



Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет) имени И.М.
Губкина

Кафедра трибологии и технологий ремонта нефтегазового оборудования

УЧЕБНАЯ ДИСЦИПЛИНА
ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Лекция № 24

Преподаватель:
Доцент кафедры ТнТРНГО, к.т.н. Буклаков Андрей Геннадьевич

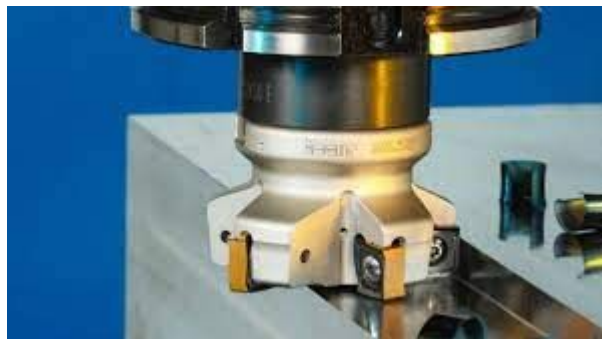
Москва 2021 год

Фрезерование

Фрезерование – технологический способ обработки плоских или фасонных линейчатые поверхности.

Фрезерование ведется многолезвийными инструментами – фрезами. Главное движение придается фрезе, движение подачи обычно придается обрабатываемой детали, но может придаваться и инструменту – фрезе. Чаще всего оно является поступательным, но может быть вращательным или сложным.

Процесс фрезерования отличается от других процессов резания тем, что каждый зуб фрезы за один ее оборот находится в работе относительно малый промежуток времени. Большую часть оборота зуб фрезы проходит, не производя резания. Это благоприятно сказывается на стойкости фрез. Другой отличительной особенностью процесса фрезерования является то, что каждый зуб фрезы срезает стружку переменной толщины



Виды фрез и основные фрезерные работы

Фрезы различаются:

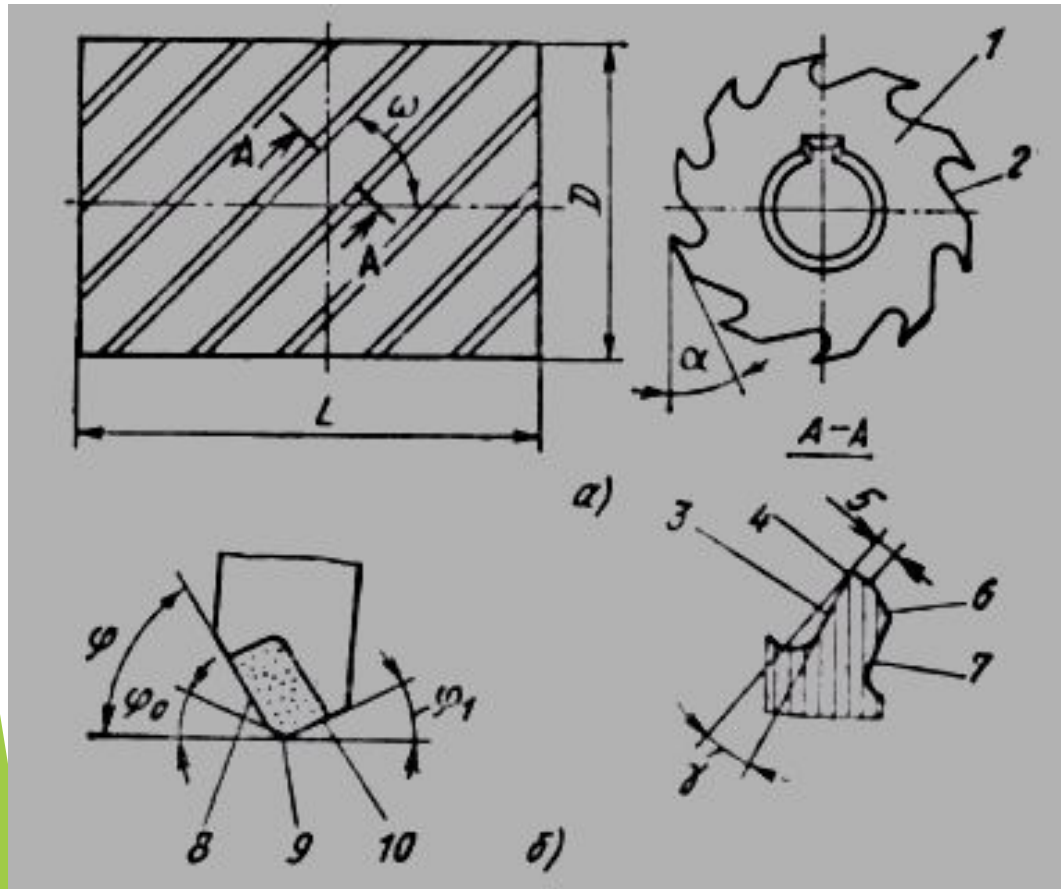
- *по материалу фрезы и ее рабочей части:*

- цельные – изготавливают из инструментальных сталей,
- сборные с напайными ножами – корпуса выполняются из конструкционных сталей, рабочие части зубьев – пластинки из быстрорежущих сталей, крепятся пайкой.
- сборные с вставными ножами – корпуса выполняются из конструкционных сталей, рабочие части зубьев – из твердых сплавов, крепятся механическими способами.

- *по форме режущего лезвия:* с прямыми и винтовыми режущими лезвиями;

- *по форме зуба:* с остrokонечной и затылованной формой зуба.

Основные геометрические элементы цилиндрической фрезы



Элементы и геометрия фрезы:

а – цилиндрическая фреза;

б – зуб торцевой фрезы;

