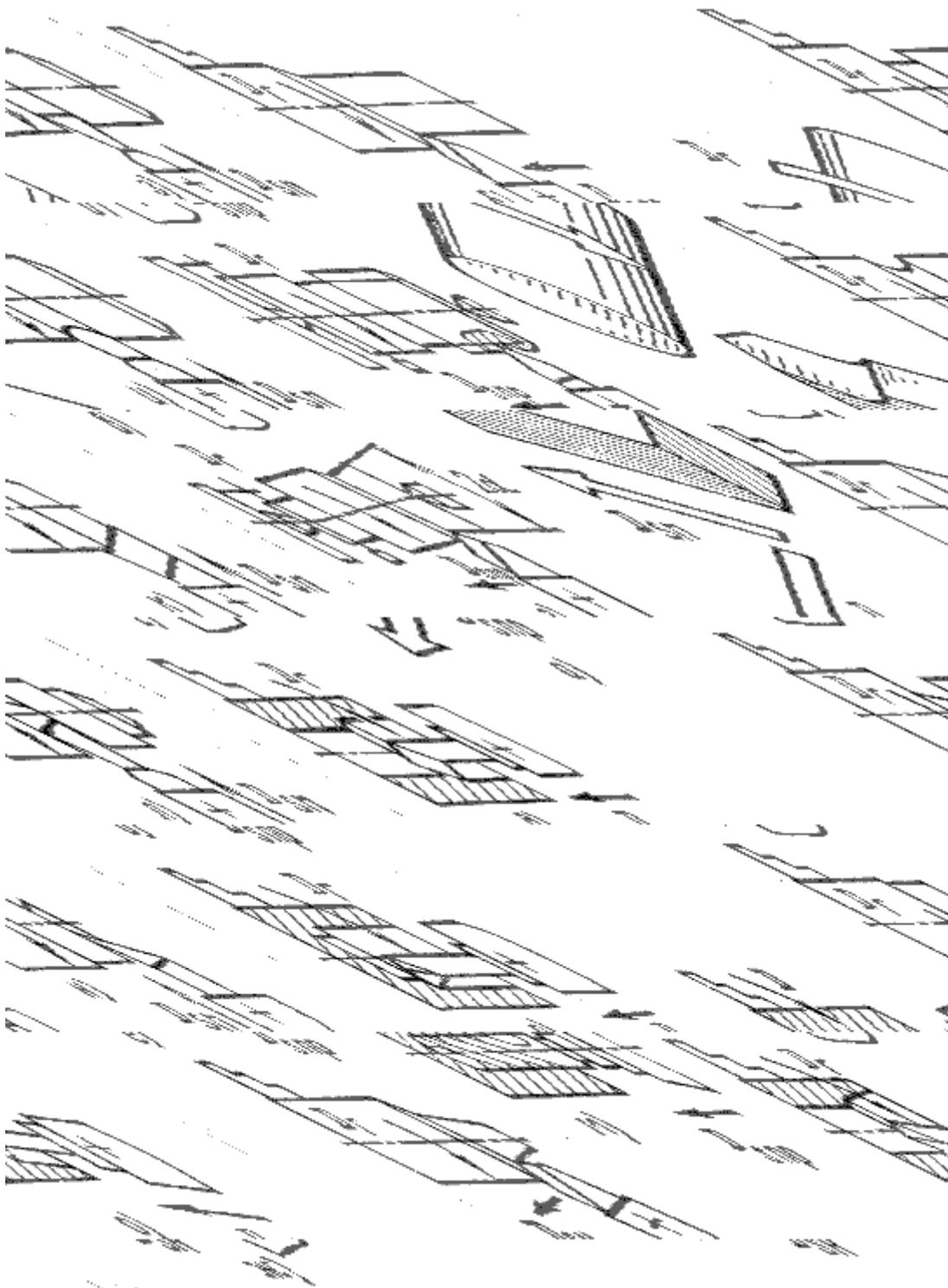


Рис. 5.13. Схема обработки заготовок на токарных станках

Наружные цилиндрические поверхности обтачивают прямыми (рис. 5.13, б) или упорными ($\varphi = 90^\circ$) проходными резцами. Использование упорных резцов приводит к нулю радиальную составляющую силы резания P_y , что снижает деформацию заготовок в процессе обработки и повышает их точность.

Наружные (рис. 5.13, в) и *внутренние резьбы* нарезают резьбовыми резцами.

Точение длинных пологих конусов выполняют, смещая в поперечном направлении корпус задней бабки относительно её основания (рис. 5.13, г) или используя конусную линейку.

Сквозные *отверстия растачивают* проходными расточными резцами (рис. 5.13, д), глухие – упорными (рис. 5.13, е).

С поперечным движением подачи на токарных станках *протачивают кольцевые канавки* (рис. 5.13, з) прорезными резцами, *фасонные поверхности* (рис. 5.13, и) – фасонными резцами, *короткие конические поверхности - фаски* (рис. 5.13, к) – широкими резцами. *Отрезание деталей* от заготовки (рис. 5.13, л) выполняют отрезными резцами с наклонной режущей кромкой, что позволяет получить у готовой детали торец без остаточного заусенца. *Подрезание торцов* (рис. 5.13, н) выполняют подрезными резцами.

Обработку отверстий производят свёрлами, зенкерами, развёртками (рис. 5.13, м). Обработку ведут с продольным движением подачи режущего инструмента. *Обтачивание наружных и растачивание внутренних конических поверхностей средней длины* (рис. 5.13, ж, о) производят с наклонным движением подачи, при повороте каретки верхнего суппорта.

5.5. Обработка заготовок на сверлильных и расточных станках

5.5.1. Характеристика метода сверления

Основное назначение *сверлильных станков* – обработка отверстий в заготовках. *Сверлением* получают сквозные и несквозные (глухие) отверстия в сплошном материале и обрабатывают предварительно полученные отверстия в целях увеличения их размеров, повышения точности и снижения шероховатости поверхности.

Сверление осуществляют при сочетании вращательного движения инструмента вокруг оси – главного движения резания и его поступательного движения вдоль оси – движения подачи. Оба движения на сверлильном станке, как правило, сообщают инструменту.

Процесс резания при сверлении протекает в более сложных условиях, чем при точении, так как затруднены отвод стружки и подвод охлаждающей жидкости к режущим кромкам инструмента. Кроме того, скорость резания изменяется вдоль режущей кромки от максимального значения на периферии сверла до нулевого значения у центра.

5.5.2. Типы сверлильных станков

Вертикально-сверлильные станки (рис. 5.14, а) предназначены для обработки заготовок небольших размеров, максимальный диаметр сверления – 100 мм. Широкая универсальность и возможность автоматизации способствует

их использованию во всех отраслях промышленности. На *горизонтально-сверлильных станках* получают глубокие отверстия специальными свёрлами.

Радиально-сверлильные станки (рис. 5.14, б) используются для обработки отверстий в крупногабаритных заготовках. Эти станки универсальные их применяют в единичном и мелкосерийном производстве.

Вертикально-сверлильные (рис. 5.14, в) и *радиально-сверлильные станки с ЧПУ* широко используются в единичном и мелкосерийном производстве. Простота переналадки позволяет выполнять на них по автоматическому циклу обработку различных видов заготовок. На одношпиндельных сверлильных полуавтоматах и автоматах циклы обработки отверстий полностью автоматизированы. Они характеризуются высокой производительностью и используются в крупносерийном и массовом производстве.

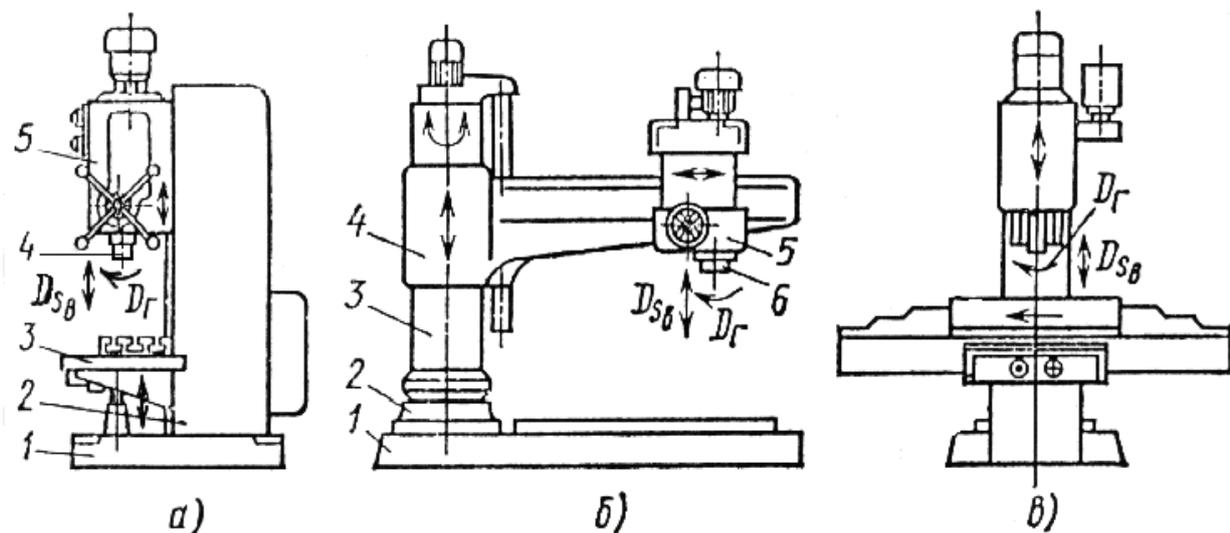


Рис. 5.14. Основные типы сверлильных станков

Конструкции сверлильных станков различных типов имеют много общего. На фундаментной плите 1 *вертикально-сверлильного станка* (рис. 5.14, а) смонтирована колонна 2. На её вертикальных направляющих устанавливают и закрепляют стол 3, на котором помещают заготовку. Инструмент закрепляют в шпинделе 4. В сверлильной головке 5, смонтированной на колонне, размещают коробки скоростей и подачи. Инструмент вместе со шпинделем совершает вращательное главное движение резания и вертикальное движение подачи. Взаимное положение стола и сверлильной головки устанавливают в соответствии с размерами заготовки и фиксируют перед началом обработки. Для обработки каждого последующего отверстия заготовку необходимо переустановить так, чтобы ось инструмента совпала с осью обрабатываемого отверстия.

На неподвижной колонне 2 *радиально-сверлильного станка* (рис. 5.14, б) смонтирована поворотная колонна 3. По ней в вертикальном направлении перемещается и устанавливается в нужном положении траверса

4. По её горизонтальным направляющим перемещается сверлильная головка 5, в которой расположены коробки скоростей и подачи. Шпиндель 6 с закреплённым инструментом совершает вращательное главное движение резания и вертикальное движение подачи. Поворотом траверсы и перемещением сверлильной головки осуществляют совмещение осей шпинделя и обрабатываемого отверстия при неподвижной заготовке.

5.5.3. Режущий инструмент и приспособления для закрепления инструмента и заготовок

Для обработки заготовок на сверлильных станках применяют свёрла, зенкеры, развёртки, метчики и т. д. *Свёрла* по конструкции делят на спиральные, центровочные и специальные. Наиболее распространены спиральные сверла. *Спиральное сверло* (рис. 5.15) имеет рабочую часть l_1 , шейку l_2 , хвостовик l_3 и лапку l_4 . Хвостовик служит для закрепления сверла на станке, лапка предохраняет хвостовик при выбивании сверла из шпинделя станка. Рабочая часть имеет режущую l_5 и направляющую l_6 части с винтовыми канавками. На рабочей части сверла имеются две главные режущие кромки, поперечная режущая кромка (перемычка), две вспомогательные режущие кромки. Вдоль винтовых канавок расположены две узкие ленточки, обеспечивающие направление сверла при резании.

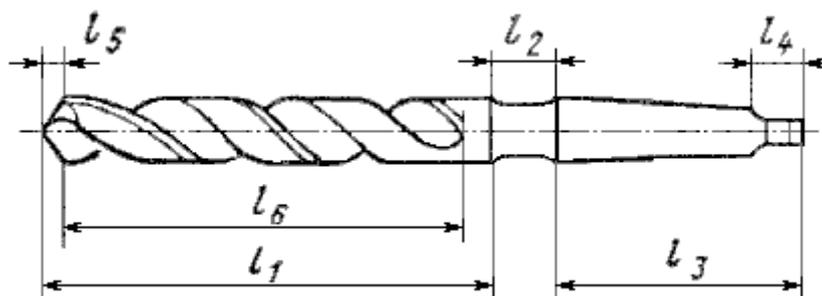


Рис. 5.15. Элементы спирального сверла с коническим хвостовиком

Зенкеры используют для обработки отверстий, полученных сверлением, литьем или ковкой. Зенкеры делят на цилиндрические (рис. 4.16, а) и конические. В отличие от свёрл, зенкеры снабжены тремя или четырьмя главными режущими кромками и не имеют поперечной режущей кромки.

Зенковки (рис. 5.16, в) и *цековки* (рис. 5.16, б, г) – многолезвийные режущие инструменты для обработки конических, цилиндрических и торцовых входных участков отверстий.

Развёртки – многолезвийный инструмент для окончательной обработки отверстий. Развёртки имеют 6–12 главных режущих кромок, расположенных на режущей части с направляющим конусом. Различают развёртки цилиндрические (рис. 5.16, д, е) и конические, цельные с хвостовиком и насадные.

Комбинированный инструмент (рис. 5.16, ж) применяют для повышения производительности в крупносерийном и массовом производстве.

Метчики (рис. 5.16, з) предназначены для нарезания внутренней резьбы и представляют собой винт, на котором прорезаны прямые или винтовые канавки, в результате чего образуются режущие кромки.

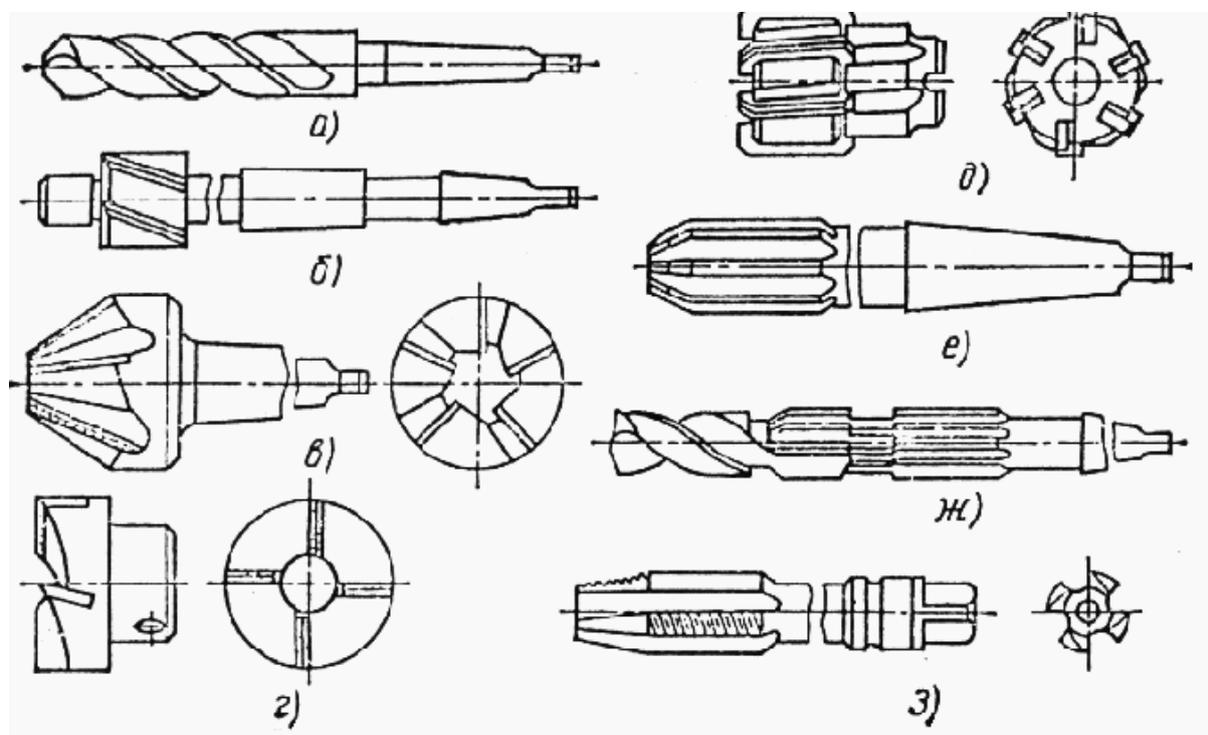


Рис. 5.16. Режущие инструменты, применяемые на сверлильных станках

Режущие инструменты закрепляют в шпинделе станка непосредственно с помощью конического хвостовика или с применением *переходных конических втулок*. Инструменты небольших диаметров с цилиндрическим хвостовиком закрепляют в различных по конструкции *патронах*.

