

## Лабораторная работа

### ОБРАБОТКА АБРАЗИВНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

#### Цель работы:

1. Знакомство с основными видами абразивной обработки.
2. Изучение особенностей применения различных видов шлифования.
3. Знакомство с видами полирования и отделочной обработки.
4. Изучение отделочных видов обработки зубчатых колёс, червяков и шлицев.
5. Знакомство с конструкцией и работой плоско-шлифовального и заточного станков.
6. Освоение приёмов работы на станках абразивной обработки, методами полирования и доводки.

#### Теоретическая часть

Абразивная обработка – технологический процесс обработки материалов резанием, т.е. со снятием стружки. Слой металла (припуск) с заготовки снимается в результате резания, осуществляемого абразивным инструментом с большим количеством микрорезцов – абразивных зёрен. Как правило, абразивную обработку выполняют после обработки лезвийным режущим инструментом, электро-физическими методами и другими способами.

#### К абразивной относятся следующие виды обработки:

**Шлифование** – обработка вращающимся инструментом – шлифовальным кругом. Вращение круга является главным движением резания и осуществляется со скоростью 10-100 м/с. Шлифование обеспечивает 5-7 качества, 6-7 степень точности формы и шероховатость по параметру  $R_a = 1,2 - 0,1$  мкм.

**Доводка** – обработка, осуществляемая, как правило, после шлифования и направленная на достижение наиболее высокой точности размеров и формы детали, а также высокого качества поверхности. При доводке инструмент и заготовка в большинстве случаев совершают одновременно несколько движений (вращательное, возвратно-поступательное, колебательное) со скоростью 0,1 – 3,0 м/с. Доводка обеспечивает 0,1-4-й качества, 1-5 степень точности и шероховатость по параметру  $R_a = 0,10 - 0,01$  мкм.

**Полирование** – обработка деталей в целях уменьшения шероховатости, получения зеркального блеска, а также удаления дефектного слоя. В результате полирования микронеровности на поверхности детали приобретают сглаженную, закруглённую форму, что значительно увеличивает отражательную способность поверхности. Полирования выполняют по схеме, аналогичной шлифованию, при высокой скорости (15-30 м/с) инструмента, так и по другой схеме при малой скорости (0,2- 0,5 м/с). В качестве инструмента

применяют диск с рабочей торцевой поверхностью. В первом случае происходит интенсивное тепловыделение в зоне контакта инструмента с заготовкой, тонкий слой металла размягчается и течёт, заполняя впадины микронеровностей. Во втором случае удаляются тончайшие поверхностные плёнки, образующиеся при взаимодействии воздуха и поверхностно-активных веществ с металлом. Полированием получают блестящие поверхности с шероховатостью по параметру  $R_a = 0,1 - 0,04$  мкм.

**Отрезка** – разделение заготовки на части с помощью специального отрезного абразивного круга. Производительность отрезки по сравнению с другими видами разделения (дисковые пилы, фрезерование и др.) значительно выше.

**Отделочная обработка** – обработка, с целью удаления поверхностного дефектного слоя металла; снятие заусенцев после обработки резанием и облоя после штамповки и точного литья; закругление кромок; подготовка поверхностей под покрытия; удаление окалины, образовавшейся при термообработке; придание деталям товарного вида. В большинстве случаев отделочную обработку осуществляют путём воздействия на заготовку потока свободных абразивных зёрен.

#### **Абразивные инструменты и основы выбора шлифовальных кругов.**

Абразивная обработка основана на воздействии абразивных зёрен на обрабатываемый материал. Абразивное зерно представляет собой многогранник неправильной геометрической формы, все вершины которого имеют закругления. Радиус закругления, а также угол заострения характеризуют степень остроты зерна во многом влияют на характер взаимодействия зерна с материалом.

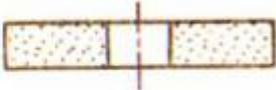
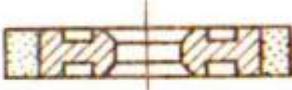
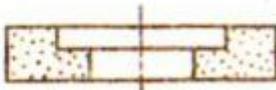
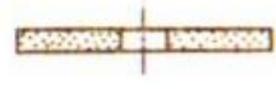
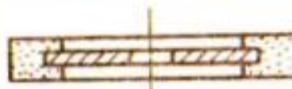
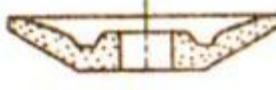
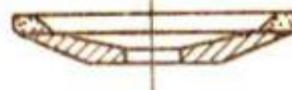
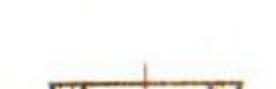
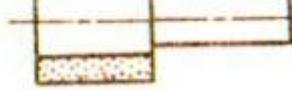
Степень остроты зёрен разных абразивных материалов неодинакова. Наибольшую степень остроты имеют зёрна сверхтвёрдых материалов – алмаза и кубического нитрида бора (КНБ или эльбора). Зёрна электрокорунда и карбида кремния характеризуются значительно большими радиусами вершин и меньшим количеством острых углов.

К абразивным инструментам **ГОСТ 2424-83 (действующий ГОСТ Р 52781-2007)**<sup>1</sup> относятся круги для шлифования и заточки режущего. О форме и размерам. В табл. 1 приведены широко применяемые формы абразивных и алмазных инструментов. Алмазные инструменты содержат алмазоносный слой толщиной обычно не более 3 мм, закреплённый на металлическом корпусе. Распространённым абразивным инструментом является лента, имеющая один или два слоя абразивных зёрен, приклеенных к гибкой основе. Гибкость ленты и небольшая толщина позволяет применять её для обработки фасонных поверхностей, труднодоступных мест и т.п.

Абразивный инструмент характеризуется формой и размерами, материалом абразивных зёрен, связующим веществом, зернистостью, твёрдостью и структурой.

К абразивным материалам естественного происхождения относятся алмаз, природный корунд (90%  $Al_2O_3$ ), наждак (до 65%  $Al_2O_3$ ) и песчаник (состоит из зёрен кварца  $SiO_2$ , связанных известью и глинистыми веществами). Наибольшее практическое применение имеет алмаз для правки шлифовальных кругов и изготовления алмазных кругов и также оснащения резцов и свёрл. К абразивным материалам искусственного происхождения относятся синтетический алмаз, электрокорунд, карбид кремния (карборунд) и карбид бора. Для изготовления абразивных инструментов используют главным образом искусственные абразивные материалы.<sup>1</sup>

**Основные формы абразивных инструментов** Таблица 6.1.

Разновидности	Абразивный		Алмазный	
	эскиз сечения	обозначение	эскиз сечения	обозначение
Плоские: прямого профиля	<i>a</i> 	ПП	<i>б</i> 	АПП
с выточкой	<i>в</i> 	ПВ	<i>г</i> 	АПВ
Диски	<i>д</i> 	Д	<i>е</i> 	АОК
Тарелки	<i>ж</i> 	Т	<i>з</i> 	АТ
Чашки: конические	<i>л</i> 	ЧК	<i>м</i> 	АЧК
Головки цилиндрические	<i>н</i> 	ГЦ	<i>о</i> 	АГЦ
Бруски лонинговальные	<i>п</i> 	БХ	<i>р</i> 	АБХ

## Искусственные абразивные материалы

**Электрокорунд.** Подавляющая часть (более 70%) абразивного инструмента изготавливается из электрокорунда, который получают путём плавки глинозёма в электрических печах. Основная составляющая электрокорунда – кристаллический оксид алюминия  $Al_2O_3$ . В зависимости от содержания оксида и примесей электрокорунд имеет различный цвет, структуру и свойства: нормальный-12А...16А (91-96%  $Al_2O_3$ ); белый-22А...25А (97-99%); хромистый- 32А...34А; титанистый – 37А; монокорунд - 43А...45А, зёрна которого представляют собой отдельные кристаллы и имеют большое число режущих граней. Применяют для шлифования жаропрочных сплавов.

**Карбид кремния SiC-** химическое соединение кремния с углеродом, получается при плавке кварцевого песка и кокса. Зёрна его имеют более высокую твёрдость (32...35 ГПа против 18,6...23 ГПа), чем электрокорунд. Применяются две разновидности карбида кремния: чёрный – 53С...55С (95-89% SiC) и зелёный – 63С...64С (98-99%). Недостаток карбида кремния – высокая хрупкость и малая прочность. Для обработки сталей карбид кремния непригоден, применяют его при обработке хрупких материалов-чугунов, бронзы, титановых и тугоплавких сплавов, заточке твердосплавных инструментов.

**Карбид бора  $B_4C$**  – химическое соединение бора с углеродом, получают плавлением борного ангидрида  $B_2O_3$  с нефтяным коксом. Карбид бора имеет высокую твёрдость (39...44 ГПа), большую хрупкость и применяется в виде порошков для доводочных процессов и при ультразвуковой обработке хрупких материалов.