1 – корпус,

2 – зуб,

3 – передняя поверхность зуба,

4 – режущее лезвие,

5 – ленточка,

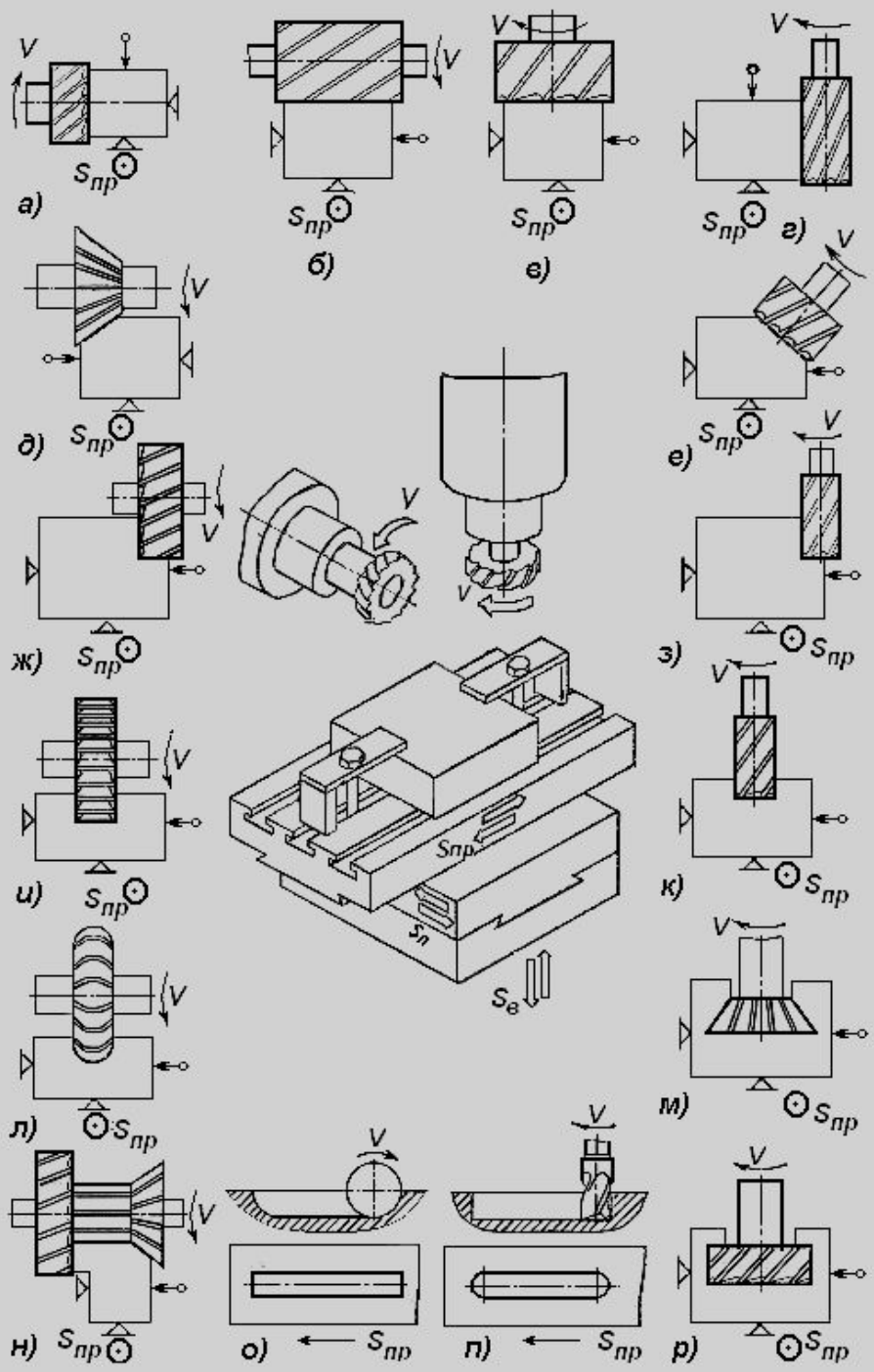
6 – задняя поверхность,

7 – спинка зуба,

8 – главное режущее лезвие,

9 – переходное режущее лезвие,

10 – вспомогательное режущее лезвие



Типы фрез и схемы обработки поверхностей на фрезерных станках:

а, в, е – торцовые;

б – цилиндрическая;

г, з, к – концевые;

д – угловая;

ж – дисковая; двухсторонняя;

и – дисковая трехсторонняя;

л – фасонная;

м – «ласточкин хвост»;

н – набор фрез;

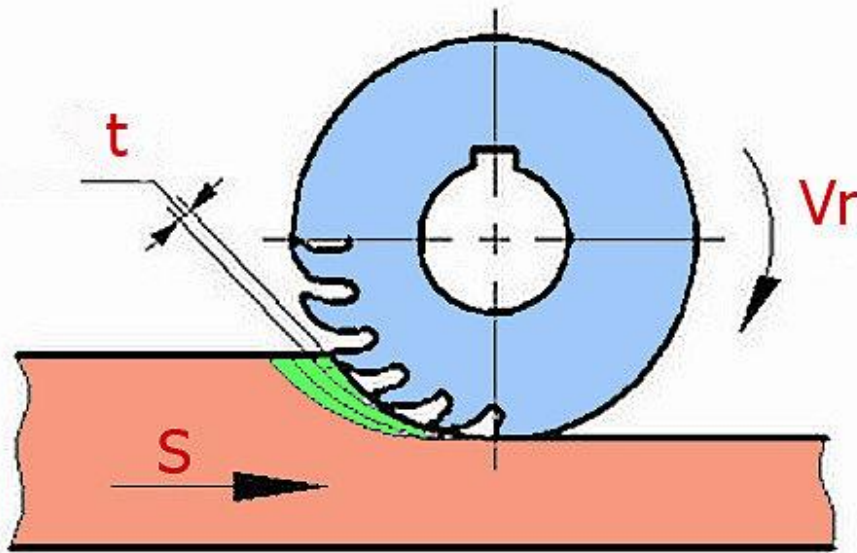
о – прорезная; отрезная;

п – шпоночная;

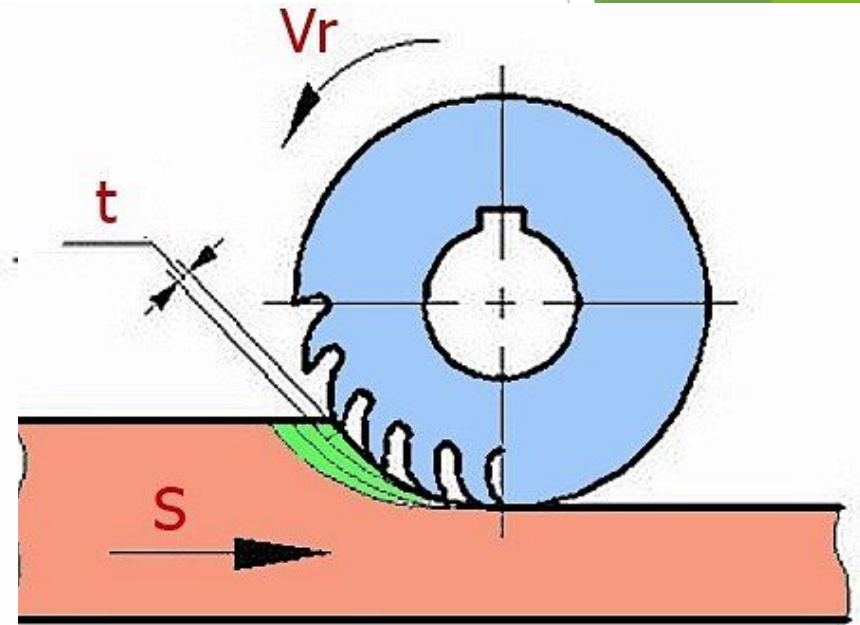
р – Т-образная

Различают два способа цилиндрического и торцевого фрезерования:

- фрезерованием против подачи (встречное), когда направление вращения фрезы направлено против направления подачи;
- фрезерованием в направлении подачи (попутное), когда направление вращения фрезы совпадает с направлением подачи.



Встречное фрезерование



Попутное фрезерование

Элементы режима резания при фрезеровании

Глубиной резания t является толщина слоя металла, срезаемого за один проход.

Под шириной фрезерования B следует понимать ширину обрабатываемой поверхности, измеренную в направлении, параллельном оси вращения цилиндрической или концевой фрезы, а при фрезеровании торцовой фрезой – в перпендикулярном.

Скоростью резания v является окружная скорость режущих лезвий фрезы

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\text{ст}}}{1000} \quad D - \text{диаметр фрезы, мм; } n - \text{частота вращения фрезы, об/мин}$$

Подачей называется перемещение обрабатываемой заготовки относительно фрезы.

При фрезеровании различают три вида подач:

- подача на зуб (s_z , мм/зуб) – величина перемещения заготовки за время поворота фрезы на один зуб;
- подача на оборот фрезы (s_0 , мм/об) – величина перемещения заготовки за время одного оборота фрезы;
- подача в минуту (или минутная подача, s_m , мм/мин) – величина перемещения заготовки в минуту

$$s_0 = s_z \cdot Z,$$

$$s_m = s_0 \cdot n,$$

$$s_m = s_z \cdot Z \cdot n,$$

Z – число зубьев фрезы, n – частота вращения, об/мин.