На станках с инструментальными магазинами инструмент крепят в специальных унифицированных втулках (*оправках*).

Заготовки на сверлильных станках закрепляют с помощью универсальных и специальных приспособлений. Универсальные приспособления применяют в единичном и мелкосерийном производстве. К ним относят *машинные тиски, прижимные планки, призмы со струбцинами, трехкулачковые патроны* и т. д. Специальные приспособления применяют в крупносерийном и массовом производстве для быстрой и точной установки заготовки относительно инструмента. Каждое приспособление, как правило, может быть использовано только для одной заготовки. К таким приспособлениям относят *кондукторы*. Они имеют направляющие втулки, обеспечивающие заданное положение инструмента относительно заготовки.

5.5.4. Основные виды работ на сверлильных станках

Схемы обработки заготовок приведены на рис. 5.17.

Сверлением (рис. 5.17, а) получают сквозные и глухие цилиндрические поверхности. *Рассверливание* спиральным сверлом (рис. 5.17, б) производят для увеличения диаметра отверстия. Диаметр отверстия под рассверливание выбирают так, чтобы поперечная режущая кромка в работе не участвовала.

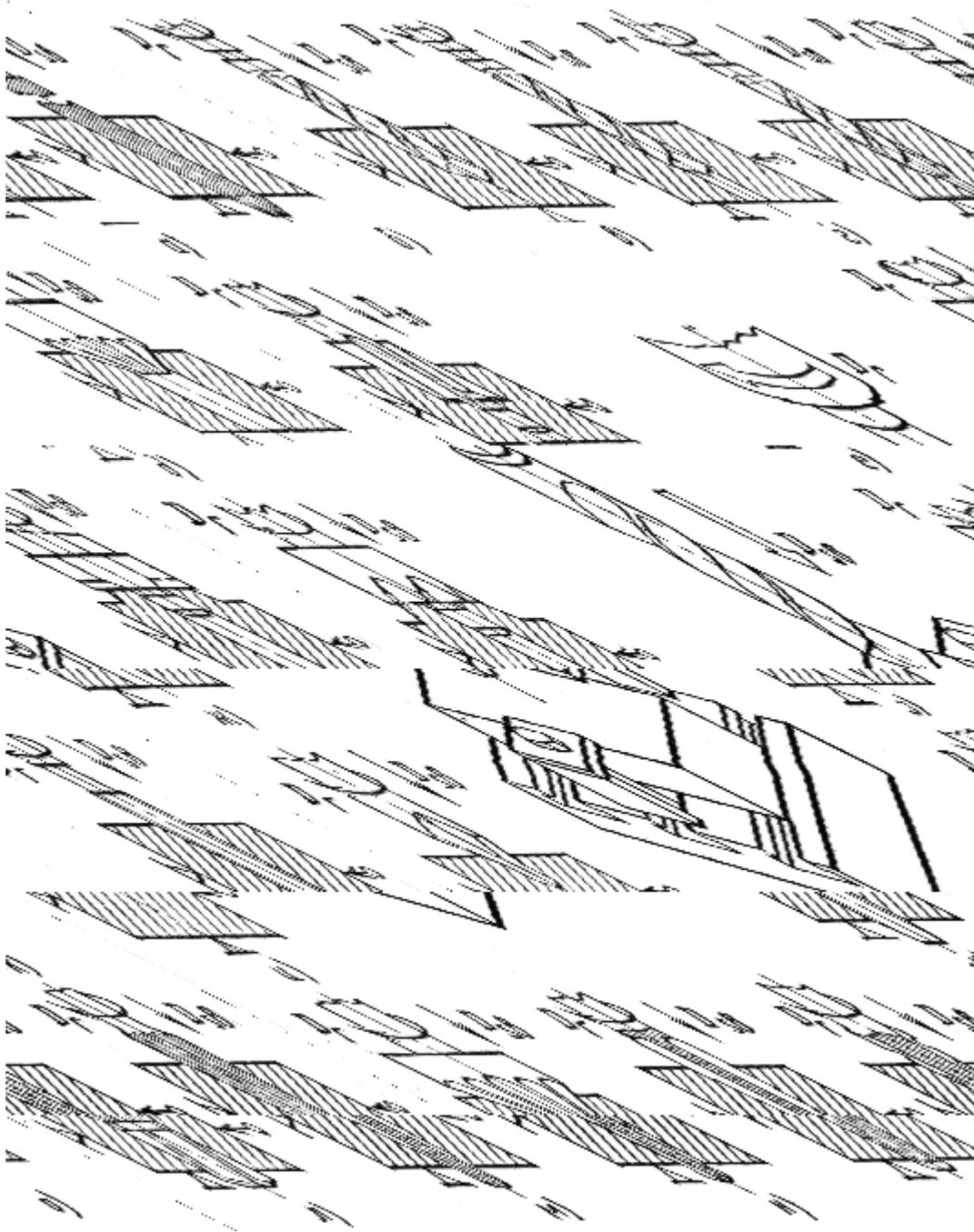


Рис. 5.17. Схемы обработки заготовок на сверлильных станках

Зенкерование (рис. 5.17, в) также применяют для увеличения диаметра отверстия. В отличие от рассверливания, зенкерование обеспечивает большую производительность и точность обработки.

Развёртыванием (рис. 5.17, г) получают высокую точность и малую шероховатость обработанной поверхности. Развёртывают цилиндрические и конические поверхности. Для развёртывания конических отверстий цилиндрические отверстия в заготовке сначала обрабатывают коническим ступенчатым зенкером (рис. 5.17, м), затем конической развёрткой со стружкоразделительными канавками (рис. 5.17, н) и окончательно – конической развёрткой с гладкими режущими кромками (рис. 5.17, о).

Зенкованием обрабатывают конические углубления под головки винтов и болтов (рис. 5.17, е). Некоторые зенковки имеют направляющую часть, которая обеспечивает соосность конического углубления и основного отверстия. *Цекованием* обрабатывают цилиндрические углубления (рис. 5.17, д) и торцовые плоскости (рис. 5.17, ж, з), которые являются опорными поверхностями головок болтов, винтов, гаек. Перпендикулярность торца по отношению к основному отверстию достигается наличием у цельной цековки (рис. 5.17, д, ж) и у пластинчатого резца (рис. 5.17, з) направляющей части. *Нарезание резьбы* производят метчиком (рис. 5.17, к). Комбинированным инструментом получают *сложные поверхности* (рис. 5.17, и, л).

5.5.5. Назначение и типы расточных станков

Формообразование поверхностей на *расточных станках* выполняется за счет сочетания главного вращательного движения резания, сообщаемого расточному резцу или другому режущему инструменту, и движения подачи, сообщаемого инструменту или заготовке. Направление движения подачи может быть продольным, поперечным, радиальным и вертикальным – в зависимости от характера обрабатываемой поверхности.

Выпускаются следующие типы расточных станков: координатно-расточные, горизонтально-расточные и алмазно-расточные (рис. 5.18). *Координатно-расточные станки* (рис. 5.18, а) бывают одностоечные и двухстоечные и предназначены для обработки отверстий с высокой точностью формы, размеров и взаимного расположения. Обработку производят в специальных термостатных помещениях, в которых поддерживается температура $20 \pm 1^\circ\text{C}$.

Горизонтально-расточные станки (рис. 5.18, б) предназначены для обработки, как правило, заготовок корпусных деталей. Координатно- и горизонтально-расточные станки выпускаются с различными системами ЧПУ и применяются в мелкосерийном производстве.

На *алмазно-расточных станках* (рис. 5.18, в) обрабатывают с высокой точностью цилиндрические отверстия в корпусных заготовках небольших

размеров, обработка ведётся по автоматическому циклу. Эти станки применяют в крупносерийном и массовом производстве.

Наиболее распространены *горизонтально-расточные станки* (рис. 5.18, б). На станине 1 неподвижно закреплена передняя стойка 7. По её вертикальным направляющим перемещается шпиндельная бабка 6 со шпинделем 5. Стол 4 перемещается по продольным направляющим станины. В его поперечных направляющих смонтированы салазки 3, на которых установлен поворотный стол 2.

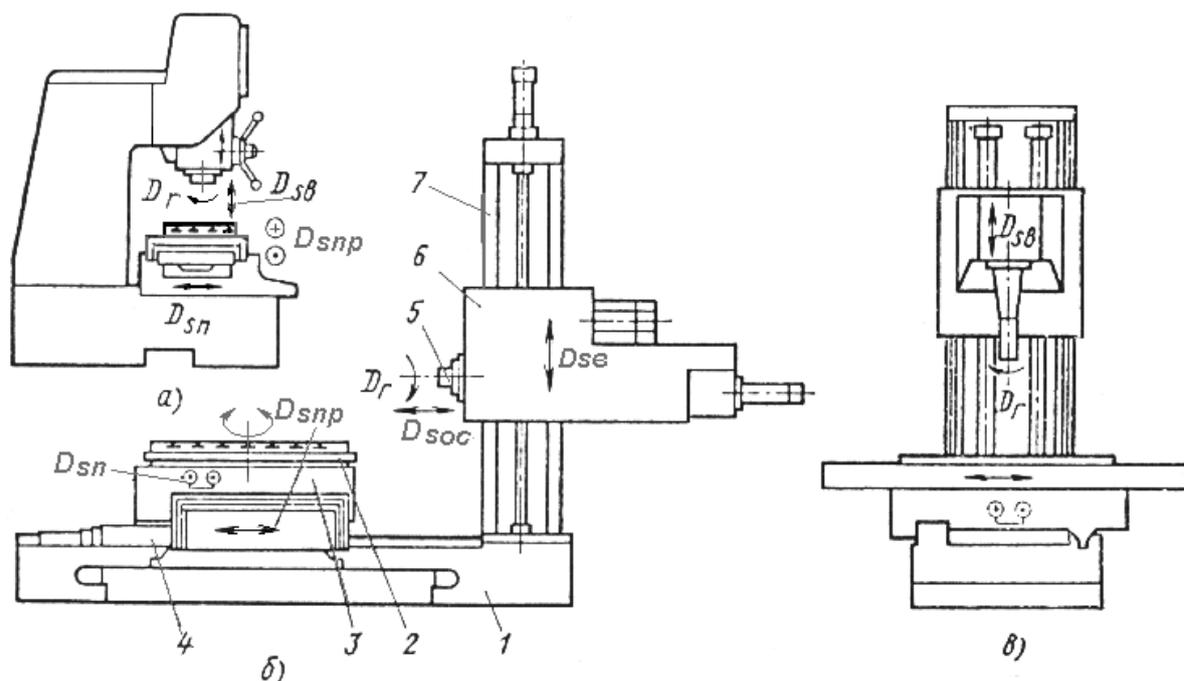


Рис. 5.18. Основные типы расточных станков

Вращательное главное движение D_r совершает инструмент, установленный в шпинделе. Движение подачи может совершать как инструмент – осевое перемещение шпинделя D_{soc} , вертикальное перемещение D_{sb} шпиндельной бабки, так и заготовка – продольное перемещение D_{sn} стола или поперечное перемещение D_{sn} салазок. Поворотный стол позволяет обрабатывать заготовку с разных сторон без переустановки её на столе.

5.5.6. Режущий инструмент и схемы обработки заготовок на расточных станках

На расточных станках используют расточные резцы (проходные, подрезные, канавочные, резьбовые), применяют также свёрла, зенкеры, развёртки, метчики, фрезы.

Наибольшее распространение имеет расточной инструмент, выполненный в виде *консольной расточной оправки 1* с закрепленным в ней стержневым резцом 2 (рис. 5.19, а).

Установку резца на заданный диаметр отверстия выполняют регулированием его вылета. Настройка инструмента облегчается при использовании *резцов-вставок* с микрометрическим регулированием размера (рис. 5.19, б).

Расточными головками называют расточные оправки, у которых резцы установлены на диаметрально противоположных сторонах (рис. 5.19, в, г). Для подрезки применяют резцы, режущая часть которых выполнена с углом в плане $\varphi = 90^\circ$ (рис. 5.19, г).

На станках с ЧПУ применяют *сборный расточной инструмент*, который включает в себя унифицированный хвостовик 1 (рис. 5.19, д), удлинительный элемент 2 и головку 3.

Растачивание цилиндрических отверстий производят расточными проходными резцами (рис. 5.20, а). *Подрезание торцов* небольших размеров выполняют инструментом для подрезных работ (рис. 5.20, б). *Внутренние цилиндрические поверхности очень большого диаметра* растачивают расточным резцом, установленным на планшайбе станка в оправке (рис. 5.20, в). Главное движение совершает инструмент, вращающийся вместе с планшайбой. Аналогичным образом обрабатывают *короткие наружные цилиндрические поверхности* (рис. 5.20, г).

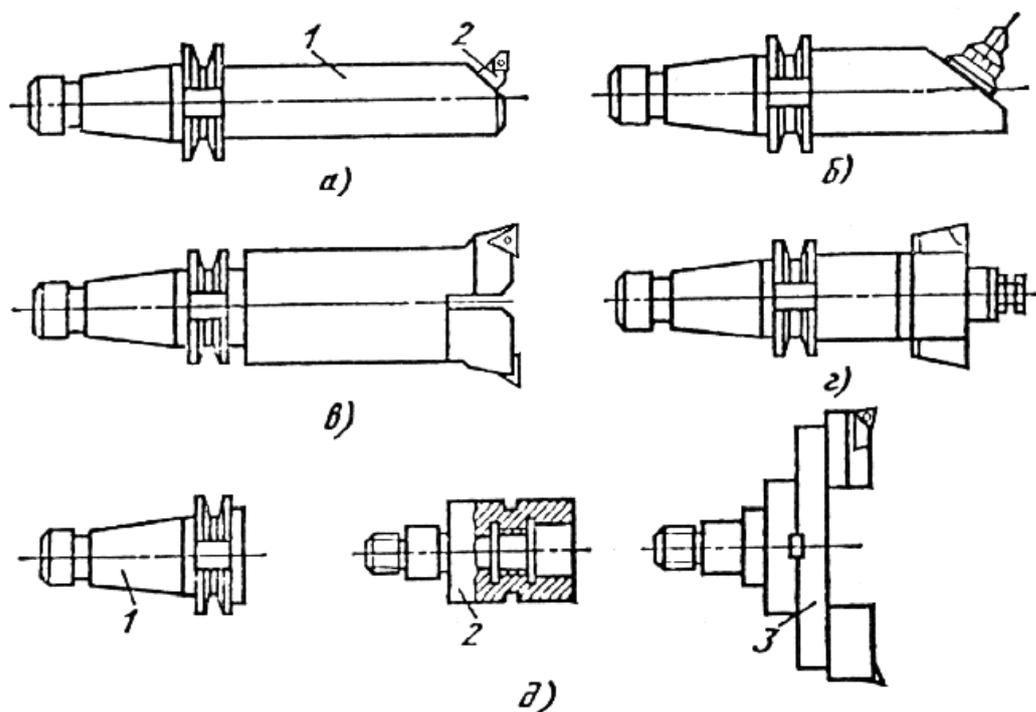


Рис. 5.19. Режущие инструменты, применяемые на расточных станках

Наружные торцовые поверхности, внутренние канавки и другие аналогичные элементы деталей обрабатывают соответствующими резцами, закреплёнными в радиальном суппорте. Резец, вращаясь, перемещается с радиальным движением подачи (рис. 5.20, д, е).

На координатно-расточных станках можно обрабатывать отверстия с очень высокой точностью и обеспечивать точное расстояние между отверстиями, так как настройка выполняется с помощью специальных оптических устройств.

Алмазно-расточные станки имеют высокую точность и жёсткость, растачивание на таких станках обеспечивает высокое качество поверхности.