**Синтетические алмазы (АС)** получают в виде мелких кристаллов размером обычно не более 1 мм. Синтез алмазов происходит при воздействии на графит высоких давлений (4,9 ГПа) и высоких температур (2500°C). В присутствии металлического катализатора происходит синтез алмазов – превращение углерода из гексагональной структуры графита в кубический алмаз. Синтетические алмазы в зависимости от прочности делятся на пять марок: обычной прочности – АС2; повышенной прочности – АС4; высокой прочности – АС6; монокристалльные – АС15 и АС20 (ГОСТ 9206-80Е).

**Кубический нитрид бора (КНБ)** – эльбор, состоящий из 44% бора и 56% азота – абразивный материал, твёрдость которого близка к алмазу, а теплостойкости в 2 раза выше – до 1600°C. Эльбор бывает обычной (ЛО) и повышенной прочности (ЛП). Его получают в результате синтеза гексагонального нитрида бора при высоких давлениях и температурах. В решётке КНБ каждый атом бора соединён с четырьмя атомами азота, расположенными в пространстве по вершинам тетраэдра. КНБ, как и алмаз обладает исключительно высокими абразивными свойствами и намного превосходит по износостойкости все известные абразивные материалы.

Необходимо учитывать химическое сродство обрабатываемого и абразивного материалов. Так, алмаз не может использоваться для интенсивного шлифования стали из-за сродства к углерода и железа; электрокорунд – неэффективен для шлифования титановых сплавов из-за сродства алюминия и титана. КНБ, с этой точки зрения, имеет важное преимущество вследствие высокой химической инертности.

Зёрна шлифпорошков из **природных** алмазов марок А1,А2,А3,А5 и А8 имеют размеры от 40 до 630 мкм; эти марки различаются процентным содержанием зёрен изометрической формы (от 10 до 80%). Из порошков природных алмазов изготавливают инструмент на металлической связке для обработки стекла, керамики, бетона, камня, а также правящий и буровой инструмент.

### **Зернистость абразивов**

Абразивные зёрна делятся на четыре группы:

шлифзёрна – от № 200 до №16 (имеют зёрна основной фракции размером от 2000 до 160 мкм);

шлифпорошки – от №12 до №3 (зёрна от 125 до 28 мкм);

микropорошки – от М63 до М14 (зёрна от 63 до 10 мкм);

тонкие микropорошки – от М10 до М1.

Сортировка зёрен от №200 до №3 производится просеиванием через сита, и зернистость определяется размером стороны ячейки сита. Например, зерно №16 просеивается через сито с размером ячейки 0,15 мм и остаётся на сите зерно с размером 0,16 мм.

Алмазные зёрна делятся на две группы: шлифпорошки (от 630/500 до 50/40) и микropорошки (от 60/40 до 1/0).

Порошки эльбора в зависимости от размера зёрен, методов их контроля и получения делятся на три группы: шлифзёрна зернистостью от ЛО 315/250 до ЛО 200/160; шлифпорошки от ЛО 160/125 до ЛО 50/40; микropорошки от ЛМ 40/28 до ЛМ 5/3. Зернистость алмазов и эльбора обозначается дробью, в числителе которой наибольший, а в знаменателе – наименьший размер в мкм зёрен основной фракции.

### **Связующие вещества (связки)**

Связка оказывает большое влияние на эффективность работы абразивных зёрен. Применяют связки трёх типов: неорганические, органические и металлические. К неорганическим связкам относятся керамическая, магнезиальная, силикатная. Наиболее распространена керамическая связка: из неё изготавливается около 60% всего абразивного инструмента. В её состав входят огнеупорная глина, полевошпат, тальк и др. Инструменты на керамической связке теплостойки и не боятся влаги. Их недостаток – хрупкость.

Органические связки: бакелитовая (Б), глифталевая (Г) и вулканитовая (В). Бакелитовая связка изготавливается из фенолформальдегидной смолы. Инструмент на ней прочен, эластичен и допускает большие окружные

скорости. Однако его химическая и тепловая стойкости невысоки. Круги на глифталевой связке имеют повышенную упругость и применяются на чистовых операциях. Вулканитовая связка обладает высокой прочностью и эластичностью. Применяется для изготовления тонких отрезных кругов.

Металлические связки, состоящие из металлической основы (порошки меди, олова, алюминия) и наполнителя, применяют в алмазных кругах. Металлические связки МИ и МК на медной основе имеют наполнитель карбид кремния и электрокорунд, соответственно связка М5 с основой из алюминия и меди, связка М1 изготовлена на основе меди и олова. Эти связки обеспечивают высокую производительность и эффективное использование алмазов.

### **Твёрдость абразивных инструментов**

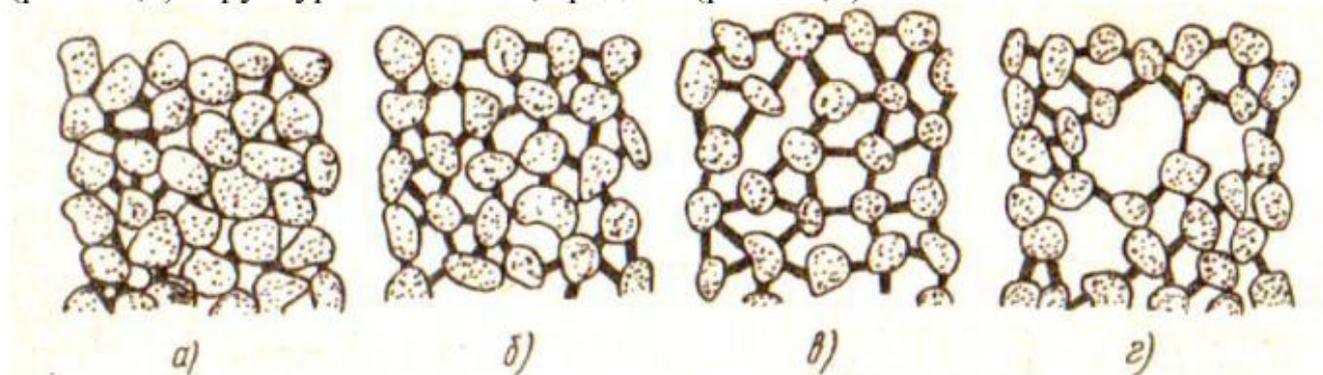
Под твёрдостью абразивного инструмента понимают свойства связки оказывать сопротивление проникновению в него другого тела. Установлено 7 классов твёрдости: мягкий (М); среднемягкий (СМ); средний (С); твёрдый (Т); весьма твёрдый (ВТ); чрезвычайно твёрдый (ЧТ).

При выборе твёрдости абразивных инструментов учитывают физико-механические свойства обрабатываемого материала, требования к точности и качеству поверхности.

При правильном выборе шлифовального круга из-за возрастания сил происходит вырывание зёрен из связки. При равномерном вырывании зёрен по всей поверхности круга происходит самозатачивание, т.е. на место выпавших зёрен в процесс резания включаются новые острые зёрна. Если твёрдость круга излишне высока, то сила резания не в состоянии вырывать зерно из связки, и в этом случае происходит «зосаливание» круга, что приводит к резкому ухудшению качества поверхности (прижоги, увеличение шероховатости и др.).

### **Структура абразивного инструмента**

Под структурой абразивного инструмента понимают количественное соотношение между абразивными зёрнами, связкой и порами. Различают четыре группы структур (рис.6.1.) абразивных инструментов: плотные (рис.6.1,а) структуры №№ 0...3; средние (рис.6.1,б)



**Рис. 6.1. Структуры абразивных инструментов**

№№4...6; открытые №№7...12; высокопористые №№ 13...18. Чем более открытая структура, тем меньше будет засаливаться. Высокая пористость придаёт инструментам лучшие условия охлаждения зёрен и отвод стружки. Выбор структуры зависит от назначения инструмента, свойств обрабатываемого материала и других условий обработки. Наиболее часто применяются среднеплотные инструменты.

### Виды шлифования

Различают следующие основные виды шлифования: наружное круглое, внутреннее круглое, бесцентровое и плоское, фасонное и специальные виды шлифования: резьбошлифование, зубошлифование, шлицшлифование и др. (рис.6.2). Наиболее распространёнными видами шлифования являются наружное круглое, внутреннее круглое и плоское. Для обработки фасонных поверхностей применяют ленточное шлифование – движущейся с большой скоростью (30-50 м/с) абразивной лентой, расположенной между двумя ведущими дисками и натяжным диском (рис.6.3).