Плавность работы фрезы зависит от глубины резания, диаметра фрезы и числа зубьев. Она определяется величиной угла контакта фрезы с обрабатываемой заготовкой. Углом контакта δ называется центральный угол, соответствующий длине дуги соприкосновения фрезы с обрабатываемой заготовкой—деталью

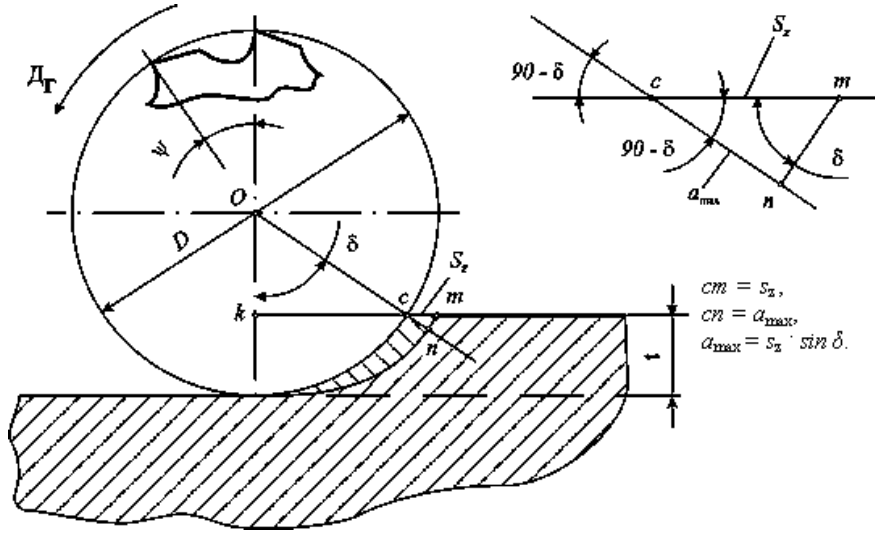


Схема расчета: а) – угла контакта фрезы δ и б) – максимальной толщины стружки a_{max}

$$\cos \delta = \frac{OK}{OC} \quad OK = \frac{D}{2} - t \quad OC = \frac{D}{2} \quad \cos \delta = 1 - \frac{2t}{D}$$

Для обеспечения плавности работы фрезы число одновременно работающих зубьев должно быть не менее двух.

$$Z_{o.p.} = \frac{\delta}{\psi} \geq 2$$

$$\psi = \frac{360^\circ}{Z}$$

$$Z_{o.p.} = \frac{\delta \cdot Z}{360^\circ}$$

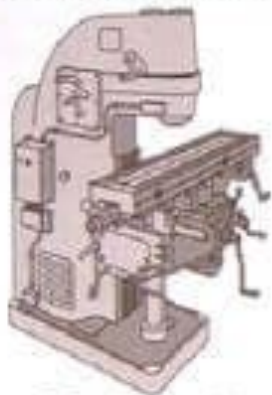
Толщина среза при фрезеровании переменная, ее величина зависит от подачи на зуб и угла контакта фрезы:

$$a_{max} = S_z \cdot \sin \delta$$

Виды фрезерных станков



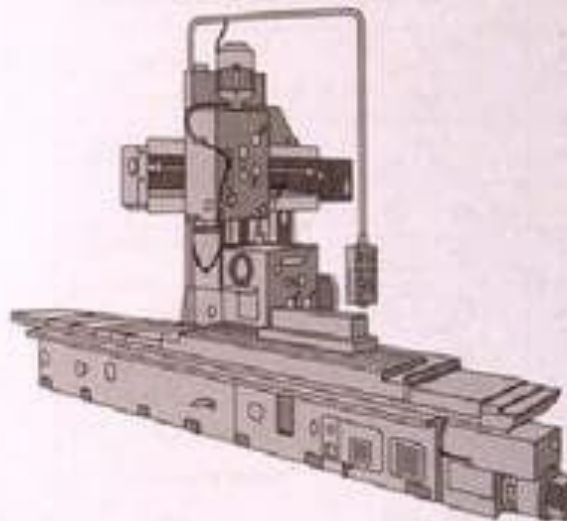
Вертикально-фрезерный консольный станок



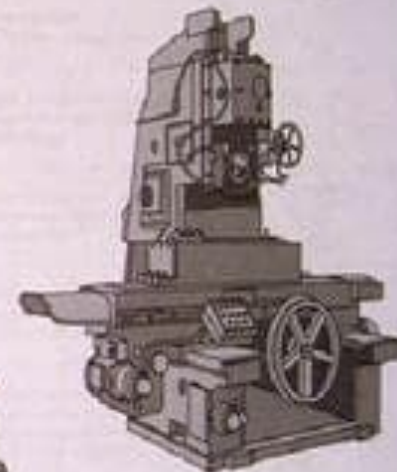
Карусельно-фрезерный двухшпиндельный станок непрерывного действия



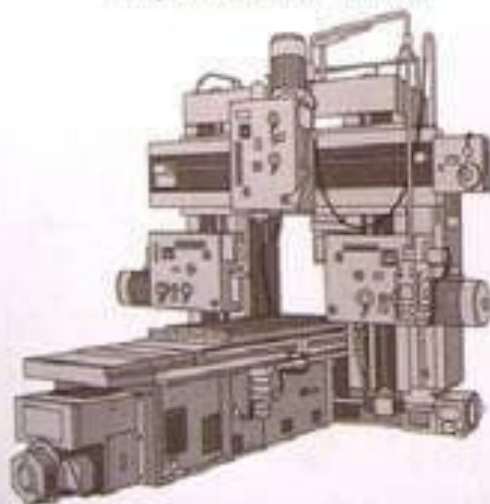
Продольно-фрезерный одностоечный станок



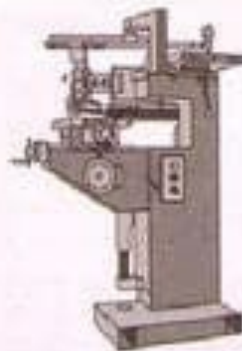
Вертикально-фрезерный бесконсольный станок