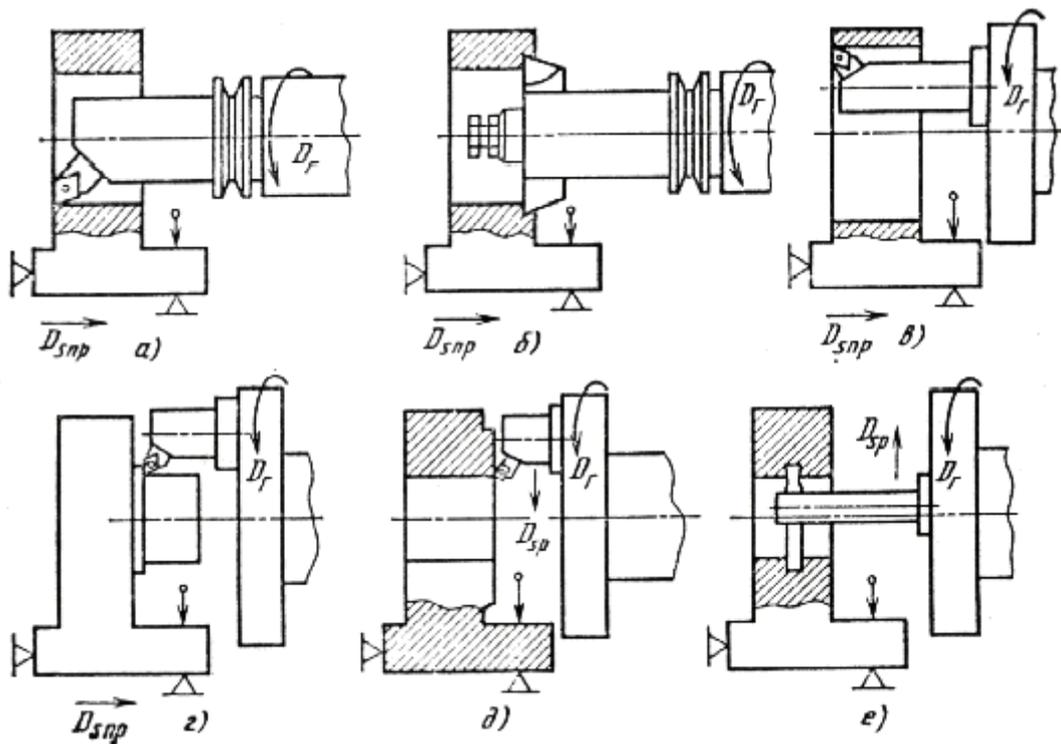


Рис. 5.20. Схемы обработки заготовок на расточных станках

5.6. Обработка заготовок на фрезерных станках

5.6.1. Характеристика метода фрезерования

Фрезерование – это высокопроизводительный способ формообразования поверхностей деталей многолезвийным режущим инструментом – фрезой. Для фрезерования характерно непрерывное вращательное главное движение инструмента 2 и поступательное движение подачи заготовки 1 (рис. 5.21). В некоторых случаях заготовка совершает круговое движение подачи (карусельно-фрезерные и барабанно-фрезерные станки).

Особенность процесса фрезерования – прерывистость резания каждым зубом фрезы. Зуб фрезы выполняет работу резания только на некоторой части оборота, а затем продолжает движение, не касаясь заготовки до следующего врезания.

Цилиндрическое (рис. 5.21, а) и *торцовое* (рис. 5.21, б) фрезерование, в зависимости от направления вращения фрезы и направления подачи, осуществляют двумя способами:

1) против движения подачи (*встречное фрезерование*), когда направление движения подачи противоположно направлению главного движения резания (рис. 5.21, в);

2) по движению подачи (*попутное фрезерование*), когда направление движения подачи и главного движения резания совпадают (рис. 5.21, г).

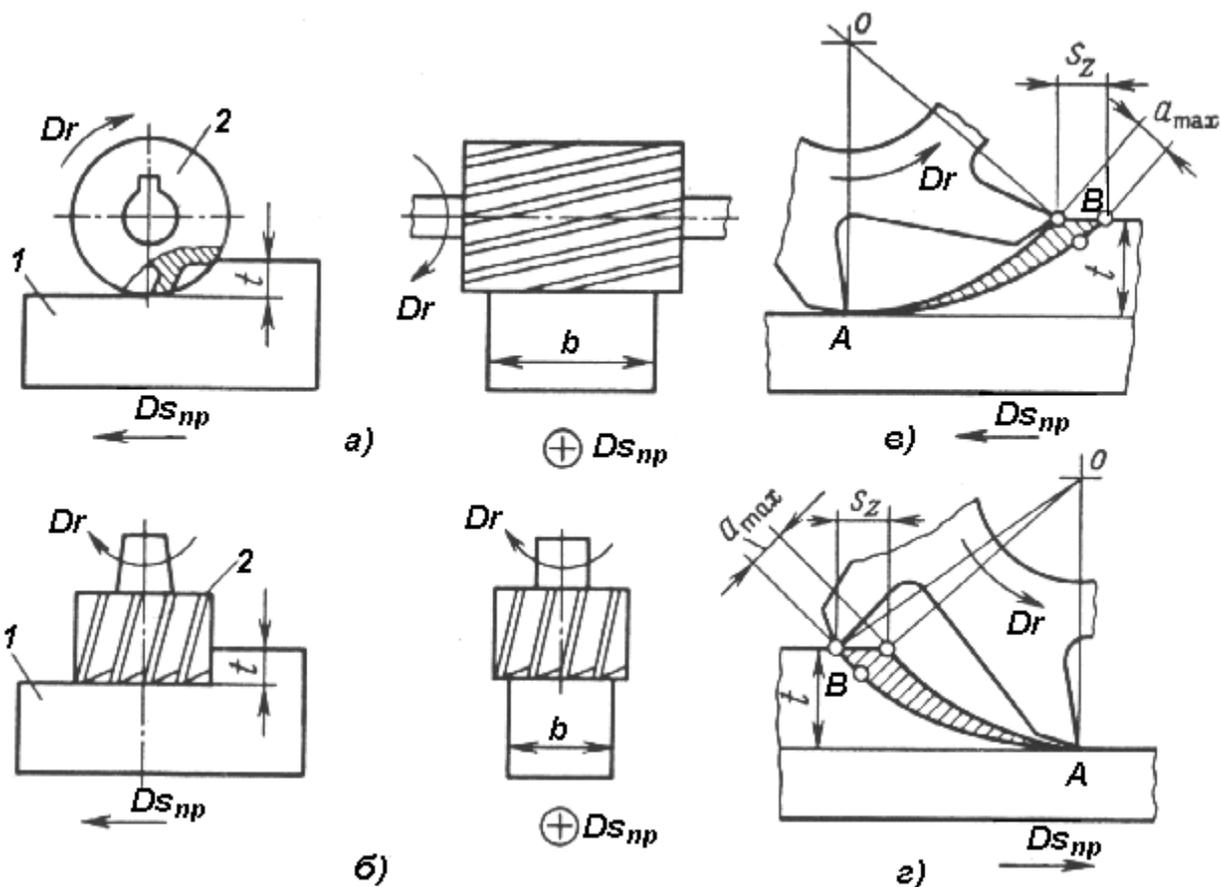


Рис. 5.21. Схемы фрезерования торцевой и цилиндрической фрезами

При встречном фрезеровании нагрузка на зуб фрезы возрастает от нуля в точке А до максимума в точке В, при этом сила, действующая на заготовку, стремится оторвать её от стола, что приводит к вибрациям и увеличению шероховатости обработанной поверхности. Преимуществом такого фрезерования является работа зубьев фрезы «из-под корки», т. е. зуб подходит к твёрдому поверхностному слою снизу. Недостатком является начальное скольжение зуба по наклёпанной поверхности, что вызывает повышенный износ фрезы.

При попутном фрезеровании зуб сразу начинает срезать слой максимальной толщины a_{\max} и испытывает максимальную нагрузку, это исключает начальное проскальзывание, уменьшает износ фрезы и шероховатость обработанной поверхности. Сила, действующая на заготовку, прижимает её к столу, что уменьшает вибрации.

5.6.2. Типы фрезерных станков

Горизонтально-фрезерные (рис. 5.22, а) и вертикально-фрезерные (рис. 5.22, б) станки относят к универсальному оборудованию. Их выпускают как с ручным управлением, так и с ЧПУ. Используют для выполнения широкого круга фрезерных работ на заготовках небольших размеров в единичном и мелкосерийном производствах.

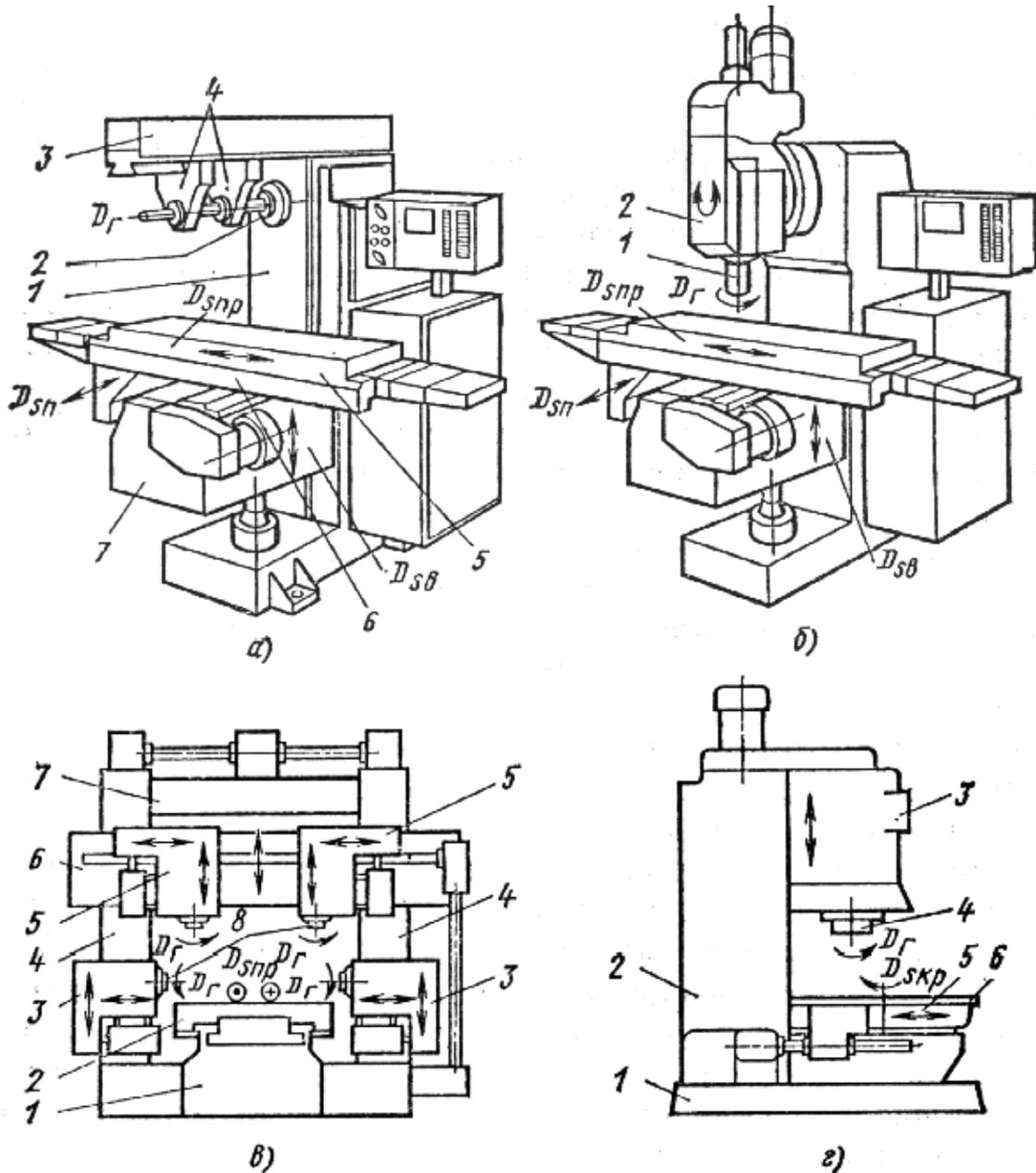


Рис. 5.22. Основные типы фрезерных станков

В станине 1 универсального горизонтально-фрезерного станка с ЧПУ (рис. 5.22, а) смонтирован шпиндель 2, в котором закрепляют инструменты. На направляющих хобота 3 устанавливают подвески 4, являющиеся дополнительными опорами для длинной оправки с инструментом. Фреза со шпинделем совершает вращательное движение D_r . Заготовку закрепляют на столе 5.

Вместе со столом она совершает продольное $Ds_{пр}$, с салазками 6 – поперечное $Ds_{п}$ и с консолью 7 – вертикальное $Ds_{в}$ движения подачи.

Универсальный вертикально-фрезерный станок с ЧПУ (рис. 5.22, б) отличается вертикальным расположением оси шпинделя 1 и тем, что шпиндельная головка 2 может поворачиваться в плоскости продольного движения подачи.

Продольно-фрезерные станки могут быть одно- и двухстоечными. На двухстоечных продольно-фрезерных станках выполняют обработку заготовок крупных корпусных деталей сразу несколькими фрезами. По продольным направляющим станины 1 (рис. 5.22, в) перемещается стол 2, на котором устанавливают одну или несколько заготовок. Левую и правую шпиндельные бабки 3 предварительно устанавливают в нужном положении на левой и правой стойках 4, а вертикальные шпиндельные бабки 5 – на траверсе 6. Траверса может перемещаться по вертикальным направляющим стоек 4. Для жёсткости стойки соединены порталом 7. Конструкции шпиндельных бабок позволяют всем шпинделям 8 совершать главное движение Dr с различными скоростями.

Карусельно-фрезерные станки (рис. 5.22, г) применяют в массовом производстве для обработки заготовок небольших размеров. На станине 1 закреплена стойка 2, по вертикальным направляющим которой перемещается фрезерная головка 3. Она имеет два шпинделя 4. По поперечным направляющим станины перемещаются салазки 5, несущие круглый стол 6, который вращается относительно вертикальной оси (круговая подача $Ds_{кр}$).

5.6.3. Режущий инструмент и технологическая оснастка фрезерных станков

При фрезеровании применяют фрезы различных типов: цилиндрические (рис. 5.23, а), торцовые (рис. 5.23, б, в), дисковые (рис. 5.23, г), концевые (рис. 5.23, д), угловые (рис. 5.23, е), шпоночные (рис. 5.23, ж), фасонные (рис. 5.23, з).

Фрезы бывают цельными или сборными. Режущие кромки могут быть прямыми или винтовыми, а зубья – остроконечными (рис. 5.23, и) или затупленными (рис. 5.23, к).

Цельные фрезы изготавливают из инструментальных сталей. У *сборных фрез* зубья (ножи) выполняют из быстрорежущих сталей или оснащают пластинами из твёрдых сплавов и закрепляют в корпусе фрезы пайкой или механически.

Способ закрепления фрезы на станке зависит от её конструкции. Фрезы с осевым отверстием называют *насадными* и закрепляют с помощью центровых или концевых оправок. Фрезы, имеющие конический или цилиндрический хвостовик, называют *хвостовыми*. Фрезы с коническим хвостовиком закрепляют или непосредственно в коническом отверстии шпинделя или че-

рез *переходные втулки*. Для закрепления фрез с цилиндрическим хвостовиком используют различные по конструкции *патроны*, устанавливаемые в шпинделе станка как концевые оправки.