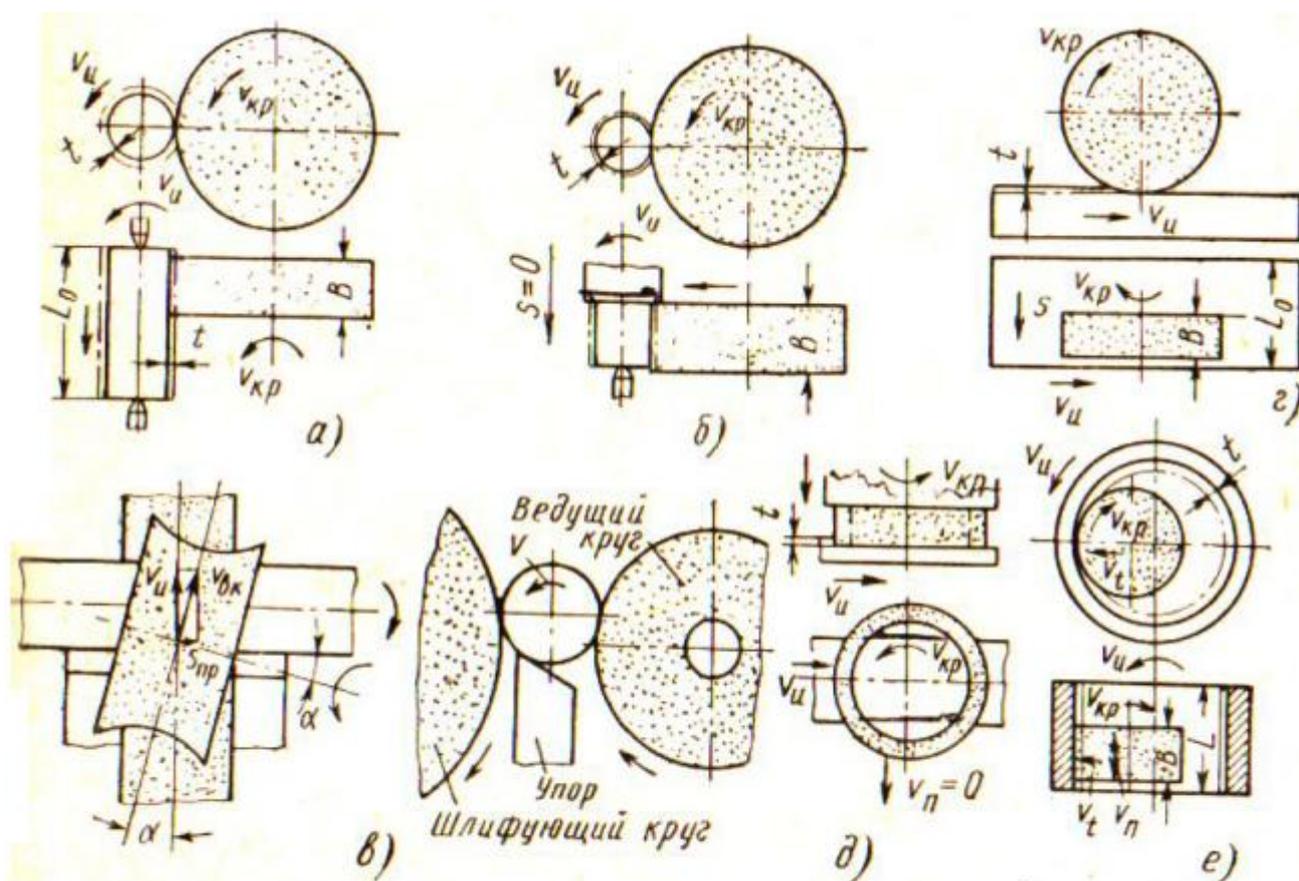
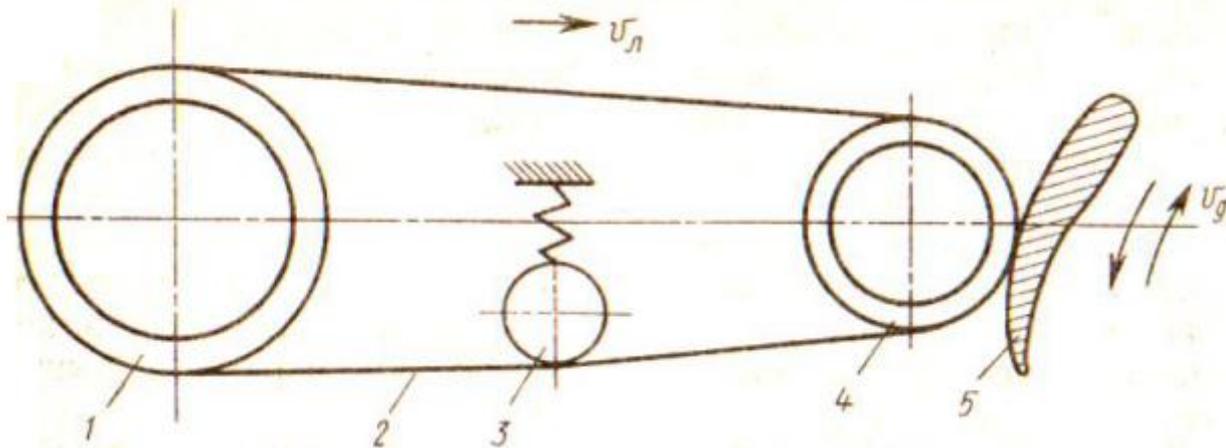


Рис.6.2. Схемы резания при шлифовании: а-наружное с продольной подачей; б- наружное с поперечной подачей; в-бесцентровое; г – плоско периферией круга; д –торцом круга; е – круглое внутреннее



**Рис.6.3. Схема ленточного шлифования: 1-ведущий диск; 2 -лента; 3-натяжной диск; 4-ведомый диск; 5- деталь**

Наружное круглое шлифование с продольной подачей (рис.6.2,а) осуществляется при вращении шлифовального круга и вращении обрабатываемой детали. Кроме того, обрабатываемая деталь (иногда круг) имеет продольное перемещение параллельно оси вращения круга (детали). В конце каждого одинарного или двойного прохода шлифовальный круг получает поперечное перемещение на глубину резания.

Шлифование поперечной подачей (рис.6.2,б) применяют для деталей небольшой длины (шейки валов). При шлифовании по этой схеме, кроме вращения шлифовального круга и обрабатываемой детали, осуществляется поперечная подача шлифовального круга.

При круглом внутреннем шлифовании (рис.6.2,е) круг и обрабатываемая деталь имеют вращательное движение. Кроме того, круг имеет вращательно-поступательное движение подачи и поперечную подачу (на глубину резания) в конце каждого двойного хода.

Круглое бесцентровое наружное шлифование (рис.6.2,в) применяется для обработки гладких валов. Обрабатываемая деталь располагается на ноже (упор) между шлифующем и ведущим кругами. Шлифующий круг вращается с окружной скоростью, равной примерно 30-40 м/с, ведущий круг – со скоростью 10-80 м/ мин. Ведущий круг располагается под углом  $\alpha = 1,5-5^\circ$  к обрабатываемой детали и шлифующему кругу. Обрабатываемая деталь получает от ведущего круга вращательное и поступательное движения (т.к. ведущий круг располагается под углом)- вращательную  $V_u$  и продольную подачи  $S_m$ . скорость продольной подачи зависит от угла  $\alpha$  (чем больше угол, тем больше скорость продольной подачи).

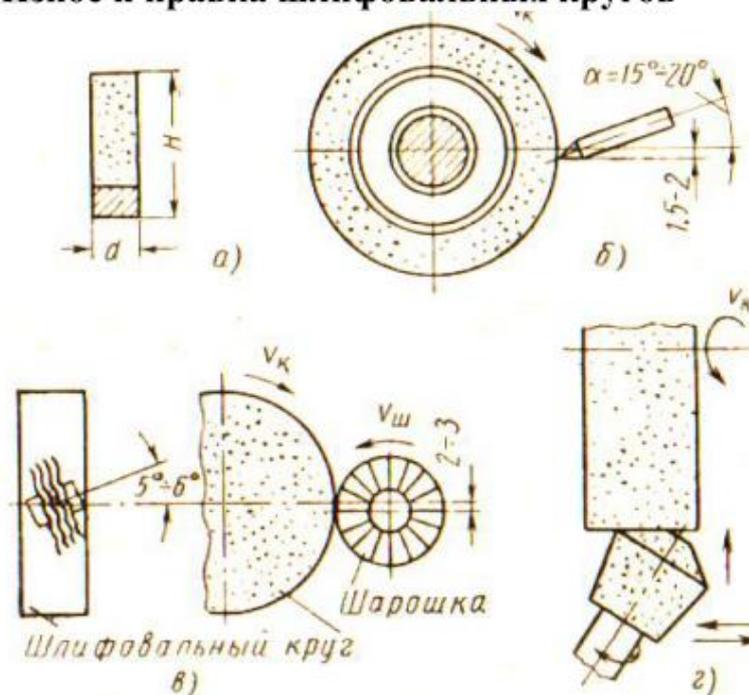
Плоское шлифование (обработка плоских поверхностей) осуществляется двумя методами: торцом круга и периферией круга. Схема шлифования торцом показана на рис.6.2,д, схема шлифования периферией – на рис.6.2,г. Обрабатываемой детали сообщается поступательно-возвратное движение, шлифовальному кругу – вращательное и, кроме того, после каждого

двойного хода – перемещение в поперечном направлении. Шлифование периферией круга используют для более точных работ.

Ленточное шлифование имеет несколько разновидностей: с контактной опорой, без контактной опоры, одно- и двухсторонняя обработка, шлифование широкой и узкой лентой (строчное шлифование) и др.