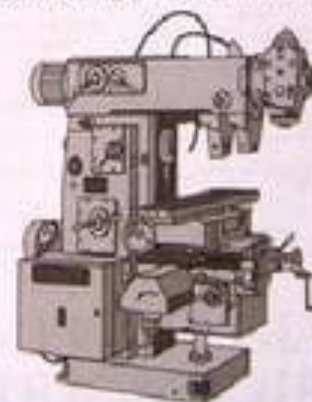
Продольно-фрезерный двухстоечный станок



Гравировальный копировально-фрезерный станок с пантографом



Широкоуниверсальный консольно-фрезерный станок

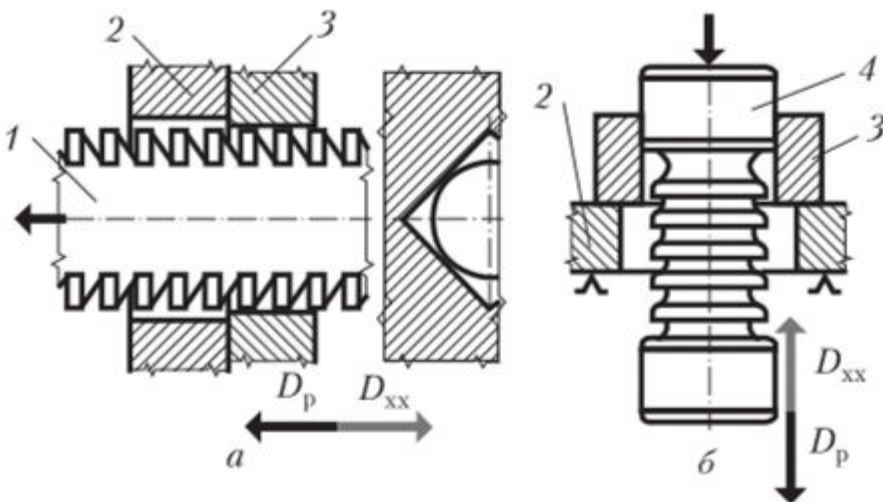


Горизонтально-фрезерный консольный станок



Протягивание

Протягиванием называется технологический процесс обработки резанием многолезвийными инструментами – протяжкой или прошивкой. Протяжки протягиваются через обрабатываемое изделие, а прошивки продавливаются (прошиваются) через него. При протягивании получают высокую точность размеров и качество обработанных поверхностей. Способ применяется для окончательной обработки деталей в крупносерийном и массовом производстве. Точность обработки при протягивании составляет 2-3 класс; шероховатость обработанной поверхности – 7-9 класс.



a — внутреннее протягивание;
б — прошивание;
1 — протяжка;
2 — опорная плита;
3 — заготовка;
4 — прошивка;
 D_p — движение резания;
 D_{xx} — обратный ход

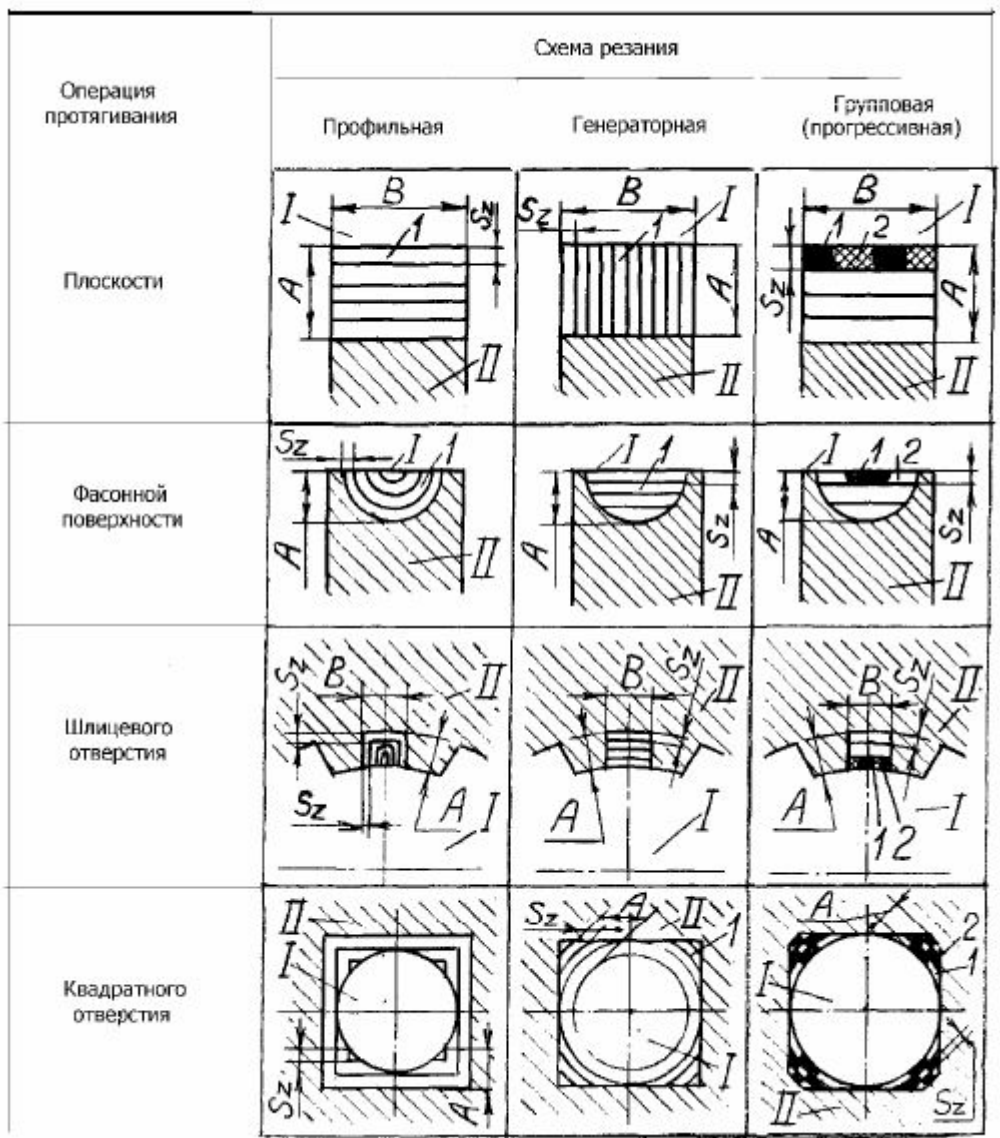


При протяжке припуск срезается различными способами и в зависимости от порядка срезания припуска различают следующие виды резания:

а) профильное резание – способ, при котором все режущие зубья протяжки снимают припуск, но не участвуют в окончательном формировании поверхности, последний зуб придаёт ей окончательную форму; этот способ применяется для обработки поверхностей простых форм, так как изготовление точного профиля здесь затруднительно;

б) генераторное (ступенчатое) резание – способ, при котором каждый режущий зуб протяжки, срезая припуск, одновременно участвует в построении поверхности;

в) прогрессивно-групповое резание – способ, при котором все зубья, распределённые по группам (2 – 5 зуба), снимают слой металла не сразу по всей ширине, а частями; применяется при снятии относительно больших припусков.



Схемы срезания припуска при протягивании

Режимы резания при протягивании

Глубина резания - при протягивании определяется размерами и формой обрабатываемой поверхности, ей может являться ширина обрабатываемой поверхности или периметр обрабатываемого отверстия.

Подача выбирается в таблицах справочников в зависимости от свойств обрабатываемого материала в пределах от 0,01 до 0,3 мм.

Скорость резания выбирается в справочной литературе или рассчитывается по формуле:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot s_z^y}$$

Скорость резания при протягивании составляет 2 – 20 м/мин, при протягивании быстрорежущими протяжками находится в пределах от 2 до 10 м/мин, твердосплавными протяжками – до 20 м/мин.

Стойкость протяжек назначается в пределах 100-500 мин.