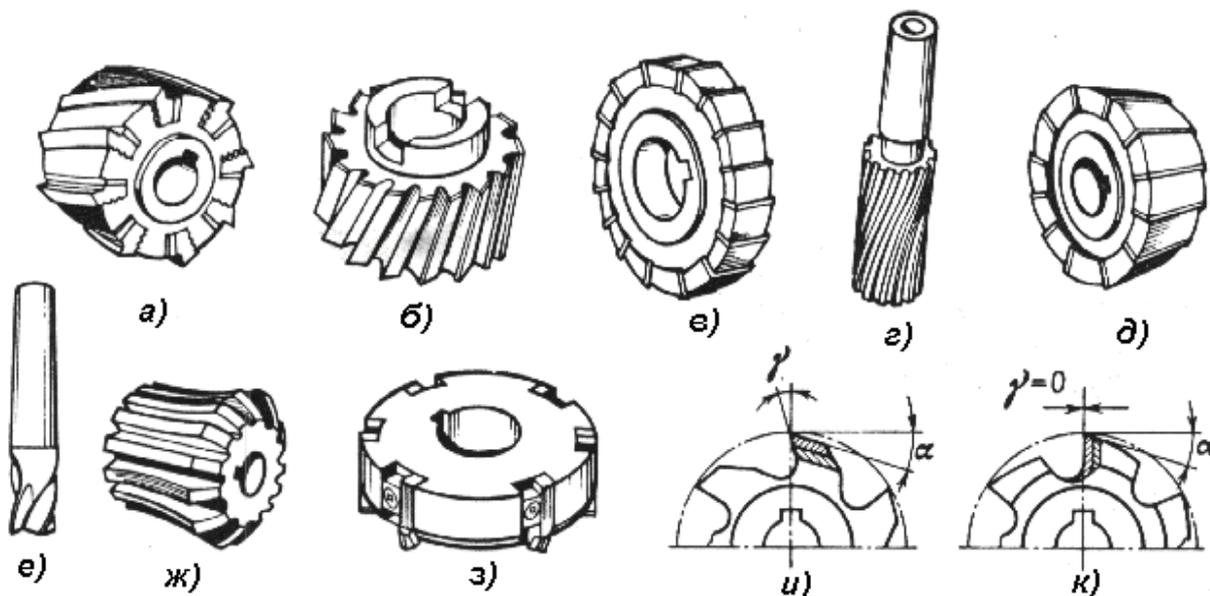


Рис. 5.23. Типы фрез

Для закрепления заготовок на фрезерных станках применяют универсальные и специальные приспособления. К универсальным относят *машинные тиски, прихваты, угольники, призмы*. При обработке большого числа одинаковых заготовок используют специальные приспособления, пригодные только для закрепления этих заготовок на данном станке.

Важной принадлежностью фрезерных станков являются *делительные головки*, которые служат для периодического поворота заготовок на требуемый угол и для непрерывного их вращения при фрезеровании винтовых канавок.

5.6.4. Схемы обработки заготовок на фрезерных станках

Вертикальные плоскости на горизонтально-фрезерном станке (рис. 5.24, а) фрезеруют торцовыми насадными фрезами, на вертикально-фрезерном (рис. 5.24, г) – концевыми фрезами. *Горизонтальные плоскости* обрабатывают цилиндрическими фрезами на горизонтально-фрезерном станке (рис. 5.24, б) и торцовыми насадными фрезами – на вертикально-фрезерном станке (рис. 5.24, в). *Наклонные плоскости небольшой ширины* получают на горизонтально-фрезерном станке одноугловой фрезой (рис. 5.24, д). *Широкие наклонные плоскости* обрабатывают на вертикально-фрезерном станке с поворотом шпиндельной головки (рис. 5.24, е) торцовой насадной или концевой фрезами. *Уступы и прямоугольные пазы* на горизонтально-фрезерном станке обрабатывают соответственно дисковыми двусторонними (рис. 5.24, ж) и трехсторонними (рис. 5.24, и) фрезами, а на вертикально-фрезерном – концевыми (рис. 5.24, з, к) фрезами.

Фасонные поверхности с криволинейной образующей и прямолинейной направляющей обрабатывают фасонными фрезами на горизонтально-фрезерном станке (рис. 5.24, л). *Пазы типа “ласточкин хвост”* и *T-образные* обрабатывают на вертикально-фрезерных станках. Сначала фрезеруют прямоугольный паз концевой фрезой, а затем концевой одноугловой (рис. 5.24, м) фрезой или фрезой для T-образных пазов (рис. 5.24, р). На горизонтально-фрезерном станке *шпоночные пазы* фрезеруют дисковыми фрезами (рис. 5.24, о), а на вертикально-фрезерном – концевыми (рис. 5.24, н). *Одновременную обработку нескольких поверхностей* на горизонтально-фрезерном станке производят набором фрез (рис. 5.24, н).

Те же работы выполняются и на других типах фрезерных станков.

5.7. Обработка заготовок на строгальных, долбёжных и протяжных станках

5.7.1. Характеристика строгания, долбления и протягивания

Формообразование поверхностей заготовок *строганием* на поперечно-строгальных станках и *долблением* характеризуется наличием двух движений: возвратно-поступательного движения резца (главное движение резания) и прерывистого прямолинейного движения подачи, направленного перпендикулярно к главному движению. На продольно-строгальных станках главное движение резания D_r сообщается столу с заготовкой, а движение подачи – суппорту с резцом.

Процесс резания при строгании и долблении прерывистый, и удаление слоя металла происходит только при прямом рабочем ходе. Во время обратного (вспомогательного) хода резец работу не производит.

Прерывистый процесс резания способствует охлаждению инструмента во время обработки, что в большинстве случаев исключает применение смазочно-охлаждающих жидкостей. Прерывистый процесс резания приводит к значительным динамическим нагрузкам на режущий инструмент, поэтому строгание и долбление осуществляют на умеренных скоростях резания.

Протягивание – процесс обработки внутренних (цилиндрических, многогранных, шлицевых и др.) и наружных (плоских или фасонных) поверхностей заготовок с помощью круглых, фасонных или плоских протяжек. Поступательное главное движение резания относительно неподвижной заготовки сообщается *протяжке* – многолезвийному режущему инструменту. Движение подачи при протягивании как самостоятельное движение инструмента или заготовки отсутствует. За величину подачи принимают подъём на зуб, т. е. разность размеров по высоте двух соседних зубьев протяжки. Величина подачи является одновременно и глубиной резания. Величина подачи в основном зависит от обрабатываемого материала, конструкции протяжки и жёсткости заготовки.

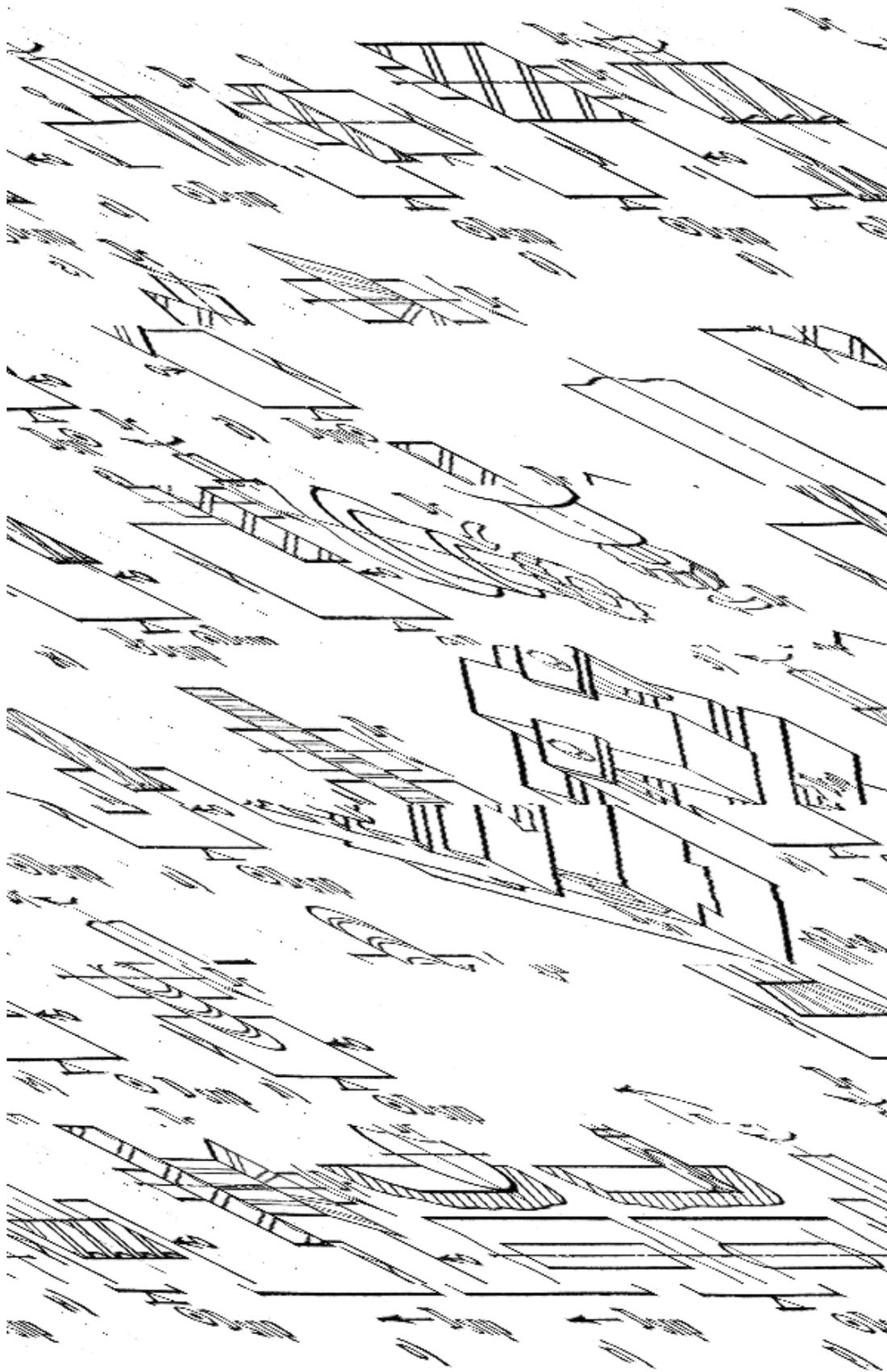


Рис. 5.24. Схемы обработки заготовок на фрезерных станках

5.7.2. Строгальные, долбёжные и протяжные станки

Поперечно-строгальный станок (рис. 5.25, а) состоит из основания 1, станины 2, траверсы 3, которая движется по вертикальным направляющим станины, и стола 4, установленного на траверсе. По направляющим станины перемещается ползун 7. Резец закрепляется в откидном резцедержателе 5, смонтированном на вертикальном суппорте 6. Движение подачи совершается во время холостых ходов ползуна.

Продольно-строгальные станки (рис. 5.25, б) бывают одно- и двух-стоечные. Станина 1 снабжена направляющими, по ним стол 2 совершает возвратно-поступательное главное движение резания, которое задается ему электродвигателем 13 через коробку скоростей 12. Станок имеет левую 3 и правую 8 стойки, скреплённые поперечиной 7. По направляющим стоек передвигается траверса 5, на которой установлены два верхних суппорта 6 и 9. Суппортам через коробку подач 10 задаётся горизонтальная (поперечная) подача. Боковые суппорты 4, 11 имеют горизонтальную (поперечную) и вертикальную подачи.

Долбёжный станок (рис. 5.25, в) имеет станину 1 с направляющими для салазок 2, 3 стола 4. По направляющим стойки 7 перемещается в вертикальном направлении ползун 6 с резцедержателем 5. Главное движение резания совершает ползун, а движения подачи (их три) – стол станка. Круговая подача задается червячной парой, а продольная и поперечная – винтовыми парами.

Горизонтально-протяжной станок для внутреннего протягивания (рис. 5.25, г) состоит из станины 1, насосной станции 2, гидроцилиндра 3, каретки 4, опорного кронштейна 5 и корыта 6. Протяжку вставляют в отверстие заготовки и закрепляют в патроне каретки 4. Каретка с протяжкой получают поступательное главное движение резания от штока поршня гидроцилиндра 3. Заготовка при протягивании опирается о поверхность кронштейна 5. После окончания протягивания заготовка падает в корыто 6, протяжка извлекается из каретки, которая возвращается в исходное положение и цикл обработки повторяется.

Вертикально-протяжной станок для наружного протягивания (рис. 5.25, д) состоит из основания 1, станины 5, насосной станции 4, каретки 3, стола 2. Заготовку устанавливают на столе станка. Протяжку закрепляют в каретке и от гидропривода сообщают ей вертикальное главное движение резания. Протяжка, опускаясь, обрабатывает заготовку.

Протяжные станки непрерывной обработки (рис. 5.25, е) являются станками высокой производительности. Заготовки 2 устанавливают в приспособлениях непрерывно движущейся тяговой цепи 1 и задают им поступательное главное движение резания относительно неподвижной протяжки 3.

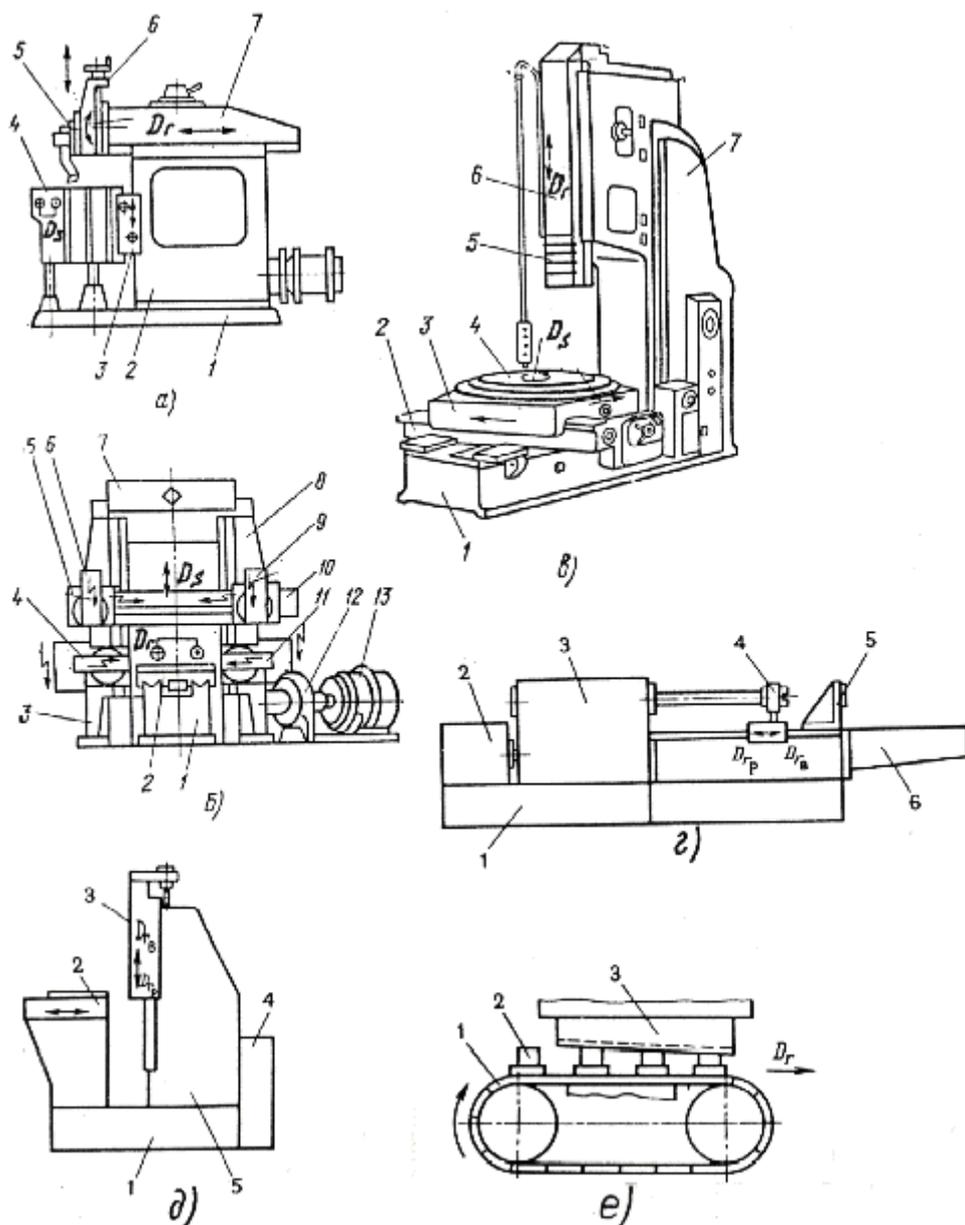


Рис. 5.25. Стругальные, долбежные и протяжные станки

5.7.3. Режущий инструмент для строгания, долбления и протягивания

В зависимости от назначения различают следующие типы **строгальных резцов** (рис. 5.26): *проходные* (б), *подрезные* (в), *отрезные* (г) и *фасонные*. Резцы выполняют правыми и левыми, черновыми и чистовыми; их конструкции аналогичны конструкциям токарных резцов, однако стержни этих резцов более массивны с учётом ударного характера работы и отличаются изогнутостью (рис. 5.26, а), которая позволяет при изгибе из-за перегрузки обеспечить отвод режущей кромки от заготовки.