Режущий инструмент – абразивная лента состоит из основы, слоя абразивных зёрен и клея-связки. Основой ленты являются прочные сорта бумаг и ткани хлопчатобумажные и синтетические. При ленточном шлифовании в отличие от шлифования кругами в поверхностном слое образуются остаточные напряжения сжатия. Процесс ленточного шлифования можно регулировать изменением натяжения ленты, режимов шлифования, материала для контактных роликов, СОЖ, характеристик ленты (тип основы, клея, зернистость абразива).

#### Износ и правка шлифовальных кругов



**Рис.6.4. Правка шлифовальных кругов: а-алмазный карандаш для правки кругов; б- правка круга алмазом; в – правка круга шарошкой; г – правка карборундовым кругом**

При работе абразивным инструментом происходит износ круга, удаление зёрен и их затупление, а также заполнение пространства между зёрнами металлической пылью. Износ шлифовального круга по его ширине идёт неравномерно: наиболее интенсивно изнашивается та часть круга, которая встречается с обрабатываемой деталью-эта часть округляется и выполняет роль заборной части.

Момент затупления круга характеризуется ухудшением чистоты и точности обработки, появлением прижогов, уменьшением производительности, появлением дополнительного шума. Поэтому появляется

необходимость в правке (придание необходимой геометрической формы) круга, заключающийся в удалении с поверхности круга слоя абразивных зёрен для восстановления режущей способности и придания ему правильной геометрической формы, балансировки. Средняя стойкость шлифовальных кругов при наружном шлифовании около 15 мин. Правят круги при помощи алмазов, заделанных в оправке, алмазных карандашей (мелкие алмазы, цементированные сплавом вольфрама, меди и алюминия в виде цилиндров), кругов из карбида кремния и металлических шарошек.

**Элементы режима резания** выбираются из справочной литературы в зависимости от природы обрабатываемого материала, выбранного шлифовального круга и конструкции оборудования. Порядок выбора режимов резания: выбирают характеристики круга и устанавливают его окружную скорость. Определяют глубину резания. Подбирают СОЖ. Вычисляют силу резания и мощность, потребную на шлифование.

### **Основы выбора шлифовальных кругов**

Форму и размер абразивного инструмента определяют в зависимости от конструкции и назначения станка, его размеров, конструкции крепёжного приспособления, формы и размеров обрабатываемых заготовок, а также площади контакта инструмента с обрабатываемыми поверхностями детали.

Наиболее просты по форме и универсальны по применению круги типа ПП. Тонкие круги-диски для прорезных работ, шлифования пазов и отрезки материалов типа Д. круги с выточками (типов ПВ, ПВК, ПВДК, ПВД) представляют собой разновидности кругов типа ПП. Выточки предназначены для более прочного крепления на оправке и лучшего оступа круга к шлифуемому месту. Круги типа ПВ применяют для внутреннего шлифования, когда надо подрезать донышко изделия или работать «в упор». Круги типов ПР и ПН предназначены для чистового плоского шлифования. Круги типа ПР имеют рифлёную рабочую поверхность для более быстрого охлаждения. Круги типов 2П и 4П используют главным образом для заточки многолезцовых инструментов: пил, фрез, для шлифования зубьев шестерён. Круги-кольца типов К и 2К применяют для плоского шлифования торцом. Круги типа ЧЦ используют при заточке инструментов, при плоском шлифовании, иногда – при обработке отверстий, особенно несквозных. Круги-тарелки типов 1Т-4Т применяют в случае ещё более резкого ограничения свободного пространства вокруг шлифуемой поверхности. Круги других форм, например сегменты, бруски, головки, предназначены для работы на станках специального назначения.

Выбор того или иного абразивного материала в значительной степени определяется характеристиками обрабатываемого материала. Для абразивных материалов общее правило таково: шлифование пластичных материалов с высоким сопротивлением разрыву, т.е. всех марок сталей, производится инструментом из электрокорундовых материалов; шлифование твёрдых хрупких материалов с низким сопротивлением разрыву, т.е. чугуна,

твёрдого сплава, керамики, стекла, а также мягких алюминиевых и медных сплавов – инструментом из карбида кремния. Алмазный инструмент применяют в основном для обработки твёрдых сплавов, керамики, полупроводниковых материалов технических камней, стекла, а также для чистовой обработки цветных сплавов и стали. Инструмент из КНБ (эльбор, кубонит) используют для шлифования легированных высокотвёрдых сталей ( $\geq 55-65 \text{ HRC}_3$ ), в особенности инструментальных, быстрорежущих и жаропрочных.

**Класс точности** инструмента характеризуется предельными отклонениями наружных, внутренних и торцовых поверхностей, их взаимного расположения, зрновым составом, наличием сколов, трещин и раковин. Шлифовальные круги изготавливаются трёх классов точности: АА, А и Б (расположены в порядке убывания точности).

**Класс неуравновешенности** является одной из основных причин, вызывающих вибрации при шлифовании, снижение стойкости кругов между правками, производительности и ограничения скорости шлифовального круга. Выпускаются круги четырёх классов неуравновешенности массы: 1, 2, 3 и 4. Круги класса точности АА должны иметь наименьшую неуравновешенность, т.е. 1; класс А- 1 или 2; Б – 1,2 или 3.

Характеристика абразивного инструмента в виде условных обозначений наносится на нерабочей поверхности кругов, брусков, сегментов. Маркировка позволяет установить назначение инструмента и гарантированную изготовителем скорость безопасной работы. В маркировке шлифовального круга: ПП 300 × 25 × 127 24А 63 С1 5 К 35 м/с А 2 кл

Указаны тип и размеры инструмента, марка абразивного материала (24А – электрокорунд белый), его зернистость (63), степень твёрдости (С1), номер структуры (5), разновидность связки (К), рабочая скорость (35 м/с), класс точности (А) и класс неуравновешенности (2кл) инструмента.

Выбор характеристики абразивного инструмента для различных видов шлифования производится с учётом следующих факторов: материал детали; группа шлифуемости и твёрдость этого материала, размеры заготовки и её формы, требуемая шероховатость обработанной поверхности.

### **Техника безопасности при шлифовании**

Круги перед постановкой на станок должны быть отбалансированы и испытаны на прочность при окружной скорости, в 1,5 раза превышающей рабочую скорость коуга. На станке должен быть стальной защитный кожух с минимальной открытой частью. Шлифовальные станки необходимо оснащать пылеулавливающими и пылеотсасывающими вентиляционными устройствами.

### **Чистовые методы абразивной обработки типовых деталей машин**

Чистовые методы обработки делятся на две группы: обработка свободным абразивом – притирка, полирование, гидроабразивная, виброабразивная, магнитоабразивная и ультразвуковая обработка; обработка

инструментом со связанным абразивом – хонингование, суперфиниширование, притирка закреплёнными абразивами (брусками, прокатом).

**Притирка** обеспечивает наиболее высокую точность и высокое качество поверхностного слоя. Процесс состоит из нескольких переходов: предварительного, промежуточного и окончательного. Притирочные смеси, наносимые на диск-притир, применяются в виде паст и суспензий с концентрацией абразивов (мелких и шлифпорошков и микропорошков) от 3 до 30%. Давления на деталь небольшое около 0...0,05 Мпа. При относительном движении притира и детали происходит снятие тонких слоёв материала. Процесс **доводки** содержит механическое снятие выступающих микронеровностей, адсорбционное воздействие поверхностно-активных веществ, облегчающих процесс разрушения, и химические явления образования и срыва оксидных плёнок. На предварительных операциях применяют мягкие пористые притиры, а на окончательных – твёрдые, обычно стеклянные притиры.

**Полирование** обычно ведётся абразивными пастами, которые наносят (шаржируют) на круги из дерева, кожи, войлока, фетра и тканей. Съём металла обычно не более 0,01...0,03 мм. Полирование ведётся в два-три перехода с последовательным применением более мелких зёрен абразива.