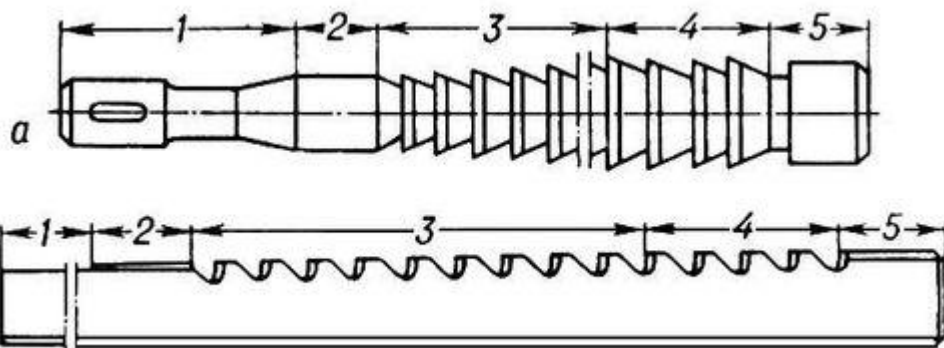
Припуск под протягивание составляет для отверстий в поковках и отливках 2 – 6 мм; для отверстий, полученных сверлением, зенкерованием или растачиванием, 0,2 – 0,5 мм, однако производительность протягивания высока, т.к. велика суммарная длина одновременно работающих режущих кромок

Инструменты для протягивания

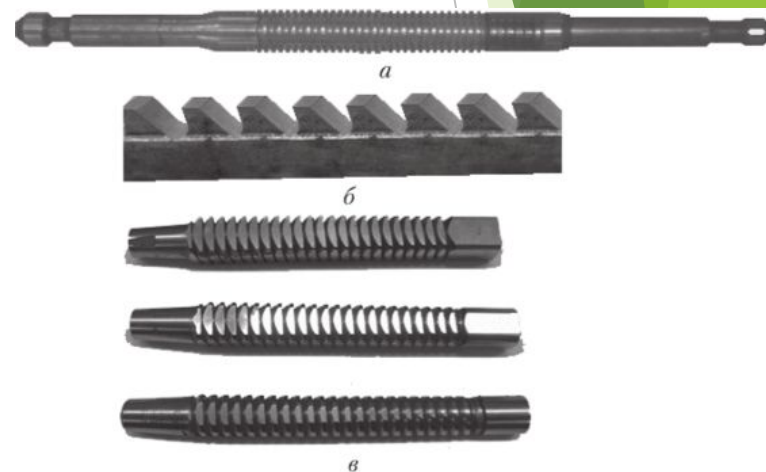
Основными инструментами при протягивании являются протяжки и прошивки.

Протяжки подразделяют по назначению:

1. для обработки внутренних поверхностей;
 - цилиндрические – для обработки круглых отверстий;
 - шлицевые – для обработки прямых и винтовых шлицевых отверстий с любым типом профиля;
 - шпоночные – для обработки шпоночных и других типов пазов;
 - граненые (квадратные, шестигранные и др.) – для многогранных отверстий;
 - протяжки для обработки винтовых канавок.
2. для наружного протягивания.
 - наружные плоские;
 - наружные фасонные.



Элементы протяжек: а — для внутреннего протягивания;
б — для наружного протягивания;
1 — хвостовик; 2 и 5 — передняя и задняя направляющие части; 3 — режущая часть; 4 — калибрующие зубья



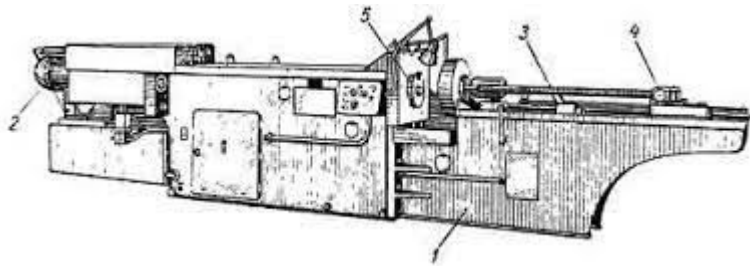
Протяжной режущий инструмент:

- а — внутренняя круглая протяжка;
- б — элемент наружной протяжки;
- в — комплект прошивок

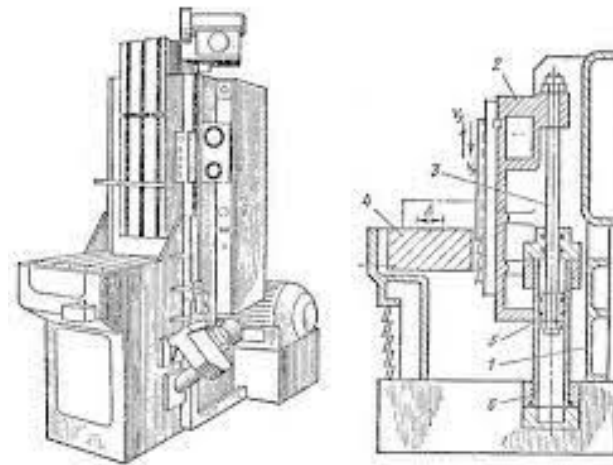
Оборудование для протягивания

Протяжные станки подразделяют на следующие типы:

1. горизонтально-протяжные для внутреннего протягивания;
2. горизонтально-протяжные для наружного протягивания;
3. вертикально-протяжные для внутреннего протягивания;
4. вертикально-протяжные для наружного протягивания;
5. горизонтально-протяжные непрерывного действия;
6. специальные.



Горизонтальный протяжной станок



Вертикально протяжной станок

Абразивная обработка

Абразивная обработка – технологический процесс обработки поверхностей абразивным инструментом или в абразивосодержащих средах.

Способ позволяет получить высокую точность размеров и качество поверхности детали.

При абразивной обработке припуск с поверхности заготовки удаляется срезанием материала множеством абразивных зерен, в результате чего поверхность приобретает определенное качество, точность размеров и расположения относительно других поверхностей детали.



Способы абразивной обработки

В машиностроении наиболее часто применяются следующие виды абразивной обработки:

- шлифование — обдирочное, наружное круглое в центрах и бесцентровое; внутреннее круглое в патроне, бесцентровое и планетарное; плоское торцом и периферией круга, глубинное шлифование; абразивная отрезка и абразивная прорезка; резьбошлифование; зубошлифование; шлицешлифование;
- заточка режущих инструментов;
- ленточное шлифование и полирование;
- доводка;
- обработка свободными абразивными зёрнами — струйноабразивная, жидкостноабразивная во вращающихся барабанах, виброабразивная, турбоабразивная, притирка.

Обдирочное шлифование

Обдирочное шлифование используется для удаления с заготовок дефектного слоя материала после литья, прокатки,ковки, штамповки и сварки. При обдирочном шлифовании производится только зачистка поверхностей заготовок без их формообразования. Обдирочное шлифование ведется с большой глубиной резания и со значительной подачей.

Обдирочное шлифование производится при снятии больших припусков кругами на бакелитовой связке преимущественно прямого профиля (типа ПП, реже типов ПВ, ПР и ПН), а также чашечными кругами типа ЧК зернистостью 80-320.

Обдирочное шлифование выполняется на стационарных и подвесных станках, а также на ручных машинках.



Плоское шлифование

Плоское шлифование применяется для обработки плоских поверхностей деталей.

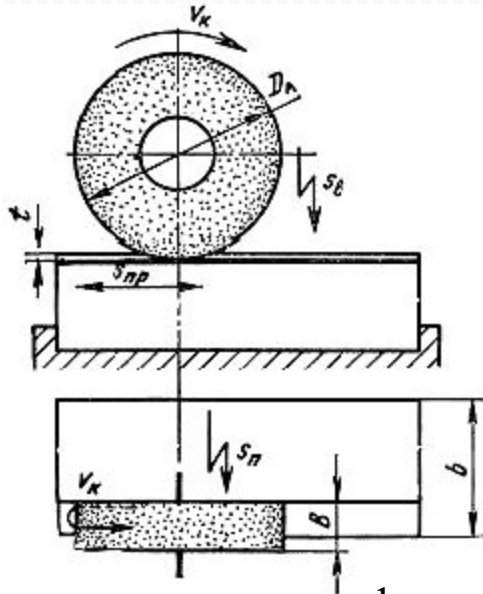


Схема плоского шлифования



Плоскошлифовальный станок

При плоском шлифовании обработка детали производится наружной частью и торцом шлифовального круга. Шлифовальный круг осуществляет главное движение резания, определяемое скоростью вращения круга V_k (в м/с), и поперечное движение подачи $S_{\text{п}}$ (в мм/дв. ход). Заготовка осуществляет возвратно-поступательное перемещение — продольную подачу $S_{\text{пр}}$ (в м/мин). В конце продольного хода после прохода по всей обрабатываемой поверхности заготовка или круг перемещаются на величину подачи $S_{\text{п}}$.