Долбежные резцы выполняют трёх основных типов (рис. 5.26): *проходные* (д), *прорезные* (е) и *для шпоночных пазов* (ж). Долбежные резцы ра-

ботают на сжатие и отличаются от токарных и строгальных поперечным (относительно стержня) расположением передней поверхности.

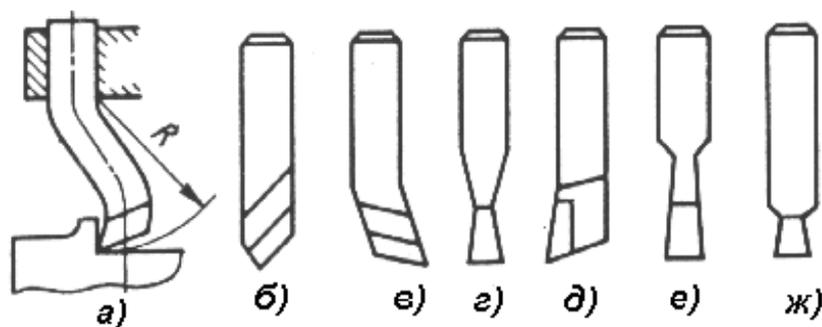


Рис. 5.26. Строгальные и долбежные резцы

Протяжки, в зависимости от типа обрабатываемых поверхностей, делят на внутренние и наружные, по конструкции – на цельные и сборные.

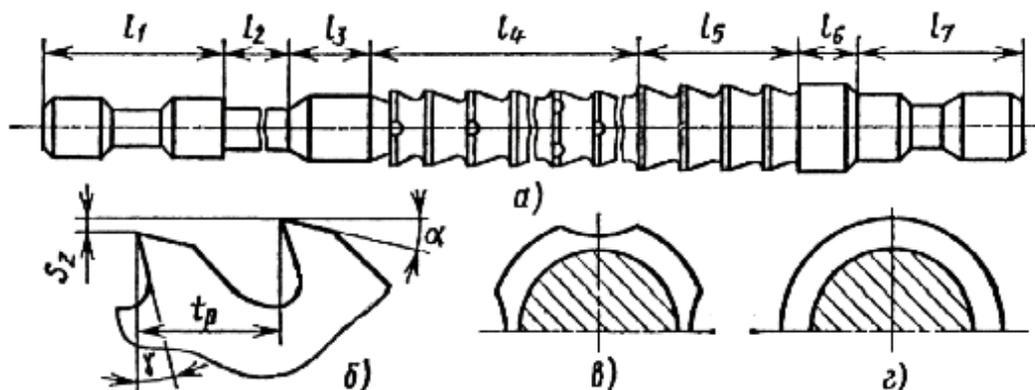


Рис. 5.27. Элементы круглой протяжки

Круглая протяжка предназначена для получения цилиндрических отверстий. Её передняя замковая часть l_1 (рис. 5.27, а) служит для закрепления протяжки в патроне каретки. Шейка l_2 облегчает подачу протяжки к рабочему патрону через отверстие в заготовке. Передняя направляющая часть l_3 служит для центрирования заготовки относительно оси протяжки. Её диаметр соответствует диаметру отверстия в заготовке.

На режущей части l_4 располагаются режущие зубья, которые срезают припуск. Шаг зубьев режущей части выбирают так, чтобы во впадине каждого зуба размещалась вся срезаемая стружка и в работе одновременно участвовало не менее трёх зубьев. На режущей части чередуются зубья с выкружками (рис. 5.27, в) и без них (рис. 5.27, г). Это облегчает стружкообразование и увеличивает стойкость инструмента.

Калибрующая часть l_5 придает обрабатываемой поверхности окончательный размер и шероховатость. Задняя направляющая часть l_6 служит для центрирования заготовки относительно протяжки до выхода из отверстия последнего зуба, что исключает перекосяк и поломку зубьев. Задняя замковая

часть l_7 предусматривается в тех случаях, когда протяжка закрепляется в патроне вспомогательной каретки.

Передний γ и задний α углы (рис. 5.27, б) измеряют в плоскости, перпендикулярной режущей кромке.

5.7.4. Схемы обработки заготовок на строгальных, долбёжных и протяжных станках

Обработку *горизонтальных плоскостей* на строгальных станках выполняют проходными резцами. При черновом строгании задают максимально возможную подачу и глубину резания (рис. 5.28, аI), а чистовое строгание осуществляют широким чистовым резцом при минимальной глубине резания. Детали на столе станка закрепляют в машинных тисках.

Вертикальные плоскости обрабатывают на продольно-строгальных станках проходными резцами, а на поперечно-строгальных – подрезными и проходными резцами, установленными под некоторым углом к обрабатываемой поверхности (рис. 5.28, аII), или на долбёжных станках (рис. 5.28, б).

Строгание *пазов и канавок* (рис. 5.28, аIII-IV) ведут прорезными резцами при вертикальной или поперечной подачах.

Долбление широко применяют для *нарезания цилиндрических зубчатых колёс зуборезным долбяком* (рис. 5.28, бV-VI) на зубодолбёжных станках. Зуборезный долбяк совершает вертикальное возвратно-поступательное главное движение резания Dr и радиальное движение подачи Ds . Кроме того, долбяку и заготовке задается круговое вращение n_d и n_z в период холостого хода долбяка.

Протяжные работы применяют после сверления, растачивания, зенкования, а также штамповки для чистовой обработки внутренних и наружных поверхностей.

Цилиндрические отверстия протягивают круглыми протяжками, а *шлицевые* (рис. 5.28, вVII) – фасонными многошлицевыми протяжками, воспроизводящими требуемую форму поверхностей. *Шпоночные пазы* протягивают плоскими шпоночными протяжками (рис. 5.28, вVIII) с направляющей втулкой.

На вертикально-протяжных станках протягивают плоские и фасонные поверхности (рис. 5.28, вIX) протяжками соответствующей формы.

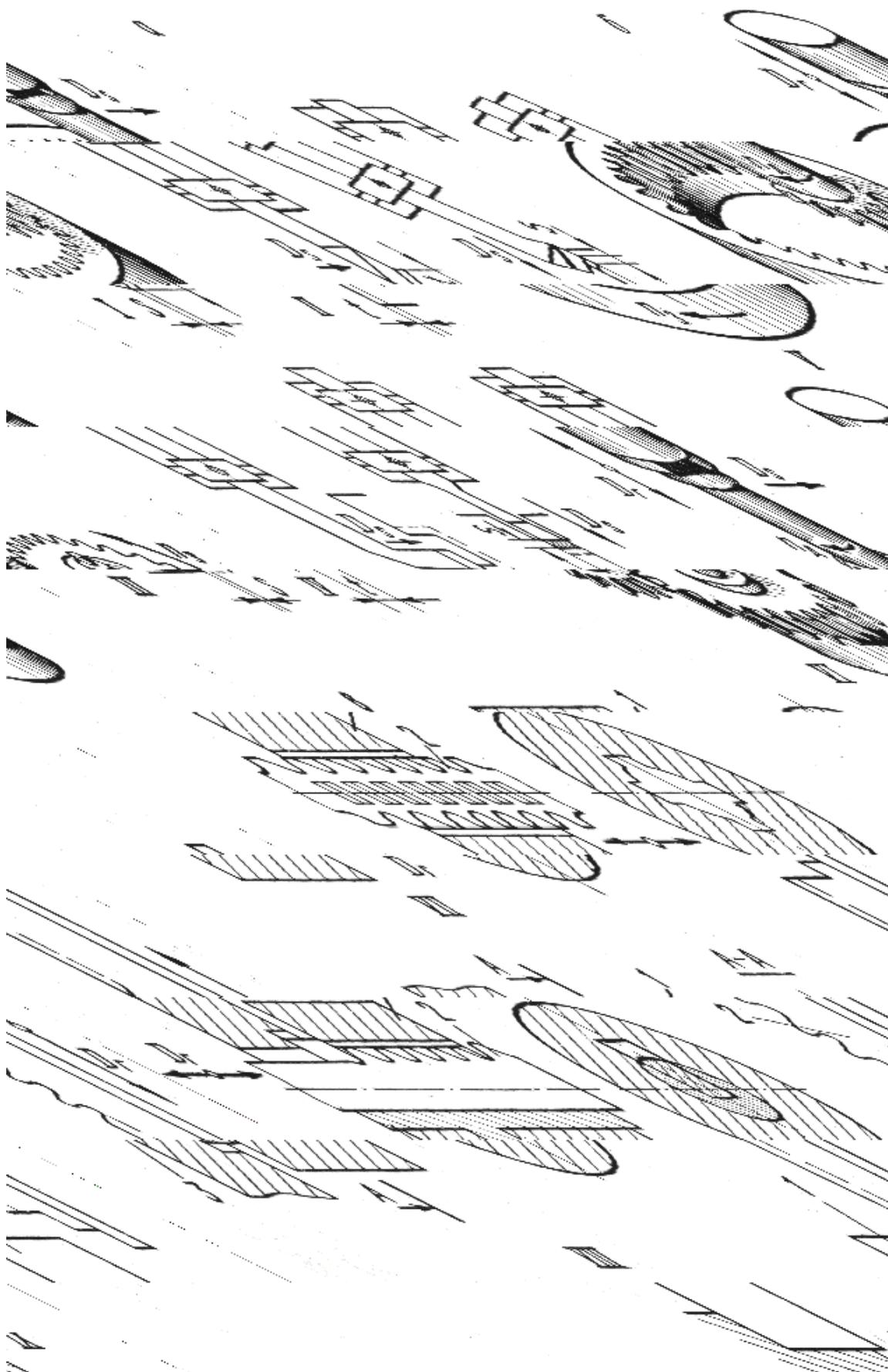


Рис. 5.28. Схемы строгания, долбления и протягивания

5.8. Обработка заготовок на шлифовальных станках

5.8.1. Характеристика метода шлифования

Шлифованием называют процесс обработки заготовок резанием с помощью абразивного инструмента, совершающего с высокой скоростью главное движение резания. Абразивные зёрна расположены в круге беспорядочно и удерживаются связующим материалом. Для формообразования поверхностей необходимо вращательное движение круга и относительное перемещение вдоль одной из координатных осей. При вращении круга в зоне его контакта с заготовкой часть зёрен срезает материал в виде очень большого числа тонких стружек. Процесс резания каждым зерном осуществляется почти мгновенно. Обработанная поверхность представляет собой совокупность микроследов абразивных зёрен и имеет малую шероховатость. Часть зёрен ориентирована так, что резать не может. Такие зёрна производят работу трения по поверхности резания.

Абразивные зёрна оказывают на заготовку существенное силовое воздействие, вызывают поверхностное пластическое деформирование материала, что приводит к упрочнению обработанной поверхности. Но этот эффект оказывается менее ощутимым, чем при обработке лезвийным инструментом. Тепловое и силовое воздействие на обработанную поверхность приводит к структурным превращениям и к образованию дефектного поверхностного слоя. Для уменьшения теплового воздействия процесс шлифования выполняют при обильной подаче смазочно-охлаждающих жидкостей.

Шлифование применяют для чистовой и отделочной обработки деталей с высокой точностью. Для заготовок из закалённых сталей шлифование является одним из наиболее распространённых методов формообразования.

5.8.2. Основные типы шлифовальных станков

Наиболее распространёнными шлифовальными станками являются круглошлифовальные, внутришлифовальные, плоскошлифовальные, бесцентровошлифовальные, заточные, а также специализированные станки.

Круглошлифовальные станки (рис. 5.29, а) имеют поворотную переднюю бабку 3, шлифовальную бабку 4 и заднюю бабку 5.

Бабки 3 и 4 можно повернуть на заданный угол вокруг вертикальной оси. Возвратно-поступательное перемещение стола 2 по станине 1 производится с помощью гидропривода 6.

Плоскошлифовальные станки с прямоугольным столом (рис. 5.29, б) имеют шлифовальную бабку 3, которая перемещается по направляющим стойки 4. Движение подачи производится в крайних положениях стола 5. Возвратно-поступательное движение стола по станине 1 осуществляется с помощью гидропривода 2.

Закрепление заготовок на шлифовальных станках зависит от метода шлифования. На круглошлифовальных станках заготовки шлифуют в центрах, расположенных на передней и задней бабках. Круговое движение подачи заготовки обеспечивает поводковое устройство, приводимое во вращение планшайбой. Возможно закрепление заготовок в кулачковых патронах. На плоскошлифовальных станках заготовки закрепляют с помощью магнитных плит, а также в зажимных приспособлениях. Станки снабжают специальными устройствами для правки круга после его износа, а также приспособлениями для балансировки (уравновешивания) круга.

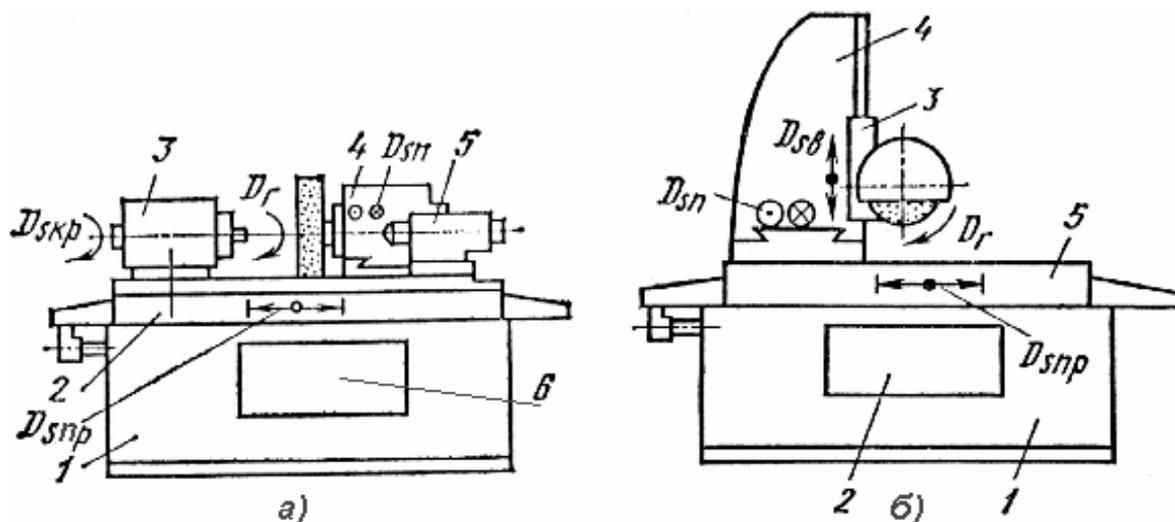


Рис. 5.29. Шлифовальные станки

5.8.3. Режущий абразивный инструмент

Абразивные инструменты различают по геометрической форме и размерам, типу абразивного материала, зернистости, связке, твердости и структуре. При изготовлении инструмента абразивные зёрна скрепляют друг с другом с помощью связки. Наиболее широко применяется связка керамическая, бакелитовая и вулканитовая. *Керамическую связку* приготавливают из глины, полевого шпата, кварца и других веществ, тонко измельчая и смешивая их в определенных пропорциях. *Бакелитовая связка* состоит в основном из синтетической смолы – бакелита. *Вулканитовая связка* представляет собой каучук, подвергнутый вулканизации для превращения его в прочный, твердый эбонит.

Алмазные круги состоят из корпуса и алмазоносного слоя. Корпус изготовлен из алюминия, пластмассы или стали. Толщина алмазоносного слоя обычно 1,5–3 мм.

Шлифовальные круги маркируются. Условные обозначения расположены в определенной последовательности: абразивный материал и его марка, номер зернистости, степень твердости, номер структуры, вид связки.

В процессе шлифования абразивные зёрна изнашиваются, затупляются, поры между зёрнами заполняются шлифовальными отходами. Поверхность круга теряет свою первоначальную форму, и точность обработки снижается. Для восстановления режущих свойств абразивные инструменты подвергают *правке*, обычно алмазом. Алмаз укреплен в специальной державке и перемещается относительно вращающегося круга, при этом удаляются затупившиеся зёрна и круг приобретает правильную геометрическую форму. Толщина слоя, удаляемая за один проход алмаза, не превышает обычно 0,03 мм.