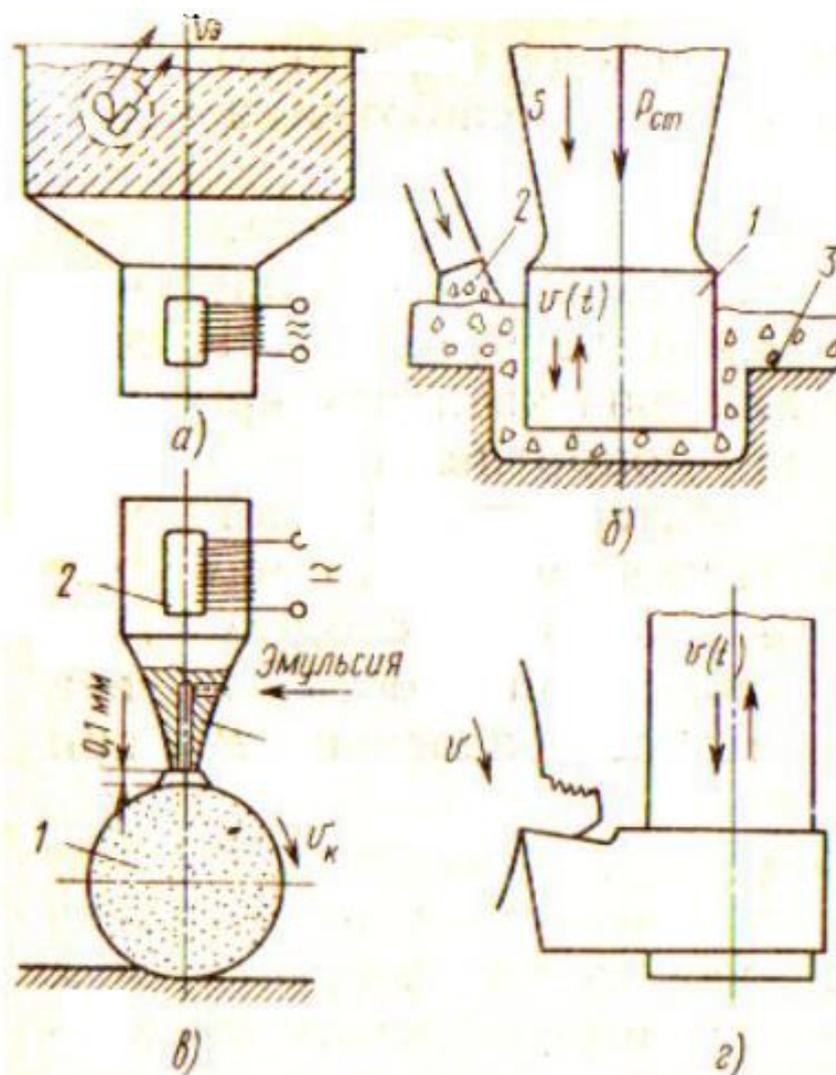
**Струйно-абразивная обработка** производится зёрнами абразива, выбрасываемыми струёй воздуха под давлением. При ударе абразивных зёрен происходит съём материала и постепенное уменьшение высоты микронеровностей, а также упрочнение поверхностного слоя, что значительно повышает циклическую прочность деталей. Равномерность съёма материала обеспечивается определённым расположением форсунок и относительными перемещениями детали и струи абразивной суспензии. Интенсивность съёма обрабатываемого материала зависит от зернистости абразива, давления и угла атаки струи. Способ наиболее эффективен при обработке внутренних и наружных поверхностей крупных деталей фасонной формы.

**Виброабразивную** обработку осуществляют в контейнерах, заполненных абразивными зёрнами и жидкостью, в которых размещаются детали. Относительное перемещение зёрен абразива и обрабатываемых поверхностей деталей производится за счёт сообщения контейнеру колебаний в нескольких направлениях. Виброабразивная обработка позволяет успешно механизировать трудоёмкие операции по очистке, снятию заусенцев и полированию деталей сложной формы.

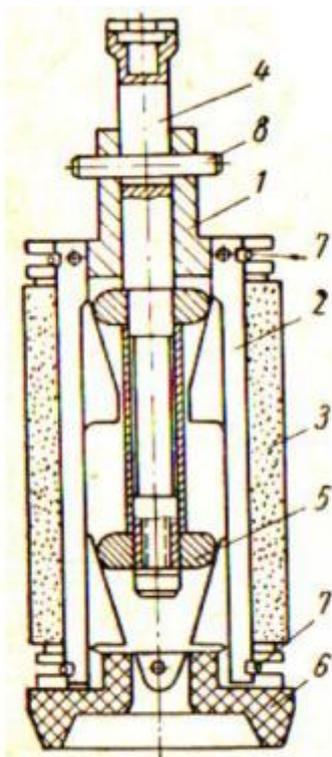
**Турбоабразивную** обработку производят в рабочей камере, дном которой является пористая решётка через которую подают сжатый воздух. На дно камеры помещаются детали и абразивные частицы, а затем создаётся т.н. «кипящий слой». Благодаря интенсивному турбулентному движению частиц обрабатываются детали наиболее сложного профиля. Аналогично проводятся процессы жидкостно-абразивной и магнитно-абразивной, центробежно-планетарной и экструзионно-абразивной обработки.

**Ультразвуковые** методы обработки основаны на использовании энергии ультразвуковых колебаний частотой от 18 до 44кГц и интенсивностью более  $10 \text{ Вт/см}^2$ . Источником ультразвука служат пьезокерамические или магнитострикционные преобразователи, возбуждаемые от ультразвукового генератора. Разновидностями ультразвуковой обработки (рис.6.5): а - обработка незакрепленным абразивом, для снятия мелких заусенцев (менее 0,1 мм) и шлифования мелких деталей (массой менее 10-20 г; б – размерная обработка деталей из твёрдых хрупких материалов абразивной суспензией; в – очистка и смазка рабочей поверхности круга в процессе чистового шлифования вязких материалов; г – сообщение вынужденных ультразвуковых колебаний малой амплитуды режущим инструментам (лезвийным и абразивным) для интенсификации обычных процессов резания труднообрабатываемых материалов.

Для окончательной обработки (доводки) высокоточных отверстий применяют **хонингование**, при котором инструментом служит хонинговальная головка (хон) с закреплёнными по окружности абразивными или алмазными брусками (рис.6.6).



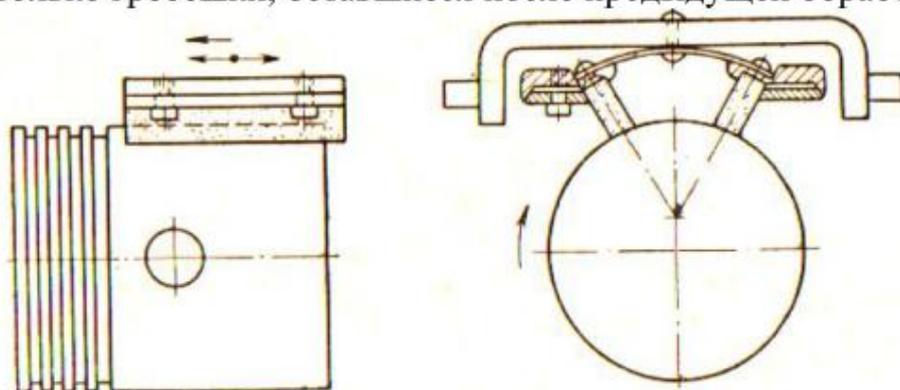
**Рис.6.5. Виды ультразвуковой обработки материалов**



**Рис.6.6. Хонинговальная головка**

В пазах корпуса 1 размещаются колодки 2 с абразивными брусками 3. Колодки 2, имеющие конические выступы, круговыми пружинами 7 прижимаются к нажимным шайбам 5, закреплены на стержне 4 с отверстием под палец 8. Палец 8 служит для крепления хона на шпинделе станка, конус 6 – для центрирования головки. В процессе работы хон совершает вращательное и одновременно возвратно-поступательное движение. В конце двойного хода (вниз и обратно) хона стержень 4 продвигается вниз относительно корпуса 1 и нажимными шайбами 5 раздвигает на несколько микрон колодки брусками, т.е. производит радиальную подачу брусков для снятия припуска.

**Суперфиниширование** – процесс сверхтонкой абразивной обработки наружных и внутренних цилиндрических поверхностей, а также плоскостей колеблющимися брусками, обеспечивает получение высокого качества поверхности ( $R_a = 0,02 \dots 0,08$  мкм). При суперфинишировании удаляются только гребешки, оставшиеся после предыдущей обработки рис.6.7.



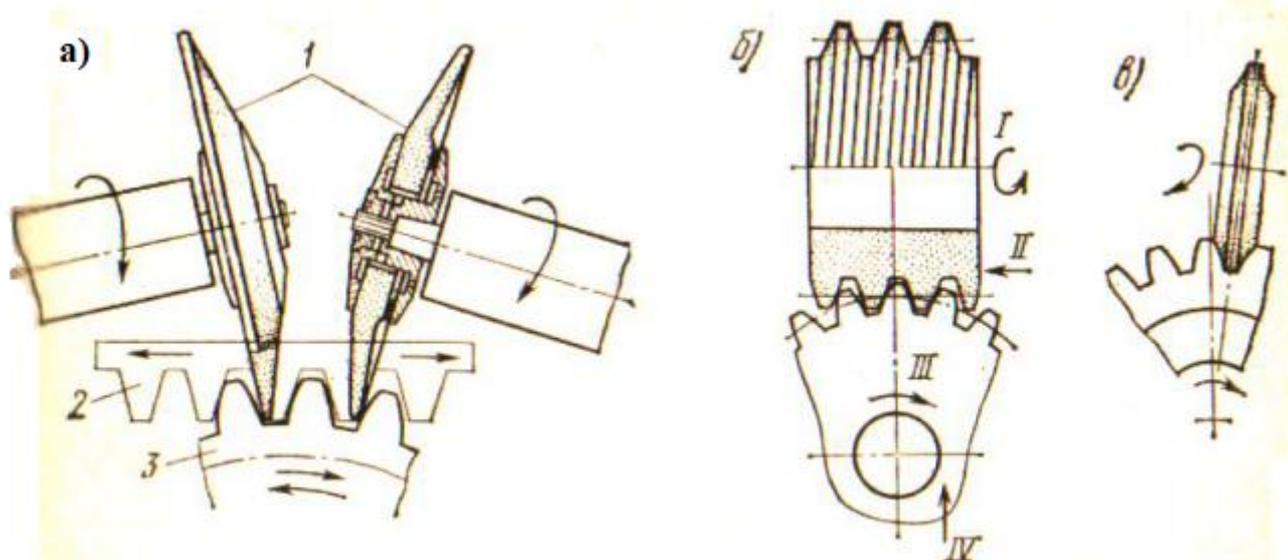
**Рис.6.7. Схема суперфиниширование наружной поверхности цилиндрического поршня**

Частота колебания брусков 300-2500 дв.ход/мин, амплитуда 1...54 мм, продольная подача 100-1000 мм/мин, окружная скорость 10-30 м/мин, давление брусков  $\leq 0,2$  Мпа, температура резания не превышает 100°C.