Глубина резания назначается в пределах 0,005-0,015 мм при чистовых проходах и 0,015-0,15 при черновых проходах. Поперечная подача зависит от ширины круга и назначается на чистовых проходах 0,2-0,3, а на черновых 0,4-0,7 его ширины.

Скорость продольной подачи заготовки назначается в пределах от 3 до 30 м/мин. Скорость резания не рассчитывается и не регулируется.

Круглое шлифование

Круглое шлифование применяется для обработки тел вращения.

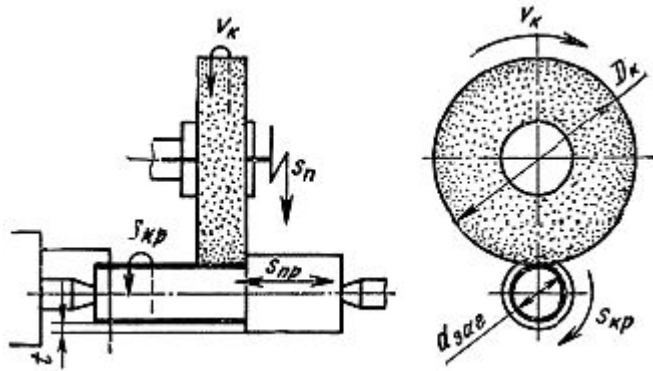


Схема наружного круглого шлифования



Наружное круглое шлифование

Для обработки деталь закрепляется в центрах станка и осуществляет вращательное движение. Вращение заготовки является круговой подачей $S_{кр}$ (в м/мин)

$$S_{кр} = \pi \cdot D_{заг} \cdot n_{заг} / 1000,$$

где $n_{заг}$ – частота вращения заготовки, об/мин; $D_{заг}$ – диаметр заготовки, мм.

Продольная подача осуществляется за счет возвратно-поступательного движения заготовки. Подача $S_{пр}$ (в мм/об) соответствует осевому перемещению заготовки за один ее оборот.

Круглое внутреннее шлифование применяется для обработки внутренних цилиндрических, конических и фасонных поверхностей

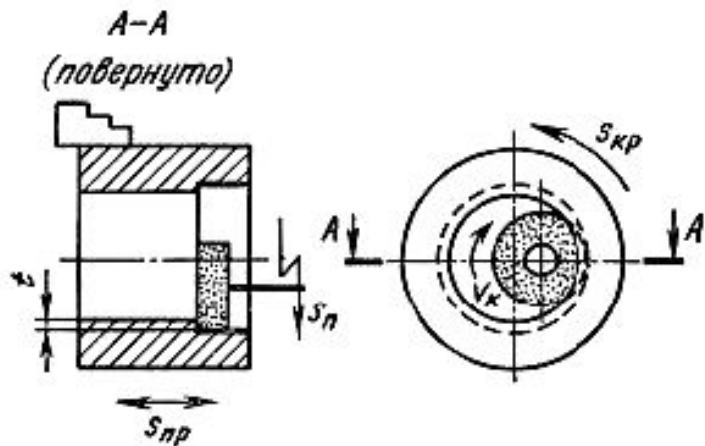


Схема круглого внутреннего шлифования

Круг осуществляет главное (вращательное) движение и продольное движение подачи, деталь – вращательное движение подачи. Диаметр круга принимается равным 0,7-0,9 диаметра обрабатываемого отверстия.

Глубина резания соответствует поперечной подаче круга.

Бесцентровое наружное шлифование отличается тем, что обрабатываемые заготовки получают вращение и шлифуются без крепления в центрах, причем базой при шлифовании является обрабатываемая поверхность

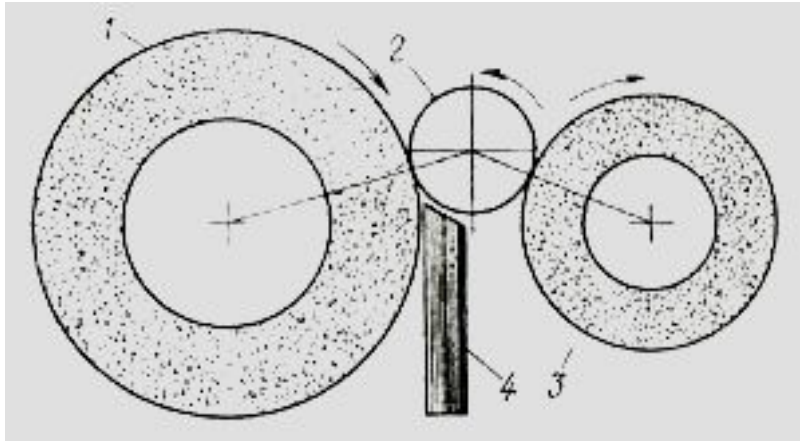


Схема наружного круглого бесцентрового шлифования:
1 – шлифующий круг; 2 – заготовка; 3 – ведущий круг; 4 – упор

При бесцентровом шлифовании главное движение резания - вращательное движение шлифующего круга. Ведущий круг обеспечивает вращение заготовки (круговое движение подачи) и продольную подачу

$$s_{\text{ж}} = \pi \cdot D_{\text{вк.}} \cdot n_{\text{вк.}} \sin \alpha \cdot \lambda$$

где: λ – коэффициент, учитывающий проскальзывание круга.

Хонингование применяют для получения отверстий высокой точности и малой шероховатости, а также для создания специфического микропрофиля обработанной поверхности в виде сетки. Обработке подвергаются сквозные или ступенчатые отверстия.

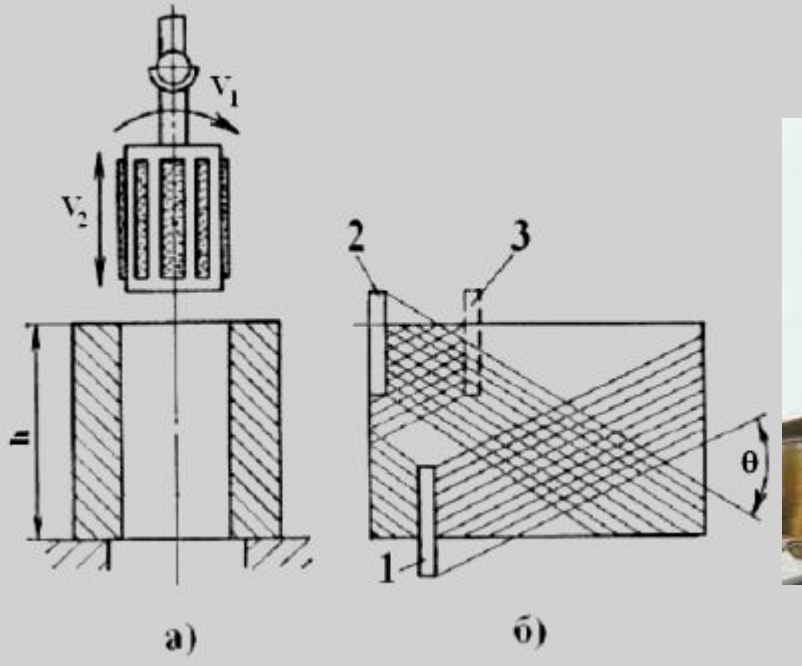


Схема хонингования отверстий: а – схема хонингования; б – развертка внутренней цилиндрической поверхности; 1, 2, 3 – положение абразивных брусков

Поверхность заготовки обрабатывают мелкозернистыми абразивными брусками, которые закрепляют в хонинговальной головке (хоне), являющейся режущим инструментом. Инструмент вращается и одновременно движется возвратно-поступательно вдоль оси обрабатываемого отверстия цилиндра высотой h (рисунок а). Соотношение скоростей V_1 и V_2 указанных движений составляет 1,5–10,0 и определяет условия резания. Скорость V_1 для стали составляет 45–60, а для чугуна и бронзы – 60–75 м/мин.