Перед установкой на станок круги испытывают при вращении со скоростью, в 1,5 раза превышающей рабочую.

5.8.4. Схемы обработки заготовок на шлифовальных станках

На круглошлифовальных станках наиболее распространены методы шлифования в центрах. **Круглое шлифование** (рис. 5.30) выполняется при вращательном главном движении резания шлифовального круга и круговом движении подачи заготовки.

При *шлифовании с продольным движением подачи* (рис. 5.30, а) заготовка вращается и совершает возвратно-поступательное движение. В конце хода заготовки круг перемещается на расстояние, равное поперечной подаче, и при следующем ходе вновь срезается слой металла заданной глубины.

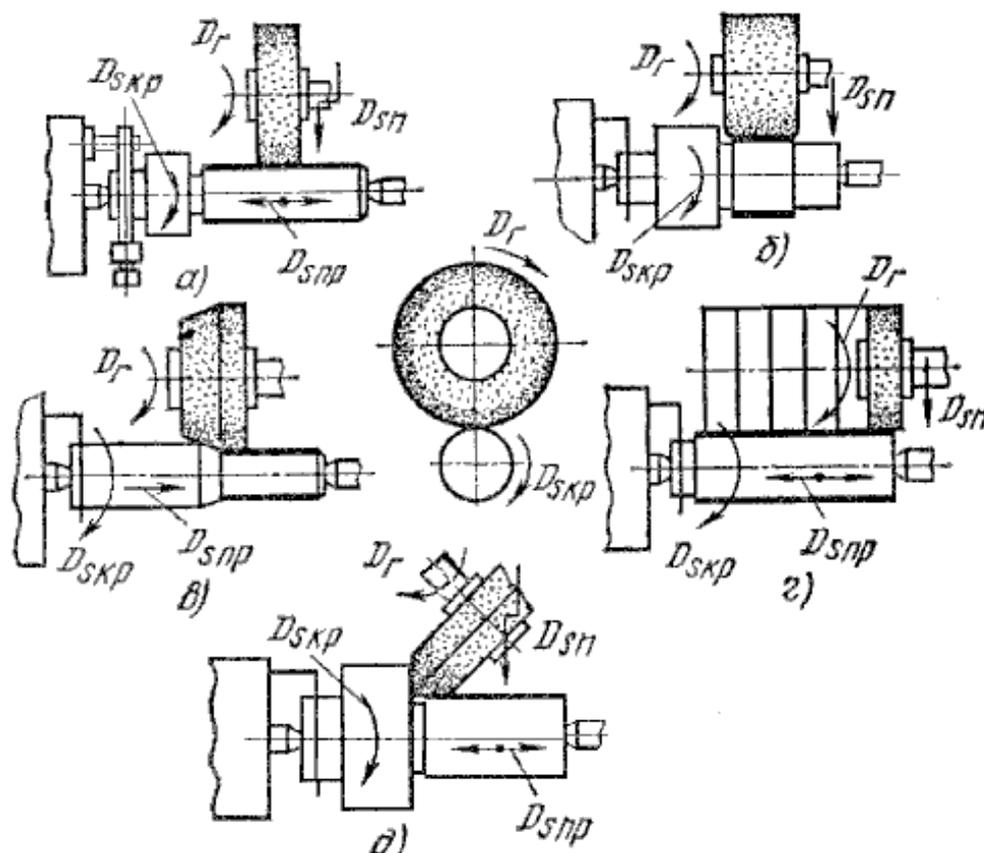


Рис. 5.30. Схемы круглого шлифования

Врезное шлифование (рис. 5.30, б) применяется, когда ширина шлифуемого участка меньше ширины шлифовального круга. Этот метод также используют в тех случаях, когда необходимо шлифовать фасонные поверхности и кольцевые канавки.

Глубинное шлифование (рис. 5.30, в) позволяет за один рабочий ход снять слой металла на всю необходимую глубину. Шлифовальный круг имеет конический участок длиной 8–12 мм, который удаляет основную часть срезаемого слоя, а цилиндрический участок зачищает обработанную поверхность.

При *шлифовании уступами* (рис. 5.30, г) производят обработку врезанием с поперечной подачей, периодически передвигая стол на 0,8–0,9 ширины круга. Затем выполняют несколько ходов с продольным движением подачи для зачистки поверхности при выключенной поперечной подаче.

Для *одновременной обработки цилиндрических и плоских (торцовых) поверхностей* шлифовальный круг заправляют специальным образом и поворачивают на определённый угол (рис. 5.30, д). Шлифование производят коническими участками круга.

Внутреннее шлифование выполняют двумя методами (рис. 5.31). При *шлифовании с продольным движением подачи* (рис. 5.31, а) заготовки закрепляют в трёхкулачковом патроне. Отверстия шлифуют на всю их длину либо часть длины, когда необходимо обрабатывать лишь определённые участки. На внутришлифовальных станках обрабатывают также внутренние торцовые, фасонные и конические поверхности.

Планетарное шлифование (рис. 5.31, б) применяют при обработке заготовок больших размеров. Заготовка неподвижно закрепляется на столе станка, шлифовальный круг вращается не только вокруг своей оси, но и вокруг оси отверстия, т. е. совершает планетарное движение, что аналогично круговому движению подачи. Периодически круг перемещается в радиальном направлении на глубину резания.

Методы *плоского шлифования* (рис. 5.32) делят на четыре основных вида. Заготовки 1 закрепляют на прямоугольных или круглых столах 2. Прямоугольные столы совершают возвратно-поступательные движения (продольное движение подачи), движение подачи на глубину резания производится в крайних положениях столов. Круглые столы совершают вращательные движения, обеспечивая круговое движение подачи.

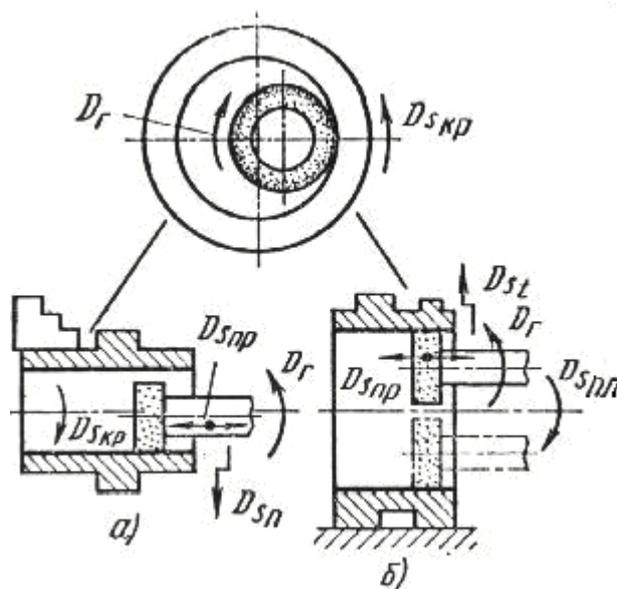


Рис. 5.31. Схемы внутреннего шлифования

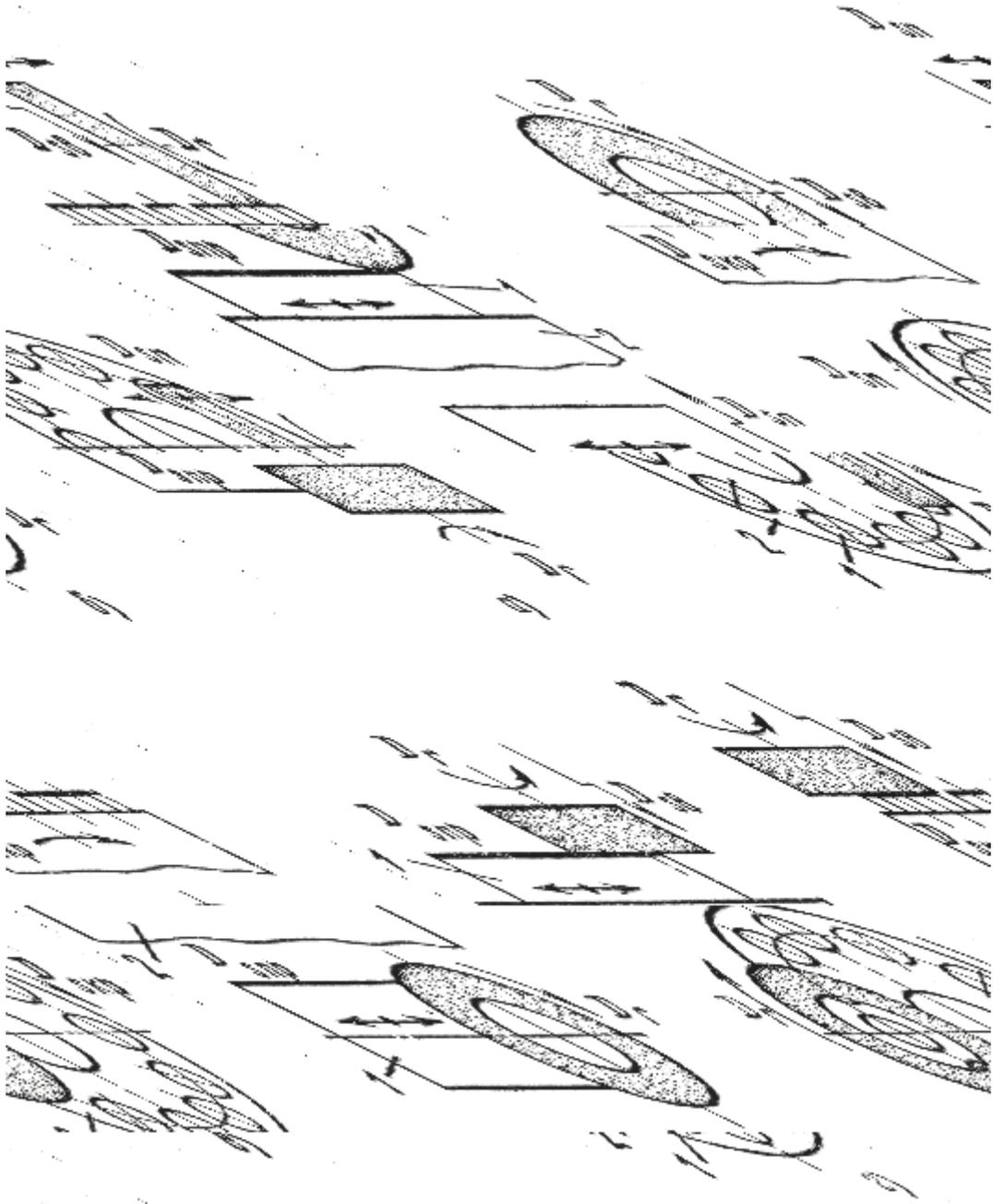


Рис. 5.32. Схемы плоского шлифования

Шлифование торцом круга (рис. 5.32, в, г) более производительно, так как одновременно в работе участвует большее число абразивных зёрен, однако *шлифование периферией круга* (рис. 5.32, а, б) позволяет выполнить большее число разнообразных работ.

При *бесцентровом шлифовании* (рис. 5.33) заготовку 2 не закрепляют, она располагается на ноже 3 и одновременно контактирует с двумя кругами – шлифующим 4 и ведущим 1, которые вращаются в одном направлении, но с разными скоростями. Трение между ведущим кругом и заготовкой больше, чем между заготовкой и шлифовальным кругом, поэтому заготовка

вращается со скоростью, близкой к окружной скорости ведущего круга. Перед шлифованием ведущий круг устанавливают под углом θ к оси заготовки. При разложении на составляющие вектора окружной скорости этого круга выделяется продольная составляющая (скорость продольной подачи V_s). С этой скоростью заготовка перемещается по ножу и шлифуется по всей длине (рис. 5.33, а).

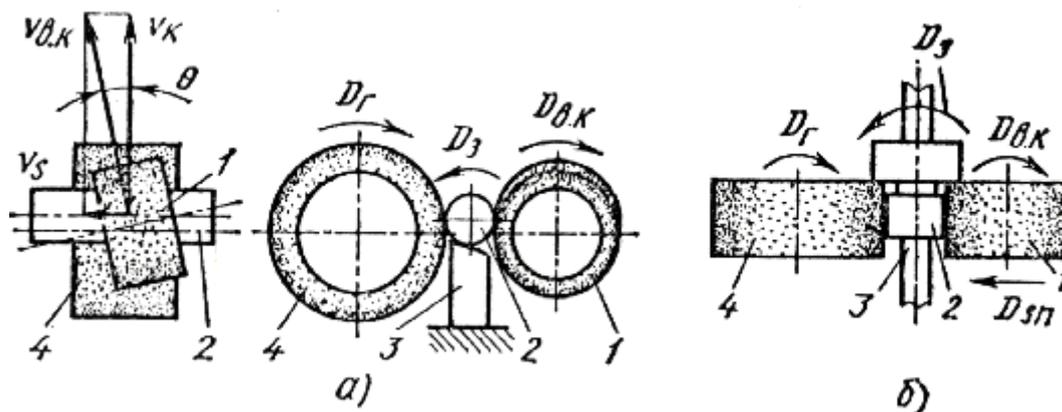


Рис. 5.33. Схема бесцентрового шлифования

При шлифовании заготовок с уступами (рис. 5.33, б) бабку ведущего круга не поворачивают, а перемещают по направляющим станины до определённого положения, т. е. используют метод врезания.

5.8.5. Отделочная обработка поверхностей шлифовальными кругами и чистовыми резцами

Отделочную обработку проводят для того, чтобы повысить точность и уменьшить шероховатость поверхностей. Для отделочных методов характерны малые силы резания, небольшая глубина резания, незначительное тепловыделение.

Тонкое шлифование производят мелкозернистыми кругами при весьма малой глубине резания и обильной подаче охлаждающей жидкости. Особую роль играет жёсткость доводочных станков, способных обеспечить безвибрационную работу.

Тонкое обтачивание применяют вместо шлифования. Процесс происходит при высоких скоростях главного движения резания, малых глубинах и подачах. Для отделки поверхностей используют резцы с широкими режущими кромками, которые располагают строго параллельно оси обрабатываемой заготовки.

Обтачивание алмазными резцами применяют для заготовок из цветных металлов и сплавов, пластмасс и других неметаллических материалов.

Тонкое растачивание часто используют вместо шлифования, особенно в тех случаях, когда тонкостенные заготовки выполнены либо из вязких

цветных сплавов, либо из стали, а также, если по условиям работы детали недопустимо наличие абразивных зёрен в порах обработанной поверхности.

5.8.6. Полирование

Полирование применяют для получения высокой точности и зеркального блеска ответственных частей деталей, например, дорожек качения подшипников. Обработку заготовки *1* производят полировальными пастами, которые наносятся на быстровращающиеся эластичные круги или колеблющиеся щетки *2* (рис. 5.34, *а*, *б*). Хорошие результаты дает полирование быстродвижущимися бесконечными абразивными лентами (шкурками) (рис. 5.34, *в*). Эластичная лента огибает всю шлифуемую поверхность, поэтому движения подачи могут отсутствовать.

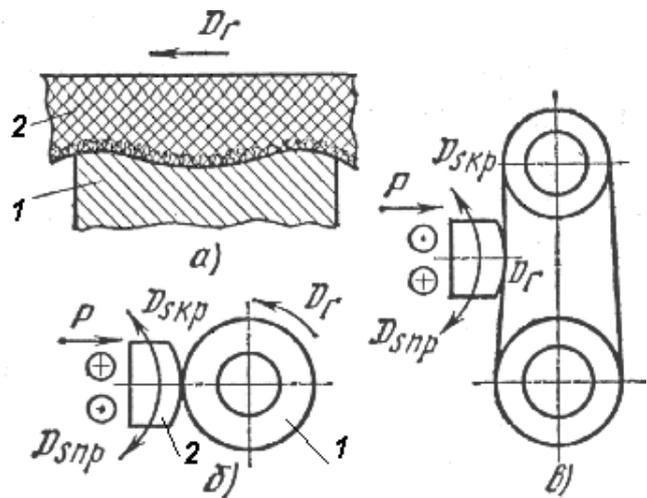


Рис. 5.34. Схемы полирования поверхностей

Полировальные круги изготавливают из войлока, фетра, кожи, капрона и других материалов. Процесс полирования выполняют на больших скоростях (до 50 м/с). Заготовка прижимается к кругу с усилием P (рис. 5.34, *б*) и совершает движения подачи $D_{s_{пр}}$ и $D_{s_{кр}}$ в соответствии с профилем обрабатываемой поверхности.