Хонингование и супефиниширование – процессы двухстадийные; вначале удаляются неровности, образовавшиеся от предшествующей обработки, а затем неровности, образовавшиеся на первой стадии.

При отделочной обработке зубчатых колёс и шлицевых пазов в условиях единичного и серийного производства часто применяется шлифование.

Зубошлифование осуществляют в основном двумя методами: обкаткой и профильным копированием с помощью фасонного шлифовального круга. Шлифованием достигают шероховатости поверхности  $R_a = 0,4...0,1$  мкм и точности основных параметров зубчатого колеса в пределах 4...7 степени точности независимо от размера оставляемого припуска.

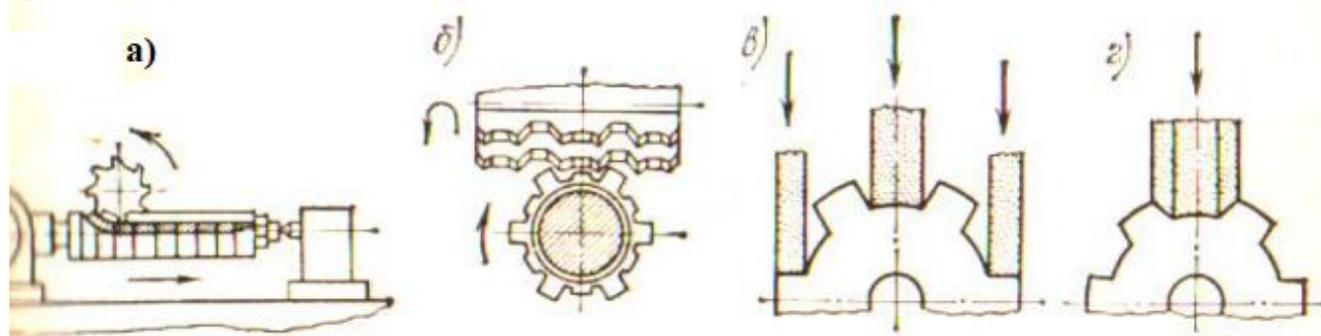


**Рис.6.8. Схема шлифования зубьев шестерён**

На рис.6.8,а изображена схема шлифования зуба цилиндрического колеса. Два шлифовальных круга 1 установлены таким образом, чтобы их торцы, обращённые к шпинделям, совпадают с боковыми сторонами зубьев воображаемой производящей рейки 2, находящейся в зацеплении с заготовкой 3. Обкатываясь по вращающейся заготовке 3, шлифовальные круги своими торцами шлифуют поверхность зубьев колеса.

Более производительным является шлифование абразивным червяком (рис.6.8,б). шлифовальный круг, изготовленный в виде одно- или двухзаходного червяка диаметром 300 мм в процессе обработки сообщают два движения: вращательное I – вокруг оси (движение резания) со скоростью 20...30 м/с и поступательное II – вдоль оси заготовки (движение подачи) со скоростью 0,6 мм за один оборот колеса. Зубчатое колесо получает вращение III вокруг своей оси, согласованное с вращением абразивного

червяка, и периодическое радиальное движение подачи IV. Точность обработки однозаходным червяком соответствует 6-й степени точности, двухзаходным – 7-й, шероховатость  $R_a = 0,8-0,1$  мкм. Применяют также шлифование зуба копировальным фасонным шлифовальным кругом (рис.6.8,в).



**Рис.6.9. Схема формирования шлицевых валов на горизонтальнофрезерном, б – шлицефрезерном, в - шлицешлифовальном станках**

В единичном, мелко-и крупносерийном производствах шлицы на валах обычно фрезеруют в две операции: вначале обрабатывают боковые стороны шлицев двумя дисковыми фрезами одновременно, а затем внутренний диаметр -профильной фрезой. Шлицевые валы диаметром до 30 мм обычно фрезеруют за один проход червячной фрезой (рис.6.9,б). Гнёзда шлицевых валов после термической обработки обычно прошлифовывают абразивным инструментом (рис.6.9, в,г). Шлифование боковых сторон шлицев и внутреннего диаметра шлицевого вала производят за один или два перехода в обычных плоскошлифовальных станках периферией шлифовального круга (рис.6.9,в): сначала боковые стороны шлицев двумя кругами, а затем внутренний диаметр одним профильным кругом. Либо паз шлифуется за один проход на шлицешлифовальном станке (рис.6.9,г).

**Шлифование резьбы** применяют для повышения её точности. Чаще всего после термической обработки заготовок и осуществляется на специальных резьбошлифовальных станках следующими способами (рис.6.10): однопрофильным кругом-а;методом врезания многопрофильным кругом с продольным движением подачи - б; широким многопрофильным кругом с осевым движением подачи- в.

Шлифование однопрофильным кругом является универсальным и точным методом. Его применяют для изготовления метчиков, резьбовых пробок, резьбовых колец и т.п.

Многопрофильные круги, шлифующие резьбу с продольным движением подачи, имеют заходную конусную часть. В обработке участвуют все нитки шлифовального круга, что является преимуществом перед врезным шлифованием, т.к. увеличивает производительность.

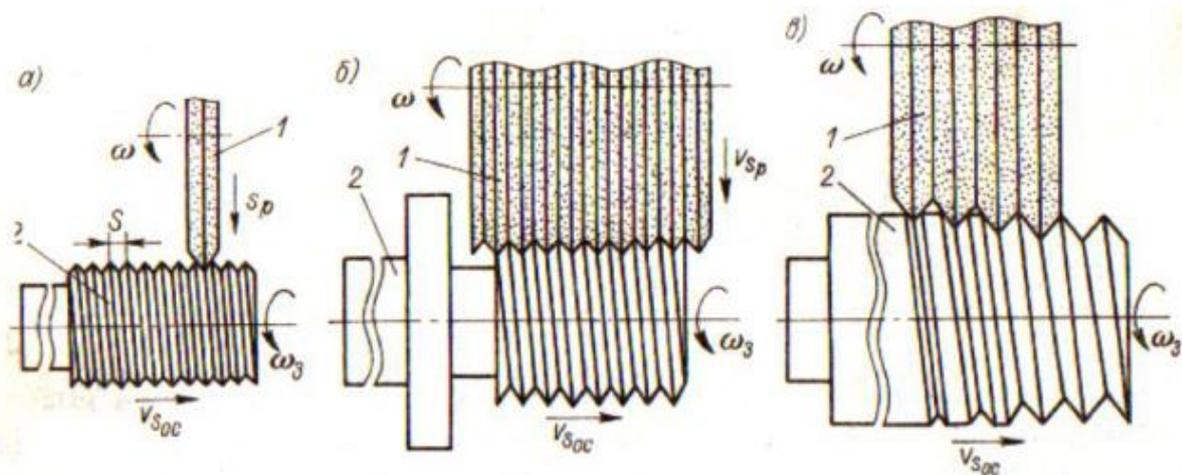


Рис.6.10. Схема резьбошлифования: 1 – шлифовальный круг; 2 - заготовка

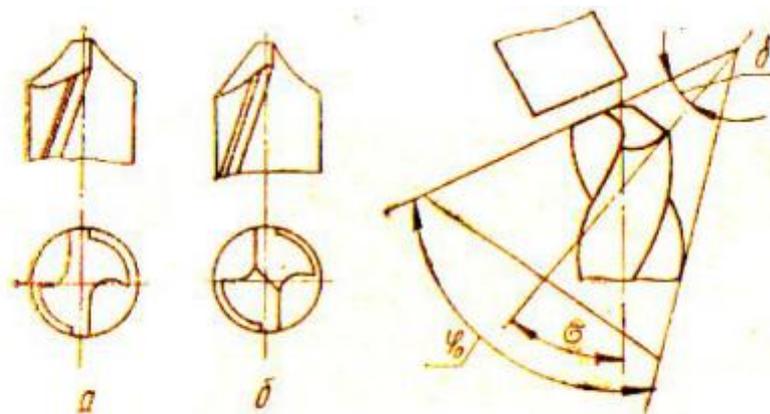
### Заточка режущего инструмента

Заточка – абразивная обработка, выполняемая для получения требуемых геометрической формы и размеров, высоты микронеровностей и качества поверхностного слоя (отсутствие прижогов) передних и задних поверхностей металлорежущего инструмента (резцов, фрез, свёрл и т.д.).