Суперфиниширование применяют для уменьшения шероховатости поверхности, оставшейся от прелыдвшей обработки

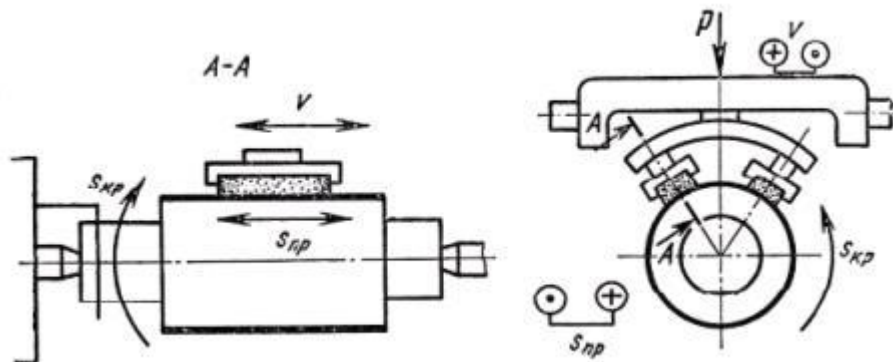


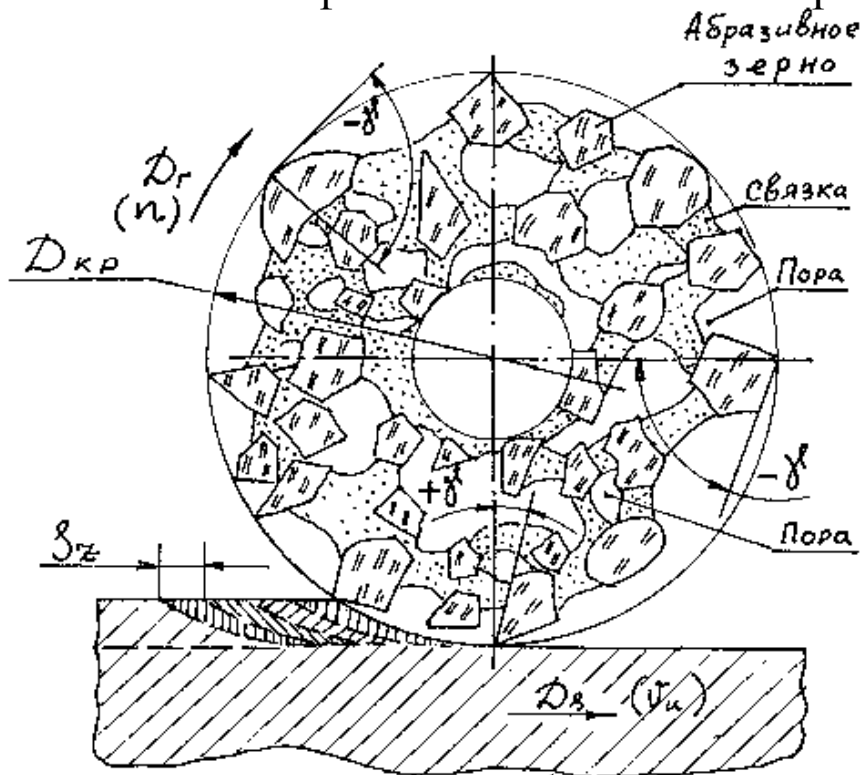
Схема отделки суперфинишированием

Суперфинишированием обрабатывают плоские, цилиндрические (наружные и внутренние), конические и сферические поверхности из закаленной стали, реже из чугуна и бронзы. Поверхности обрабатывают абразивными брусками, устанавливаемыми в специальной головке. Характерным для суперфиниширования является колебательное движение брусков наряду с движением заготовки. Процесс резания происходит при давлении брусков $(0,5-3,0) \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ и в присутствии смазки малой вязкости.

Схема обработки наружной цилиндрической поверхности приведена на рисунке. При обработке осуществляются три движения: вращательное S_{kp} заготовки, возвратно-поступательное S_{np} и колебательное брусков со скоростью V . Амплитуда колебаний брусков составляет 1,5-6,0 мм, а частота 400-1200 колебаний в минуту. Движение S_{np} ускоряет процесс съема металла и улучшает однородность поверхности. Бруски, будучи подпружиненными, самоустанавливаются по обрабатываемой поверхности.

Особенности абразивной обработки

Шлифование выполняется абразивными инструментами



Абразивный инструмент состоит из зерен абразивного (шлифовального) материала равномерно распределенных в связке. Значительную часть объема абразивного инструмента занимают воздушные поры.

Абразивные инструменты в подавляющем большинстве используются в виде шлифовальных кругов разнообразной формы. Кроме того, они могут использоваться в виде брусков, шкурок, паст и порошков.

Схема резания и расположения абразивных зерен, пор и связки в абразивном инструменте при шлифовании.

Процесс резания при шлифовании представляет процесс снятия стружки единичным зерном. Каждое единичное абразивное зерно представляет собой режущее лезвие со случайными геометрическими параметрами, которые зависят от формы зерна и от положения его в абразивном инструменте.

Единичное зерно срезает стружку очень малого переменного сечения. Обработанная поверхность образуется в результате совокупного действия большого числа абразивных зерен, расположенных на режущей поверхности абразивного инструмента.

Все абразивные зерна можно условно разделить на три группы:

- зерна, которые расположены на поверхности абразивного инструмента и осуществляют единичные процессы резания;
- зерна, которые расположены на поверхности и осуществляющие процесс пластического деформирования обрабатываемой поверхности;
- зерна, расположенные внутри абразивного инструмента, непосредственного участия в процессе обработки не принимают.

Срезаемая в процессе работы круга стружка располагается в порах между зернами. Разогревшаяся до высокой температуры, близкой к температуре плавления обрабатываемого материала, и размягчившаяся стружка забивает поры и налипает на поверхность круга, происходит так называемое «засаливание» его. При этом режущая способность шлифовального круга резко падает, ухудшается чистота и качество обработанной поверхности. Для восстановления режущей способности круга производится его правка, при которой с помощью правочных роликов или алмазных «карандашей» с режущей части круга удаляется поверхностный слой затупившихся и засалившихся зерен.

Абразивные инструменты

Абразивные инструменты выпускаются следующих групп:

1. *Абразивный инструмент фиксированной геометрической формы:* круги всех типов, кольца, сегменты, шлифовальные головки, бруски и т.д.
2. *Гибкий шлифовальный инструмент:* шлифовальная шкурка, шлифовальные ленты, лепестковые круги, сетчатые и фибровые диски, щетки из абразивонаполненных волокон.
3. *Свободный абразив и пасты:* смеси абразивных материалов с неабразивными.