В процессе полирования не исправляются погрешности формы, а также местные дефекты предыдущей обработки.

5.8.7. Абразивно-жидкостная отделка

Отделка фасонных поверхностей обычными методами вызывает большие технологические трудности. **Абразивно-жидкостная отделка** позволяет решить задачу сравнительно просто. На обрабатываемую поверхность, имеющую следы предшествующей обработки, подается струя антикоррозионной жидкости со взвешенными частицами абразивного порошка (рис. 5.35, *а*). Водно-абразивная суспензия перемещается под давлением с большой скоростью. Частицы абразива ударяются о поверхность заготовки и сглаживают микронеровности, выполняя работу полирования. Содержание абразивного порошка в суспензии составляет 30–35 %.

При жидкостном полировании обрабатываемая заготовка *3* сложного профиля перемещается в камере *4* так, чтобы все её участки подверглись полированию (рис. 5.35, *б*).

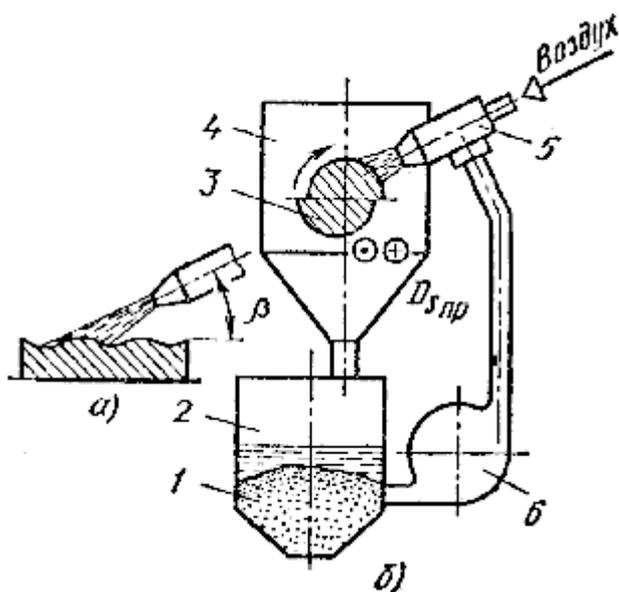


Рис. 5.35. Схема абразивно-жидкостной отделки

форм и заданных размеров. Эти отклонения могут быть устранены притиркой (доводкой). **Притиркой** достигаются наивысшая точность и наименьшая шероховатость поверхности.

Процесс осуществляется с помощью *притиров* соответствующей геометрической формы. На притир наносят притирочную пасту или мелкий абразивный порошок со связующей жидкостью. Материал притиров должен быть мягче обрабатываемого материала. Твёрдые частицы внедряются (рис. 5.36, а) в поверхность притира 2 и удерживаются ею, но так, что при

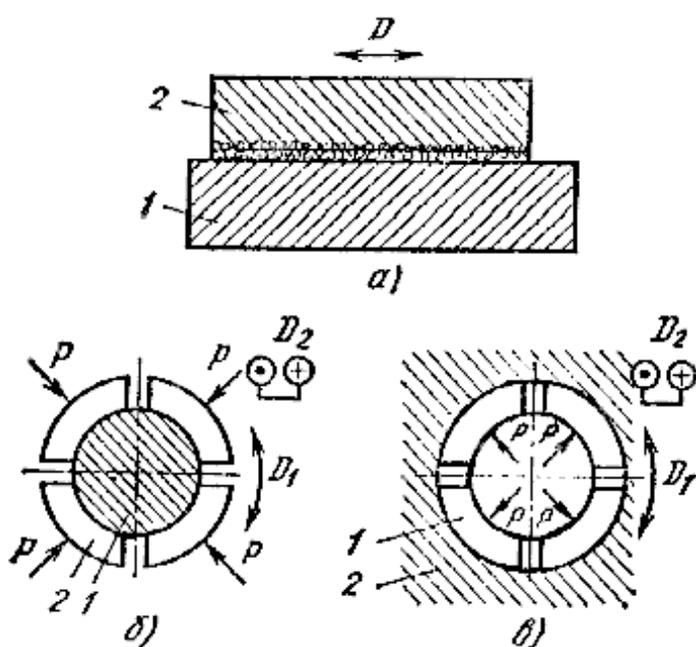


Рис. 5.36. Схемы притирки

Абразивная суспензия 1, помещённая в баке 2, подаётся насосом 6 в рабочую камеру 4 через твердосплавное сопло 5. Отработанная суспензия поступает обратно в бак 2 и может быть использована многократно.

Жидкостное полирование не повышает точность размеров и формы, а только уменьшает шероховатость поверхности.

5.8.8. Притирка

Поверхности деталей машин, обработанные на металлорежущих станках, всегда имеют отклонения от правильных геометрических

форм и заданных размеров. Эти отклонения могут быть устранены притиркой (доводкой). **Притиркой** достигаются наивысшая точность и наименьшая шероховатость поверхности. Процесс осуществляется с помощью *притиров* соответствующей геометрической формы. На притир наносят притирочную пасту или мелкий абразивный порошок со связующей жидкостью. Материал притиров должен быть мягче обрабатываемого материала. Твёрдые частицы внедряются (рис. 5.36, а) в поверхность притира 2 и удерживаются ею, но так, что при движении D относительно заготовки 1 каждое абразивное зерно может снимать весьма малую стружку. Поэтому притир можно рассматривать как очень точный абразивный инструмент.

Притир или заготовка должны совершать разнонаправленные движения. Наилучшие результаты дает процесс, в ходе которого траектории движения каждого зерна не повторяются.

Для обработки наружной цилиндрической поверхности (рис. 5.36, б) применяют притир

2 в виде втулки, имеющей ряд прорезей, необходимых для его полного прилегания к обрабатываемой поверхности под действием силы P . Притиру со-общают возвратно-вращательное движение D_1 и возвратно-поступательное движение D_2 . Возможно также равномерное вращательное движение заготовки I и одновременное движение D_2 . Аналогичные движения выполняются при *притирке отверстий* (рис. 5.36, в), однако притир должен равномерно разжиматься под действием силы P . Приведенные схемы притирки осуществляются на притирочных станках.

5.8.9. Хонингование

Хонингование применяют для получения отверстий высокой точности и малой шероховатости, а также для создания специфического микропрофиля обработанной поверхности в виде сетки для удержания на стенках отверстия смазочного материала при работе машины, например, двигателя внутреннего сгорания.

Поверхность неподвижной заготовки обрабатывают мелкозернистыми абразивными брусками, которые закрепляют в *хонинговальной головке* (*хоне*), являющейся режущим инструментом. Инструмент вращается (D_1) и одновременно перемещается возвратно-поступательно (D_2) вдоль оси обрабатываемого отверстия (рис. 5.37, а). Сочетание движений приводит к тому, что на обрабатываемой поверхности появляется сетка микроскопических винтовых царапин – следов перемещения абразивных зёрен. Угол θ пересечения этих следов зависит от соотношения скоростей движений D_1 и D_2 .

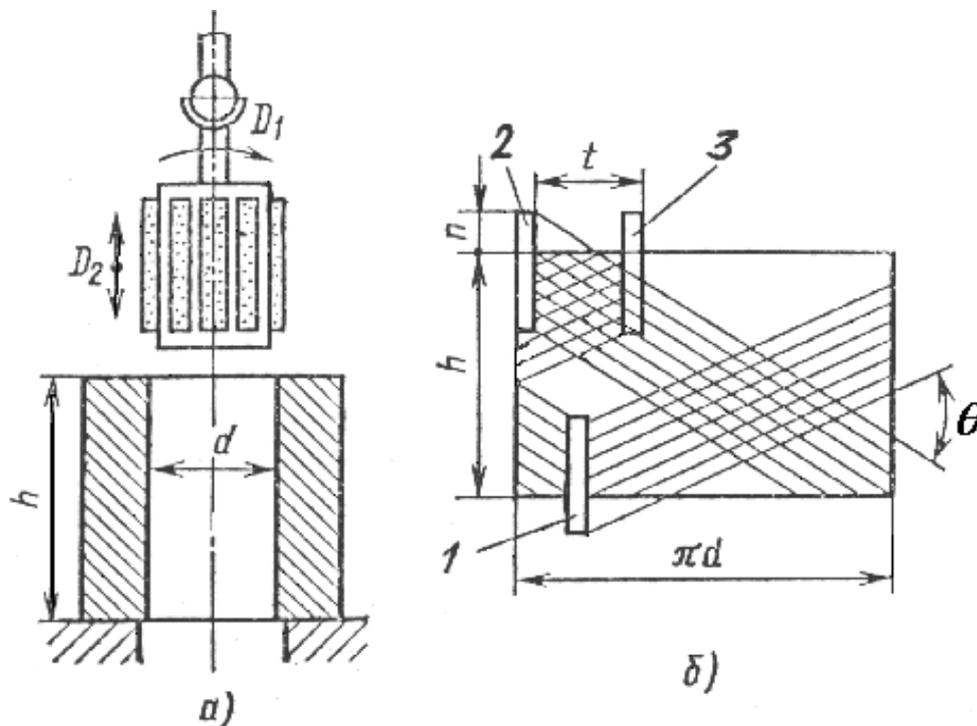


Рис. 5.37. Схема хонингования

Крайнее нижнее 1 и верхнее 2 положения абразивных брусков (рис. 5.37, б), указанные на развёртке внутренней цилиндрической поверхности, устанавливают так, что создается перебег п. Перебег необходим для того, чтобы образующие отверстия были прямолинейными даже при неравномерном износе брусков. Абразивные бруски постоянно контактируют с обрабатываемой поверхностью, так как они раздвигаются в радиальных направлениях механическими, гидравлическими и другими устройствами.

Хонингованием исправляют такие отклонения от правильной геометрической формы, как овальность, конусность и другие, если эти отклонения не превышают 0,2 мм. Отклонения расположения оси отверстия этим методом не исправляются.

5.8.10. Суперфиниширование

Отделку поверхностей *суперфинишированием* выполняют для уменьшения шероховатости, оставшейся от предыдущей обработки. При этом меняется высота и вид микровыступов, а обработанная поверхность приобретает сетчатый рельеф. Суперфинишированием обрабатывают плоские, цилиндрические, конические, сферические поверхности заготовок.

Обработка ведётся абразивными брусками, которые устанавливают в специальной головке. Для суперфиниширования характерно колебательное движение брусков одновременно с движением заготовки. Резание производится при давлении брусков 3–5 МПа с применением смазочного материала малой вязкости.

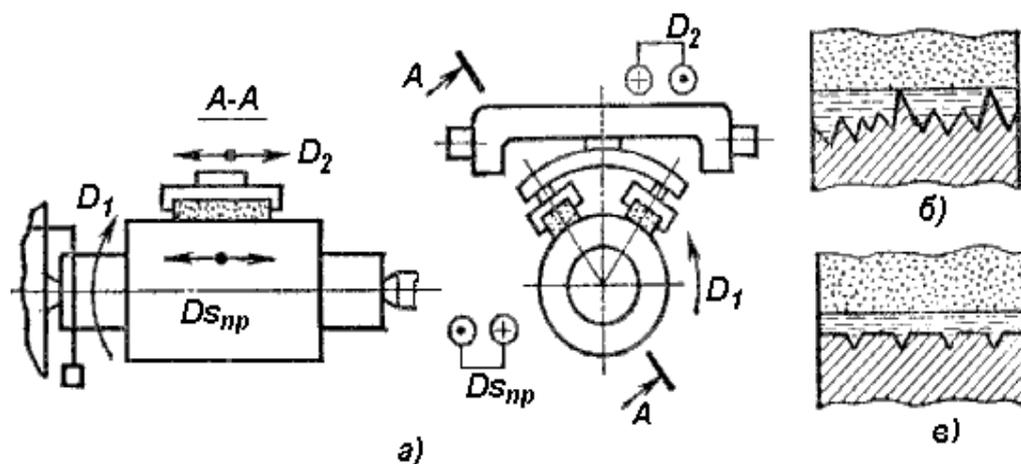


Рис. 5.38. Схема суперфиниширования

При обработке цилиндрической поверхности (рис. 5.38, а) сетка микронеровностей создается сочетанием вращательного движения D_1 заготовки, возвратно-поступательного ее перемещения $D_{сnp}$ и колебательного движения D_2 брусков вдоль оси заготовки. Движение D_2 ускоряет съём металла и улучшает однородность поверхности.

Важную роль играет смазочно-охлаждающая жидкость. Масляная плёнка покрывает обрабатываемую поверхность, но наиболее крупные выступы (рис. 5.38, б) прорывают её и в первую очередь срезаются бруском. По мере обработки давление бруска снижается, так как всё больше число выступов прорывает масляную пленку, и, наконец, наступает такой момент (рис. 5.38, в), когда давление бруска не может разорвать плёнку, она становится сплошной. Создаются условия для жидкостного трения. Процесс отделки автоматически прекращается.

Суперфиниширование не устраняет отклонения формы, полученные во время предшествующей обработки (волнистость, конусность, овальность).

5.9. Обработка заготовок на электрофизических и электрохимических станках

5.9.1. Характеристика электрофизических и электрохимических методов обработки

Электрофизические и электрохимические (ЭФЭХ) методы обработки предназначены для обработки заготовок из очень прочных, вязких, хрупких и неметаллических материалов. ЭФЭХ методы в ряде случаев имеют очень существенные преимущества перед обработкой резанием. При использовании этих методов отсутствует силовое воздействие инструмента на заготовку, не возникает наклёп обработанной поверхности, дефектный слой незначителен, удаляются прижоги поверхности, полученные при шлифовании, повышаются антикоррозионные, прочностные и другие эксплуатационные характеристики деталей.

ЭФЭХ методы обработки универсальны и обеспечивают непрерывность процессов при одновременном формообразовании всей обрабатываемой поверхности, что позволяет обрабатывать очень сложные наружные и внутренние поверхности заготовок.

5.9.2. Электроэрозионные методы обработки

Электроэрозионные методы основаны на явлении *эрозии* (разрушения) электродов из токопроводящих материалов при пропускании между ними импульсного электрического тока. Разряд между электродами происходит в диэлектрической жидкой или газовой среде. В жидкой среде процесс эрозии более интенсивен. Когда разность потенциалов на электродах достигает определенной величины, происходит пробой диэлектрического промежутка в виде искрового или дугового разряда. При высокой концентрации энергии мгновенная плотность тока в канале проводимости достигает значительных величин, и температура на поверхности заготовки электрода возрастает до 10000–12000 °С. При этой температуре происходит мгновенное оплавление и испарение элементарного объёма металла, и на обрабатываемой поверхно-

сти образуется лунка. Удалённый металл застывает в диэлектрической жидкости в виде мелких гранул.

Следующий импульс тока пробивает межэлектродный промежуток там, где расстояние между электродами наименьшее. Процесс эрозии продолжается до тех пор, пока не будет удалён весь металл, находящийся на расстоянии, при котором возможен электрический пробой при заданном напряжении. Для продолжения процесса необходимо постоянно сближать электроды до указанного расстояния. Электроды сближаются автоматически с помощью следящих систем.

При *электроискровой обработке* используют импульсные искровые разряды между электродами, один из которых – обрабатываемая заготовка, а другой – инструмент-катод.

Схема электроискрового станка с генератором импульсов RC приведена на рис. 5.39. Конденсатор C , включённый в зарядный контур, заряжается через резистор R от источника постоянного тока напряжением 100–200 В. Когда напряжение на электродах 1 и 3, образующих разрядный контур, достигает пробойного, образуется канал проводимости, через который осуществляется искровой разряд энергии, накопленной конденсатором. Продолжительность импульса составляет 20–200 мкс.

Обработку ведут в ваннах, заполненных диэлектрической жидкостью (керосином, минеральным маслом).