В зависимости от конструкции токарного резца и характера его износа заточку выполняют по передней, задней или по обеим поверхностям. При незначительном износе стандартных резцов по передней поверхности резцы целесообразно затачивать только по задней поверхности. Фасонные резцы перетачивают только по передней поверхности.

Для заточки резцов на шлифовально-точильных станках применяются абразивные плоские круги прямого профиля (ПП) или плоские круги с выточкой (ПВ). Абразивный круг в процессе заточки и доводки всех видов резцов должен вращаться в направлении режущей кромки резца (на заточника), что обеспечивает более высокое качество режущей кромки. Резцы из быстрорежущей стали целесообразно затачивать в последовательности: сначала переднюю поверхность, затем главную, вспомогательные задние грани и наконец закругления и фаски на вершинах резцов. При заточке твёрдосплавных резцов сначала обрабатывают задние поверхности державки резца кругами из электрокорунда, а затем в указанной выше последовательности на алмазном круге. После заточки резцов производят доводку режущей кромки кругами из карбида кремния зелёного с зернистостью 8-3, твёрдостью СМ2-СМ1 или кругами из КНБ зернистостью ЛМ40 на органической связке.

Заточка спиральных свёрл имеет разновидности: коническая, винтовая, одноплоскостная двухплоскостная. Наибольшее распространение получила коническая заточка. При этом методе сверло в процессе заточки покачивается вокруг оси сверла рис.6.11,а, скрещивающейся с осью сверла, а задняя поверхность каждого пера оформляется как часть конуса. Задний угол в цилиндрическом сечении увеличивается от периферии к центру.



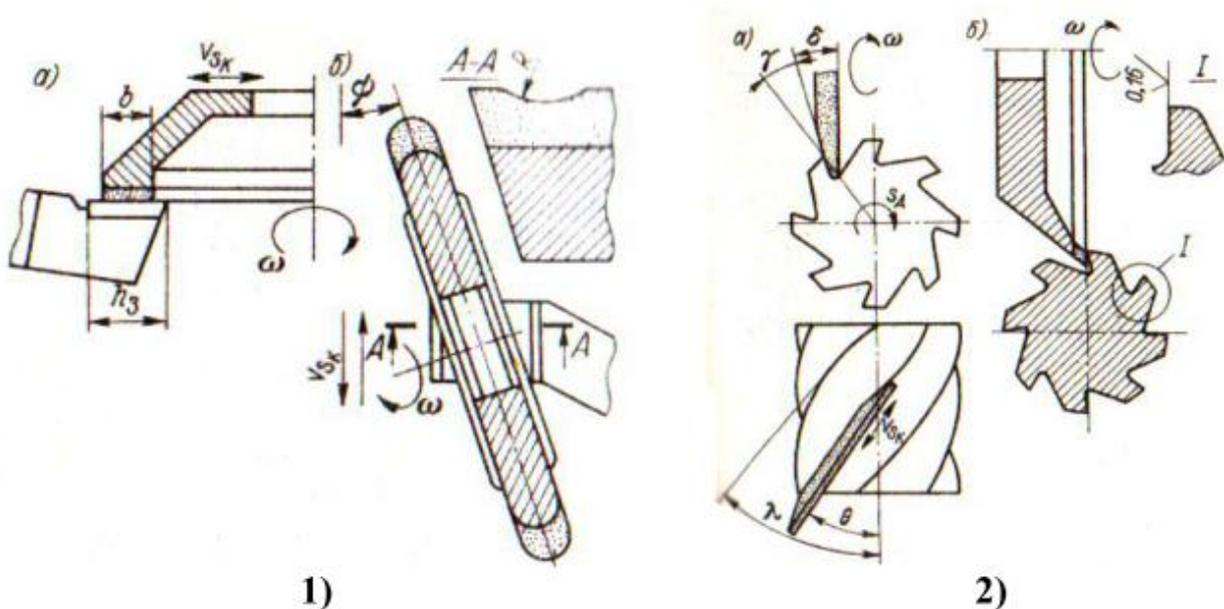
**Рис.6.11. Схема заточки свёрл: а – коническая, б – винтовая**

Винтовая заточка сверл рис.6.11, б образуется в процессах одновременного вращения сверла вокруг своей оси и возвратно-поступательного движения затылования.

Одноплоскостная заточка применяется в основном для свёрл диаметром менее 3 мм. Задняя поверхность каждого пера в этом случае оформляется одной плоскостью, причём для того, чтобы конец пера не упирался в дно просверливаемого отверстия, задний угол в цилиндрическом сечении должен быть не менее  $28^\circ$ . Поперечная кромка прямолинейна и перпендикулярна оси сверла.

При двухплоскостной заточке каждая из двух плоскостей, образующих заднюю поверхность пера, затачивается отдельно. Ребро пересечения плоскостей проходит через ось сверла параллельно главным кромкам. Поперечная кромка состоит из двух наклонных прямых с выступающей центральной точкой, которая повышает точность сверления и улучшает работу сверла в начальный момент врезания. Задний угол первой плоскости выбирается в зависимости от материала. У второй плоскости задний угол выполняют в пределах  $25-40^\circ$ .

Форма режущих кромок инструмента образуется за счёт перемещения затачиваемой поверхности инструмента (движение подачи) относительно вращающегося шлифовального круга, имеющего различную форму, которая обеспечивается предварительной правкой. При заточке используют круги прямого профиля, а также инструменты чашечной или тарельчатой формы.



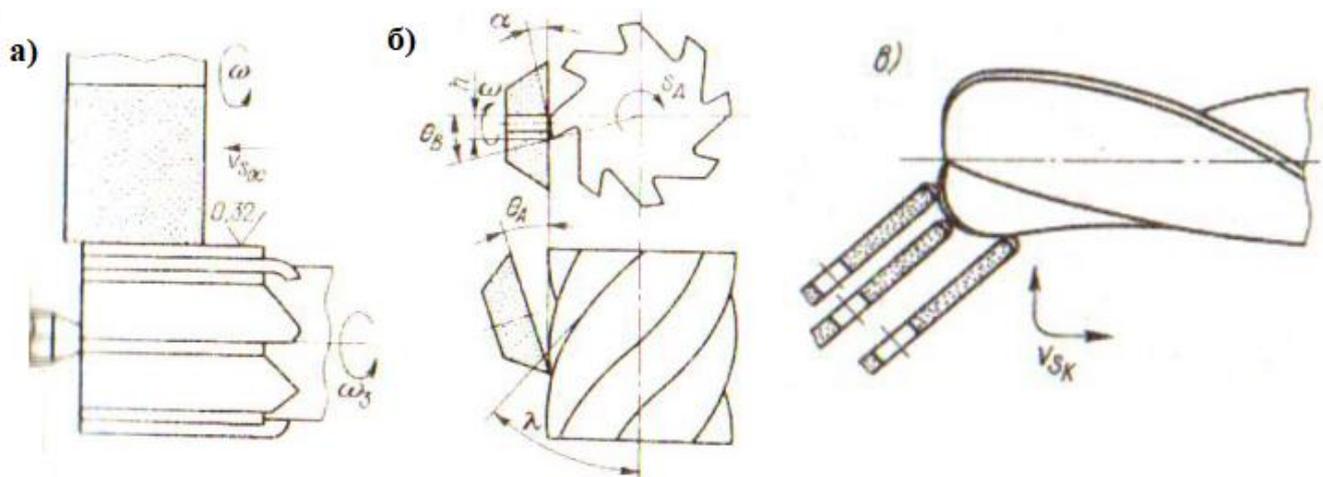
**Рис.6.12.1. Схема заточки передней поверхности поверхности резца-а; прорезки стружколомающей канавки-б**

**Рис.6.12.2. Схема заточки многолезвийного инструмента**

Заточку инструмента проводят по следующим схемам: передние и задние грани резцов (рис.6.12.1. где  $b$ -ширина круга; $h_3$ - ширина или высота затачиваемой поверхности;  $\phi$ - угол разворота шлифовальной головки;  $R$ - радиус канавки ), задние поверхности многолезвийных инструментов (рис.6.12.2. где а – инструмент с винтовыми зубьями и; б –инструмент с прямыми зубьями и круг эльбора; $S_d$  – движение деления;  $\lambda$  – угол подъёма винтовой линии стружечной канавки;  $\theta$  – угол разворота шлифовальной головки;  $\delta$  – угол профиля круга) затачивают торцевой поверхностью чашечных кругов или периферией круга прямого профиля. При заточке торцов обеспечиваются большая производительность и меньшая высота микронеровностей, чем при заточке периферией шлифовального круга.

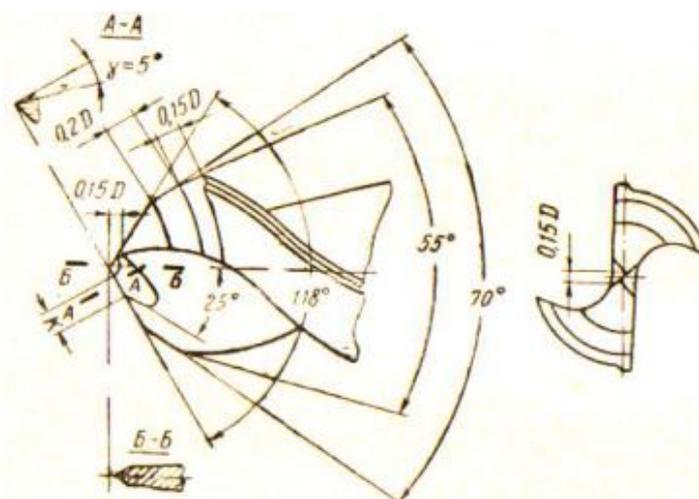
Передние поверхности многолезвийных инструментов (рис.6.12.2)- фрез, развёрток, метчиков и т.д. затачивают кругами тарельчатой формы (рис.6.12.2).

Задние поверхности затачивают кругами формы ПП (рис.13,а) и чашечной формы (рис.6.13,б). Прорезку стружколомающих канавок на инструментах из быстрорежущих сталей и заточку радиусных фрез (рис.6.13,в) по задним поверхностям производят шлифовальными кругами из эльбора формы 1F1X или 1E1.

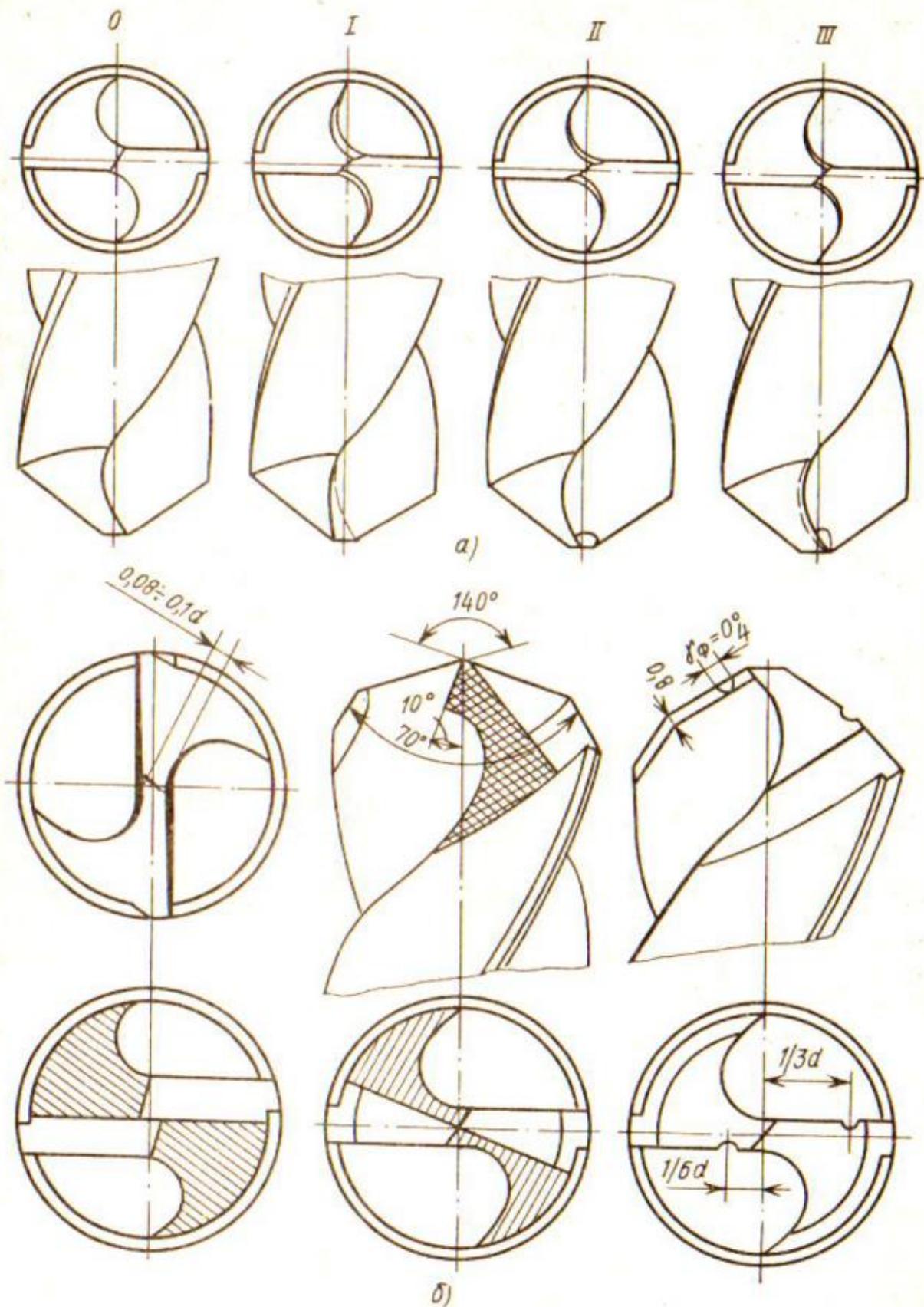


**Рис.6.13. Схемы заточки задней поверхности многолезвийного инструмента с прямыми зубьями-а; с винтовыми зубьями - б; радиусного инструмента – в; ( $h$ - смещение круга;  $\theta_A$  и  $\theta_B$  – углы разворота шлифовальной головки)**

Спиральное сверло является многолезвийным инструментом и достаточно быстро изнашивается. Кроме того, при резании возникает: давление сходящей стружки на переднюю поверхность; трение стружки о переднюю поверхность; давление материала на заднюю поверхность; трение задней поверхности о поверхность резания; трение о стенки отверстия ленточек, расположенных на цилиндрической поверхности сверла; осевое давление и крутящий момент от поперечной кромки сверла. Для уменьшения вредного влияния некоторых из перечисленных факторов производят заточку свёрл различными методами. На рис.6.14 показано сверло с двойной заточкой в сочетании с подточкой и прорезкой перемычки способствует уменьшению осевой силы и увеличению стойкости сверла в 4-5 раз. На рис.6.15 показаны различные методы заточки сверла, в результате которой удаётся повысить производительность.



**Рис.6.14.Сверло конструкции В.И. Жирова**



**Рис.6.15. Методы заточки спиральных свёрл**

Для обработки отверстий в высокопрочных материалах целесообразно применять спиральные свёрла повышенной жёсткости, имеющие толщину сердцевины  $(0,3-0,35)D$  с подточкой перемычек: I, II, III.

Свёрла из быстрорежущих сталей применяют для сверления материалов  $\sigma_B < 1600$  МПа; для более прочных материалов необходимо применять твёрдосплавные свёрла марок ВК8 и ВК10.

### **Методика выполнения работы**

1. Ознакомиться с работой плоско-шлифовального и шлифовально-заточного станков и маркировкой абразивного инструмента.
2. Получить задание у преподавателя для заточки: токарного резца; спирального сверла; зубила; отвёртки; бытового ножа и т.п.
3. Выбрать марку круга для заточки инструмента в соответствии с заданием.
4. Подготовить шлифовальный станок к работе.
5. Провести заточку по заданным параметрам.
6. Проконтролировать правильность заточки измерением и экспериментально.
7. Дать эскизы заточенного инструмента с указанием полученных и заданных размеров (последние - в скобках).
8. Указать материалы рабочих частей затачиваемого инструмента.
9. Расшифровать марку использованного шлифовального круга.
10. Получить задание на расшифровку абразивного круга и сделать предположение об его использовании.

### **Контрольные вопросы для самопроверки**

1. Что такое абразивные материалы?
2. Разновидности абразивных материалов и их основные представители?
3. Формы шлифовальных кругов и их назначение?
4. Маркировка абразивных материалов.
5. Основные характеристики шлифовальных кругов.
6. Маркировка шлифовальных кругов.
7. Основные виды отделочной обработки и доводи типовых деталей машин.
8. Особенности различных видов шлифования.
9. Особенности подготовки шлифовальных кругов к работе.
10. Каково назначение правки кругов и способы её выполнения?
11. Особенности процессов заточки режущих инструментов.
12. В чём различия в технологических процессах шлифования и полирования?
13. Что такое притирка и способы её выполнения ?
14. Что такое зернистость, твёрдость и пористость шлифовальных кругов?

15. Особенности выбора шлифовального круга в зависимости от свойств абразивного материала.
16. Почему не целесообразно шлифование стали и чугуна алмазными материалами?
17. В каких случаях применяется ленточное шлифование?
18. Особенности производства искусственных алмазов и инструмента на основе кубического нитрида бора (эльбор, боразон, кубонит)?
19. В чём особенности ультразвуковой обработки материалов?
20. Какие виды отделочной обработки деталей Вам известны?