Характеристикой абразивных инструментов являются природа абразивного материала, размер его зерен (зернистость) и зерновой состав (содержание основной фракции), твердость инструмента, природа и свойства связки, класс точности и класс неуравновешенности круга.

В качестве шлифовальных материалов применяются:

- природный алмаз – маркируются в обозначении А1, А2, А3, А5, А8; применяют в ограниченном количестве, как правило, в виде зерна для свободного шлифования, изготовления шлифовальной шкурки;
- синтетический алмаз – АС2, АС4, АС6, АС15, АС20; обладают большей стабильностью физико-механических свойств, чем природные, поэтому им отдают предпочтение;
- материалы на основе кристаллической окиси алюминия Al_2O_3 – нормальный электрокорунд (марки 13А, 14А и 15А), электрокорунд белый (23А, 24А, 25А), хромистый электрокорунд (33А и 34А), монокорунд (43А, 44А);
- материалы на основе карбида кремния SiC – карбид кремния черный (53С, 54С, 55С) и карбид кремния зеленый (63С, 64С), карборунд более твердый, но и более хрупкий, чем электрокорунд;
- материалы на основе карбидов бора (B_4C) – обладают чрезвычайно высокой твердостью и хрупкостью, при нагревании свыше $500\text{ }^\circ\text{C}$ окисляются.

В зависимости от размера зерен шлифовальные материалы делятся на четыре группы:

шлифзерно (2000-160 мкм),
шлифпорошки (125-40 мкм),
микрошлифпорошки (63-14 мкм)
тонкие микропорошки (10-3 мкм).

В номере зернистости размер зерен основной фракции указывается в сотых долях миллиметра.

Содержание основной фракции обозначается буквенными индексами:
В (высокое), П (пониженное), Н (низкое), Д (допустимое).

Твердость абразивного инструмента зависит от прочности связки и характеризует способность связки удерживать зерна шлифовального материала.

Установлены семь степеней твердости инструментов:

весьма мягкие (ВМ1, ВМ2),	мягкие (М1, М2, М3),
среднемягкие (СМ1, СМ2),	средние (С1, С2),
среднетвердые (СТ1, СТ2, СТ3),	твердые (Т1, Т2),
весьма твердые (ВТ)	чрезвычайно твердые (ЧТ).

Номер структуры круга показывает объемное содержание шлифовального материала. С увеличением номера от 1 до 16 содержание шлифовального материала уменьшается, а объем пор увеличивается.

Связки абразивных инструментов могут быть:

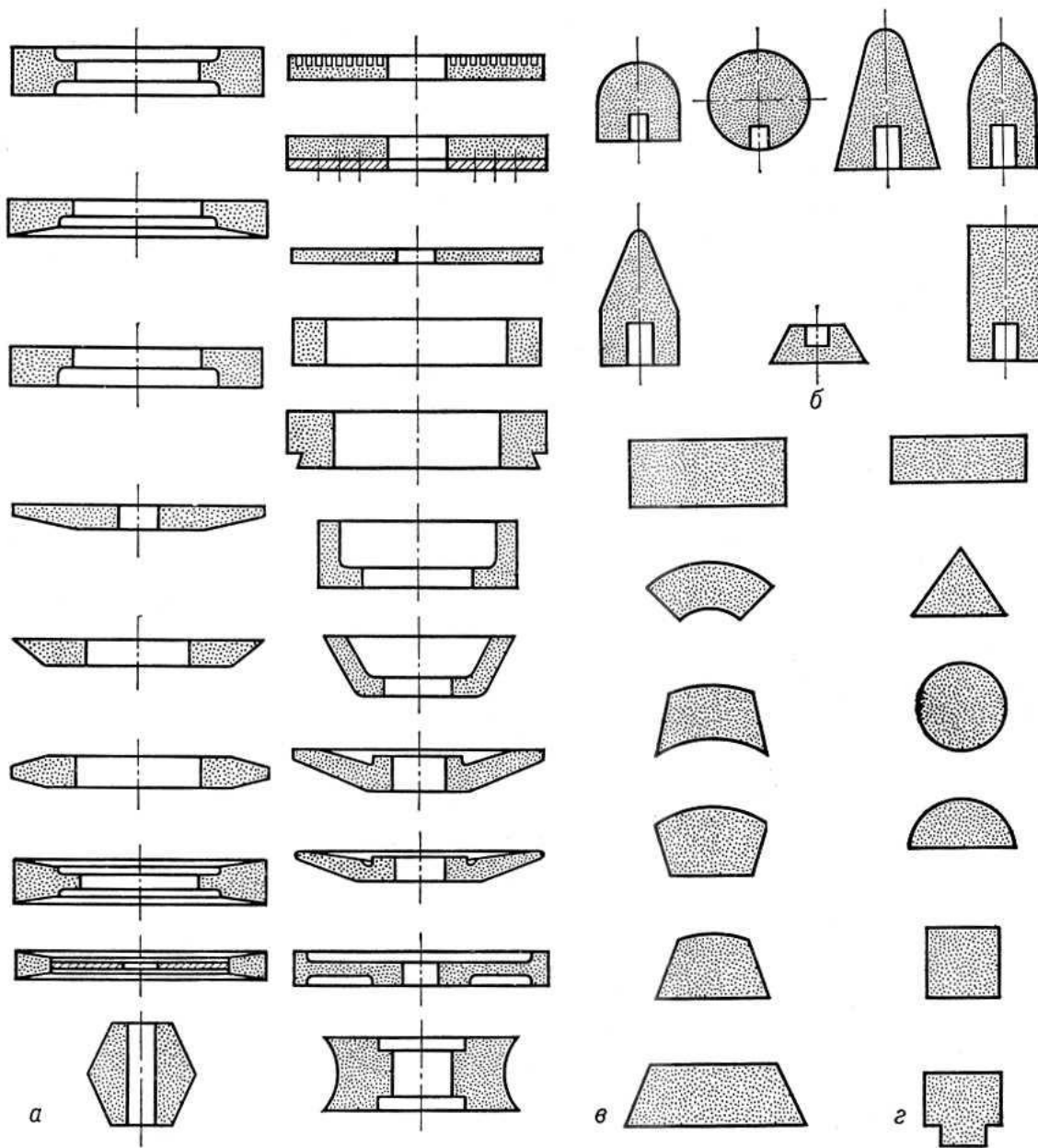
- керамические (К1-К10) – состоят из глины, кварца, полевого шпата, жидкого стекла, характеризуются высокой теплостойкостью, прочностью, хрупкостью, жесткостью и химической стойкостью, применяются для всех видов шлифования;
- бакелитовые (Б, Б1-Б4) – основной элемент фенолформальдегидная смола; имеют высокую прочность и низкую теплостойкость; применяют для изготовления инструмента, имеющего высокую самозатачиваемость (обдирочные, отрезные круги);

- вулканитовые (В, В1-В5) – провулканизированная смесь каучука с серой и другими наполнителями; имеют повышенную эластичность; применяются для инструмента для шлифования и полирования;

- металлические (М1, МК, МВ1) – изготавливают из меди, олова, алюминия, железа, титана, ванадия и других металлов; применяются для изготовления инструмента из эльбора марки ЛКВ;

- глифталевые (Г) и другие.

Шлифовальные круги изготавливаются трех классов точности (АА, А и Б) и четырех классов неуравновешенности (1, 2, 3 и 4).



Жёсткие абразивные инструменты:

а – шлифовальные круги; б – шлифовальные головки; в – сегменты; г – бруски

Спасибо за внимание!