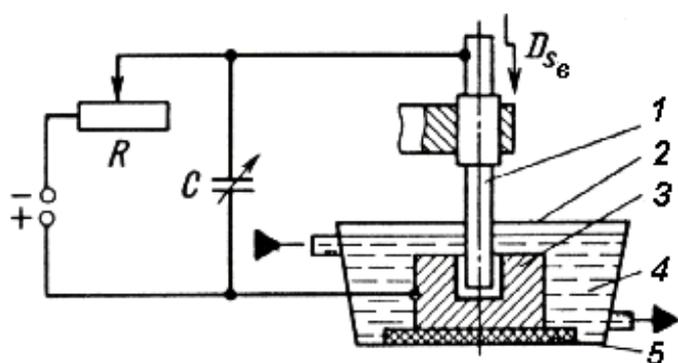


Рис. 5.39. Схема электроискрового станка

Жидкость исключает нагрев электродов, охлаждает продукты разрушения, уменьшает боковые разряды между инструментом и заготовкой, что повышает точность обработки.

Инструменты-электроды изготовлены из медно-графитовых и других материалов. Эффективность обработки достигает

2000 мм³/мин при шероховатости поверхности 0,2–4 мкм.

Эффект эрозии при одних и тех же параметрах электрических импульсов для разных металлов различен. Зависимость интенсивности эрозии от свойств металлов называют *электроэрозионной обрабатываемостью*. Если для стали её принять за единицу, то для других материалов она равна: твёрдые сплавы – 0,5; титан – 0,6; никель – 0,8; медь – 1,1; латунь – 1,6; алюминий – 4.

Электроискровым методом получают сквозные и глухие отверстия любого сечения, отверстия с криволинейными осями, вырезают заготовки из листа, выполняют плоское, круглое и внутреннее шлифование, клеймят детали.

Электроискровую обработку применяют для изготовления деталей штампов и пресс-форм, фильер, режущего инструмента, сеток, сит, деталей топливной аппаратуры из твёрдых сплавов, труднообрабатываемых сталей и сплавов, тугоплавких металлов и сплавов.

При **электроимпульсной обработке** используются электрические импульсы большей длительности (5–10 мс), в результате чего происходит дуговой разряд, а это обеспечивает более высокую производительность обработки. Такой способ наиболее целесообразно применять при предварительной обработке заготовок из твёрдых сплавов, коррозионно-стойких сталей и жаропрочных сплавов.

Высокочастотную электроискровую обработку применяют для повышения точности и уменьшения шероховатости поверхностей. Метод основан на использовании электрических импульсов малой мощности при частоте 100–150 кГц. Производительность метода в 30–50 раз выше электроискрового при значительном увеличении качества обработки.

Электроконтактная обработка основана на локальном нагреве заготовки в месте контакта с электродом-инструментом и удалении размягчённого металла из зоны обработки механическим способом (рис. 5.40). Источником тепла в зоне обработки служат импульсные дуговые разряды. Метод применяют для обработки крупных деталей из углеродистых и легированных сталей, чугуна, цветных сплавов, тугоплавких и специальных сплавов.

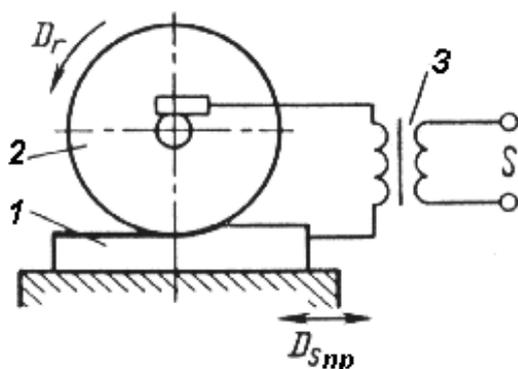


Рис. 5.40. Схема электроконтактной обработки

Электроконтактную обработку используют при обрубке и зачистке отливок, зачистке проката и т. п. Метод не обеспечивает высокой точности, но имеет высокую производительность за счет использования больших электрических мощностей.

5.9.3. Электрохимические методы обработки

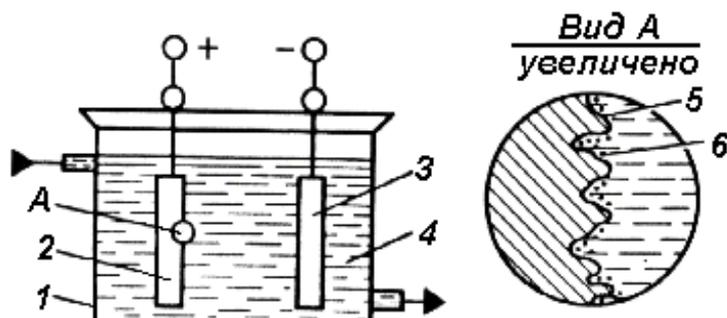
Электрохимическая обработка основана на законах анодного растворения металлов при электролизе. При прохождении электрического тока через электролит на поверхности заготовки, включённой в электрическую цепь и являющейся анодом, происходят химические реакции, и поверхностный слой металла превращается в химическое соединение. Продукты электролиза переходят в раствор или удаляются механическим способом.

Производительность процесса зависит от электрохимических свойств электролита, обрабатываемого токопроводящего материала и плотности тока.

Электрохимическое полирование (рис. 5.41) выполняют в ванне 1, заполненной электролитом 4, которым служат растворы кислот или щелочей.

Обрабатываемую заготовку 2 подключают к аноду; электродом-катодом 3 служит металлическая пластинка из свинца, меди, или стали. Для интенсификации процесса электролит 4 нагревают до температуры 40–80 °С.

При подаче напряжения на электроды начинается процесс растворения металла заготовки-анода. Растворение происходит главным образом на выступах 5 микронеровностей поверхности вследствие более высокой плотности тока на их вершинах. Кроме того, впадины 6 между микровыступами за-



полняются продуктами растворения: оксидами или солями, имеющими пониженную электропроводность. В результате избирательного растворения микронеровности сглаживаются, и обрабатываемая поверхность приобретает металлический блеск.

Рис. 5.41. Схема электрохимического полирования

Электрополирова-

ние позволяет одновременно обрабатывать партию заготовок по всей их поверхности. Этим методом готовят поверхности деталей под гальванические покрытия, доводят рабочие поверхности режущего инструмента, получают тонкие ленты и фольгу, очищают и декоративно отделывают детали.

Электрохимическая размерная обработка выполняется в струе электролита, прокачиваемого под давлением через межэлектродный промежуток, образуемый заготовкой-анодом 2 и инструментом-катодом 1 (рис. 5.42). Струя электролита растворяет образующиеся на заготовке-аноде соли и удаляет их из зоны обработки; при этом обрабатывается вся поверхность заготовки, находящаяся под активным воздействием катода, что обеспечивает высокую производительность процесса.

Точность обработки значительно повышается при использовании импульсного напряжения и при уменьшении рабочего зазора между заготовкой и инструментом. Для контроля зазора используют высокочувствительные элементы, встроенные в следящую систему.

На рис. 5.42 приведены схемы обработки заготовок в струе проточного электролита: турбинной лопатки (а), штампа (б) и схема прошивания сквозного отверстия (в). Способ применяют для обработки заготовок из высокопрочных сплавов, карбидных и труднообрабатываемых материалов.

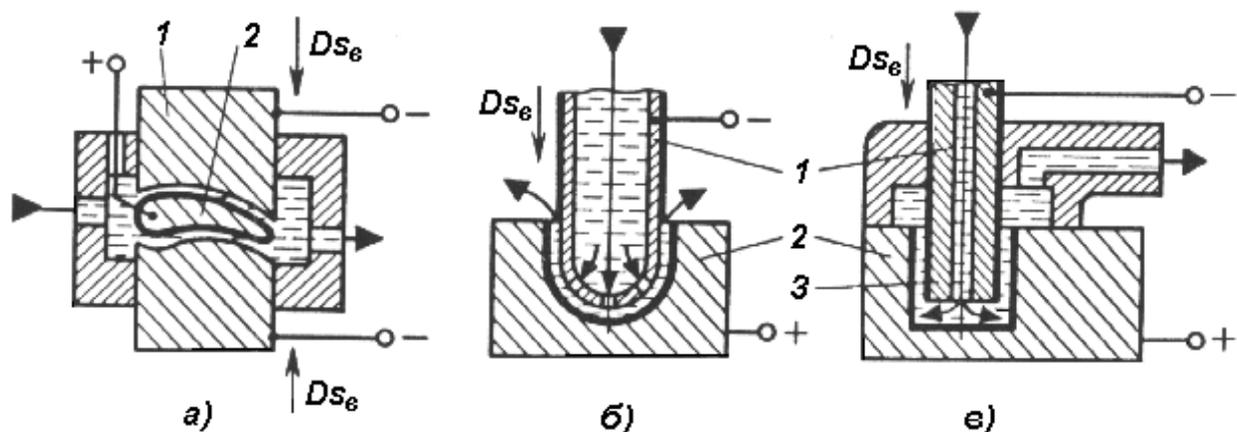


Рис. 5.42. Схемы электрохимической размерной обработки

Для электрохимической размерной обработки используют нейтральные электролиты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Третьяков А.Ф. Материаловедение и технология обработки материалов: учебное пособие для вузов / А.Ф. Третьяков, Л.В. Тарасенко. – Москва: Изд-во МГТУ, 2014. – 543 с.
2. Колганов Л.А. Сварочное производство: Учебное пособие. – Ростов н/Д: «Феникс», 2002. – 512 с.
3. Технология конструкционных материалов: Учебник для вузов / А.М.Дальский и др. – М.: Машиностроение, 2005. – 592 с.
4. Моисеев В.Б. Технологические процессы машиностроительного производства: учебник / В.Б. Моисеев, К.Р. Таранцева, А.Г. Схиртладзе. – Москва: Инфра-М, 2014. – 217 с.
5. Фельдштейн Е.Э. Режущий инструмент: Учебное пособие. – Минск: Новое знание, 2007. – 400 с.
6. Черепяхин А.А. Технология конструкционных материалов: Обработка резанием: Учебное пособие – М: «Академия», 2008. – 288 с.
7. Технологические процессы машиностроительного и ремонтного производства: учебное пособие для вузов / С.И. Богодухов и др. – Старый Оскол: ТНТ, 2015. – 464 с.

О Г Л А В Л Е Н И Е

4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА	3
4.1. Физические основы процесса сварки	3
4.2. Электродуговая сварка	4
4.2.1. Понятие об электрической сварочной дуге	5
4.2.2. Источники сварочного тока	7
4.3. Ручная дуговая сварка	11
4.3.1. Сварочная проволока	11
4.3.2. Классификация электродов	13
4.3.3. Технология и техника ручной дуговой сварки	15
4.4. Автоматическая дуговая сварка под флюсом	17
4.5. Электрошлаковая сварка	19
4.5.1. Сварка электродной проволокой	20
4.5.2. Сварка пластинчатым электродом	20
4.5.3. Сварка плавящимся мундштуком	21
4.5.4. Оборудование для электрошлаковой сварки	21
4.6. Дуговая сварка в защитных газах	22
4.6.1. Аргонодуговая сварка	23
4.6.2. Дуговая сварка в среде углекислого газа	27
4.7. Газовая сварка	29
4.7.1. Сварочные материалы для газовой сварки	29
4.7.2. Оборудование для газовой сварки	31
4.7.3. Виды, свойства и регулирование сварочного пламени	32
4.7.4. Технология газовой сварки	33
4.7.5. Пост для газовой сварки	34
4.8. Газовая ацетилено-кислородная резка металлов	35
4.9. Контактная электрическая сварка	37
4.9.1. Электроконтактная стыковая сварка	37
4.9.2. Точечная электроконтактная сварка	39
4.9.3. Шовная (роликовая) электроконтактная сварка	40
4.9.4. Конденсаторная сварка	42
4.10. Специальные виды сварки	42
4.10.1. Плазменная сварка	42
4.10.2. Электронно-лучевая сварка	45
4.10.3. Сварка трением	47
4.10.4. Холодная сварка	49
4.10.5. Диффузионная сварка в вакууме	50
4.10.6. Ультразвуковая сварка	51
4.10.7. Сварка лазерным лучом	53
4.10.8. Сварка взрывом	54

4.11. Виды сварных швов	55
4.12. Деформации и напряжения при сварке и меры их предупреждения	56
4.13. Основные виды дефектов сварных швов и их причины	57
4.14. Контроль качества сварки	59
4.15. Технологические особенности сварки различных металлов и сплавов	62
4.15.1. Понятие свариваемости	62
4.15.2. Влияние углерода и легирующих элементов на свариваемость	64
4.15.3. Сварка углеродистых сталей	65
4.15.4. Сварка легированных сталей	65
4.15.5. Сварка чугуна	67
4.15.6. Сварка алюминия и его сплавов	68
4.15.7. Сварка меди и медных сплавов	68
4.15.8. Сварка титана и его сплавов	68
5. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ	69
5.1. Физические основы обработки металлов резанием	69
5.1.1. Кинематика резания	69
5.1.2. Методы формообразования поверхностей	69
5.1.3. Режим резания. Шероховатость поверхности	71
5.1.4. Геометрические параметры режущего инструмента	72
5.1.5. Образование и виды стружки	73
5.1.6. Силы резания	75
5.1.7. Наростообразование при резании	76
5.1.8. Упрочнение при резании	77
5.1.9. Тепловыделение при резании	78
5.1.10. Износ и стойкость инструмента	79
5.1.11. Вибрации при резании	80
5.1.12. Точность, качество и производительность обработки	81
5.2. Инструментальные материалы	82
5.2.1. Свойства инструментальных материалов	82
5.2.2. Инструментальные стали	83
5.2.3. Твёрдые сплавы	83
5.2.4. Сверхтвёрдые и керамические материалы	84
5.2.5. Абразивные материалы	84
5.3. Металлорежущие станки	85
5.3.1. Классификация металлорежущих станков	85
5.3.2. Кинематика станков	85
5.4. Обработка заготовок на токарных станках	87
5.4.1. Характеристика метода точения	87
5.4.2. Типы токарных станков	87

5.4.3. Режущий инструмент и приспособления	89
5.4.4. Основные виды токарных работ	90
5.5. Обработка заготовок на сверлильных и расточных станках	92
5.5.1. Характеристика метода сверления	92
5.5.2. Типы сверлильных станков	92
5.5.3. Режущий инструмент и приспособления для закрепления инструмента и заготовок	94
5.5.4. Основные виды работ на сверлильных станках	96
5.5.5. Назначение и типы расточных станков	97
5.5.6. Режущий инструмент и схемы обработки заготовок на расточных станках	98
5.7. Обработка заготовок на фрезерных станках	100
5.7.1. Характеристика метода фрезерования	100
5.7.2. Типы фрезерных станков	102
5.7.3. Режущий инструмент и технологическая оснастка фрезерных станков	103
5.7.4. Схемы обработки заготовок на фрезерных станках	104
5.8. Обработка заготовок на строгальных, долбежных и протяжных станках	105
5.8.1. Характеристика методов строгания, долбления и протягивания	105
5.8.2. Строгальные, долбежные и протяжные станки	107
5.8.3. Режущий инструмент для строгания, долбления и протягивания	108
5.8.4. Схемы обработки заготовок на строгальных, долбежных и протяжных станках	110
5.6. Обработка заготовок на шлифовальных станках	112
5.6.1. Характеристика метода шлифования	112
5.6.2. Основные типы шлифовальных станков	112
5.6.3. Режущий абразивный инструмент	113
5.6.4. Схемы обработки заготовок на шлифовальных станках	114
5.6.5. Отделочная обработка поверхностей шлифовальными кругами и чистовыми резцами	117
5.6.6. Полирование	118
5.6.7. Абразивно-жидкостная отделка	118
5.6.8. Притирка	119
5.6.9. Хонингование	120
5.6.10. Суперфиниширование	121
5.9. Обработка заготовок на электрофизических и электрохимических станках	122
5.9.1. Характеристика электрофизических и электрохимических методов обработки	122

5.9.2. Электроэрозионные методы обработки	122
5.9.3. Электрохимические методы обработки	124
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	126

Учебное издание

ФОМИН Николай Ильич
ГЕРАСИМОВИЧ Константин Георгиевич
ЕВТЮШКИН Юрий Александрович
ХВОРОВА Ирина Александровна

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Часть 2

Учебное пособие

Научный редактор к.т.н.,
доцент Е.П. Чинков
Редактор *И.А. Хворова*
Компьютерная верстка *И.А. Хворова*
Дизайн обложки *И.О. Фамилия*

Подписано к печати . 2020. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. 7,56. Уч.-изд.л. 6,84.
Заказ . Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ**, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru