



Фрезы

Определение, назначение,
классификация по различным
признакам

Определение

- **Фрезой** называется лезвийный инструмент для обработки с вращательным движением резания инструмента (D_r) без возможного изменения радиуса траектории этого движения и хотя бы с одним движением подачи (D_s), направление которого не совпадает с осью вращения.



- **Фреза** — это многолезвийный вращающийся инструмент, зубья которого последовательно вступают в контакт с обрабатываемой поверхностью в процессе резания. При относительно медленной подаче, которая осуществляется за счет движения обрабатываемой детали, закрепленной на станке.

Особенность

- Особенностью процесса фрезерования является то, что он протекает прерывисто в отличие от точения, сверления и других, при которых режущая кромка находится в контакте с заготовкой до окончания процесса резания
- Ширина фрезерования всегда измеряется вдоль оси вращения фрезы

Особенность

Невозможность изменения радиуса траектории главного движения резания лезвий инструмента, согласно ГОСТ 25751-83, является отличительным признаком фрез.

равномерность фрезерования

- Для цилиндрических фрез равномерность фрезерования достигается за счет угла наклона ω , обеспечивающего постоянство сечения срезаемой стружки в каждый момент



Классификация фрез

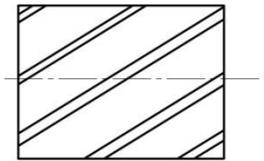
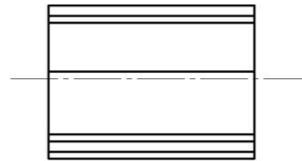
По расположению зубьев относительно оси фрезы:

- цилиндрические;
- торцевые (в том числе и торцевые фрезерные головки);
- угловые;
- фасонные;
- дисковые (прорезные и отрезные);
- концевые;
- шпоночные;
- специальные.

Классификация фрез

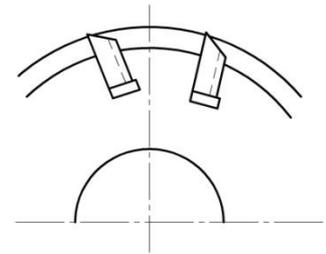
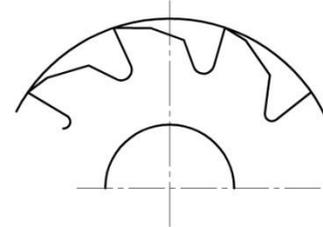
По направлению зубьев:

- прямозубые;
- с винтовым зубом.



По конструкции фрезы:

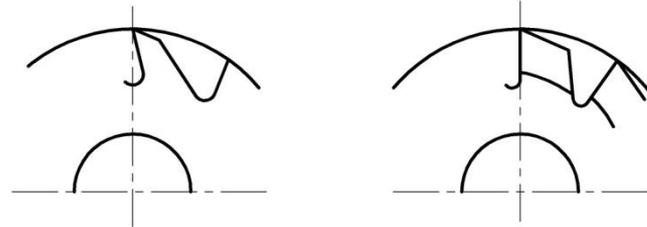
- цельные;
- составные неразъемные;
- сборные;
- наборные (состоятся из нескольких стандартных или специальных фрез, объединенных в единую конструкцию).



Классификация фрез

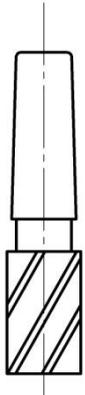
По форме зуба:

- острозаточенные;
- затылованные.



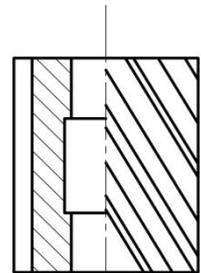
По инструментальному материалу:

- быстрорежущая сталь (БРС);
- с пластинами твердого сплава (ТС);
- с керамическими пластинами;
- с пластинами из сверхтвердого материала.



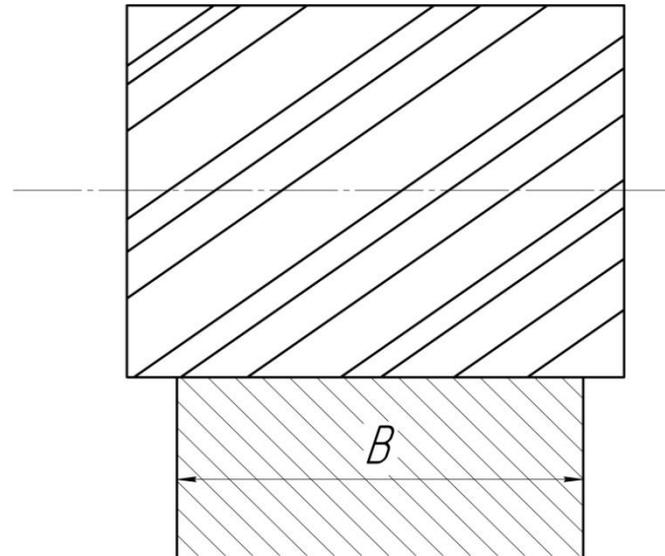
По способу крепления на станке:

- концевые с коническим или цилиндрическим хвостовиком;
- насадные с коническим или цилиндрическим отверстием под оправку.



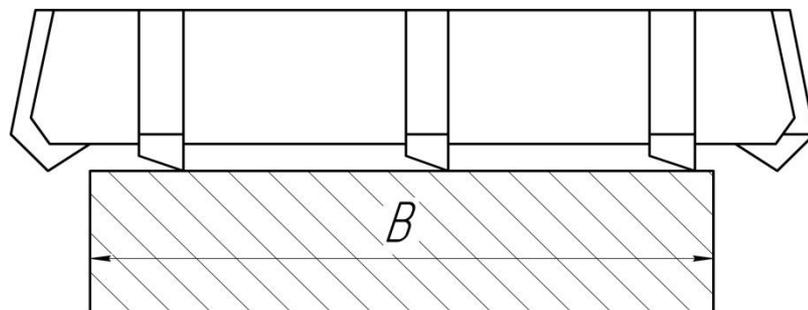
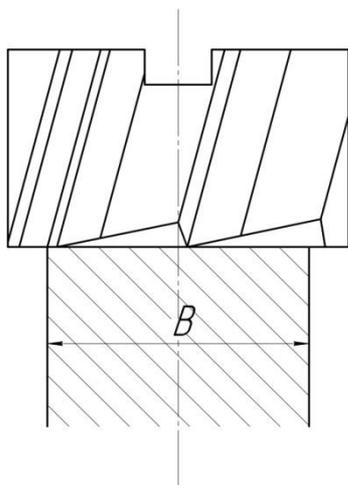
Виды фрез и обрабатываемых поверхностей

- **Цилиндрические фрезы** применяются для обработки плоских поверхностей и имеют зубья только на цилиндрической части



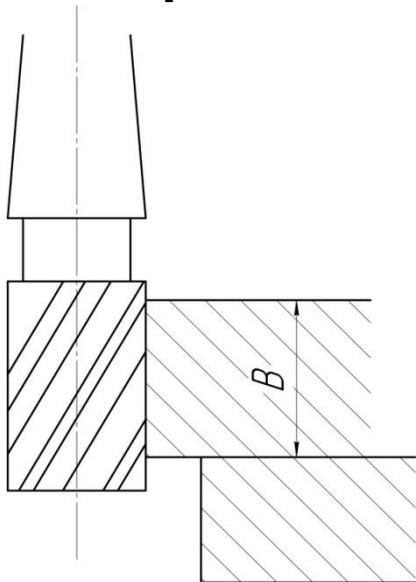
Виды фрез и обрабатываемых поверхностей

- **Торцевые фрезы** предназначены для обработки более протяженных плоскостей и имеют зубья только на торцевой части, а для широкого фрезерования применяются торцевые фрезы со вставными ножами



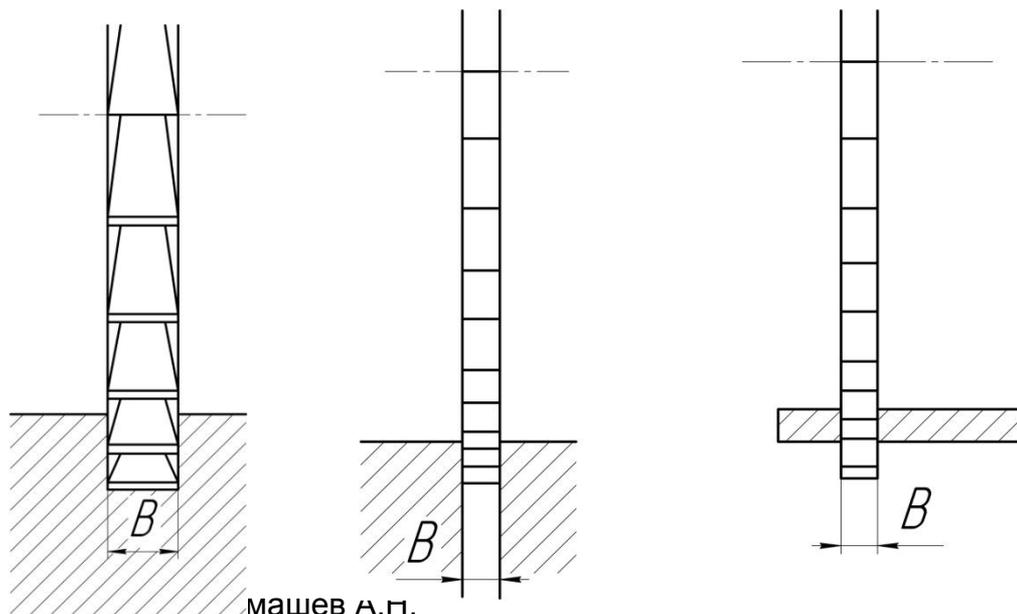
Виды фрез и обрабатываемых поверхностей

- **Концевые фрезы** используют для обработки плоскостей, пазов и уступов и имеют зубья и на торцевой и на цилиндрической части



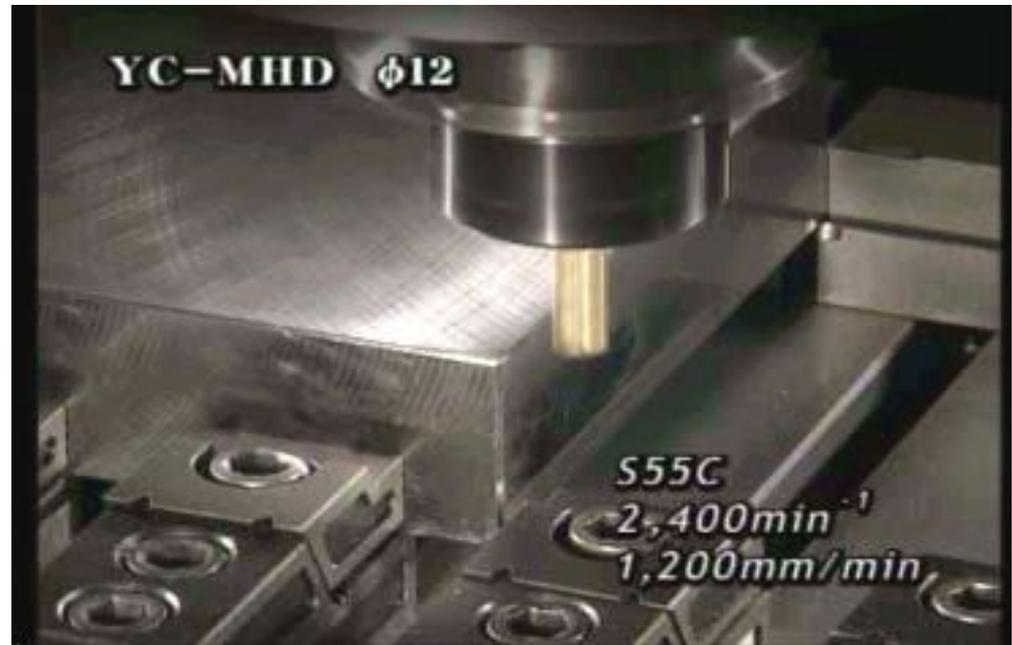
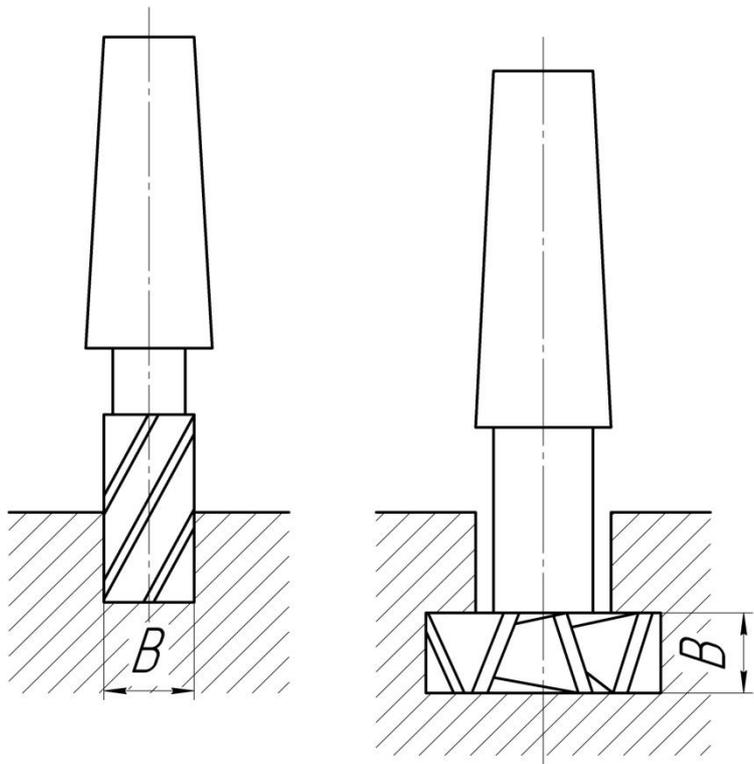
Виды фрез и обрабатываемых поверхностей

- Для отрезки и обработки узких ($B < 6$ мм) пазов и канавок используют **прорезные** или **отрезные фрезы**, так называемые **пилы**



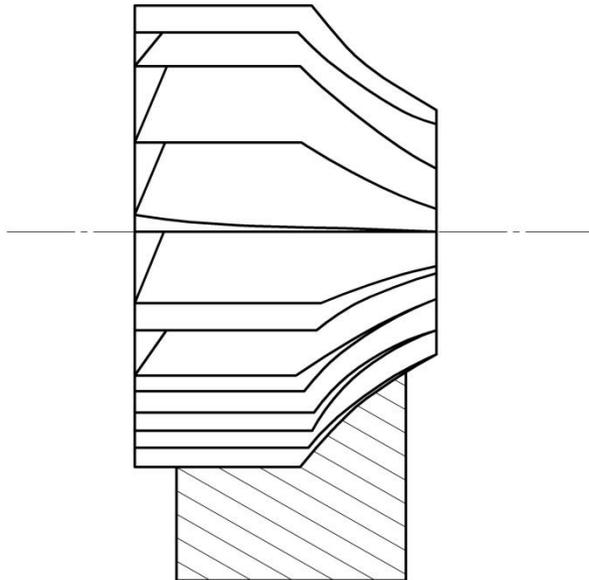
Виды фрез и обрабатываемых поверхностей

- концевые и Т-образные.



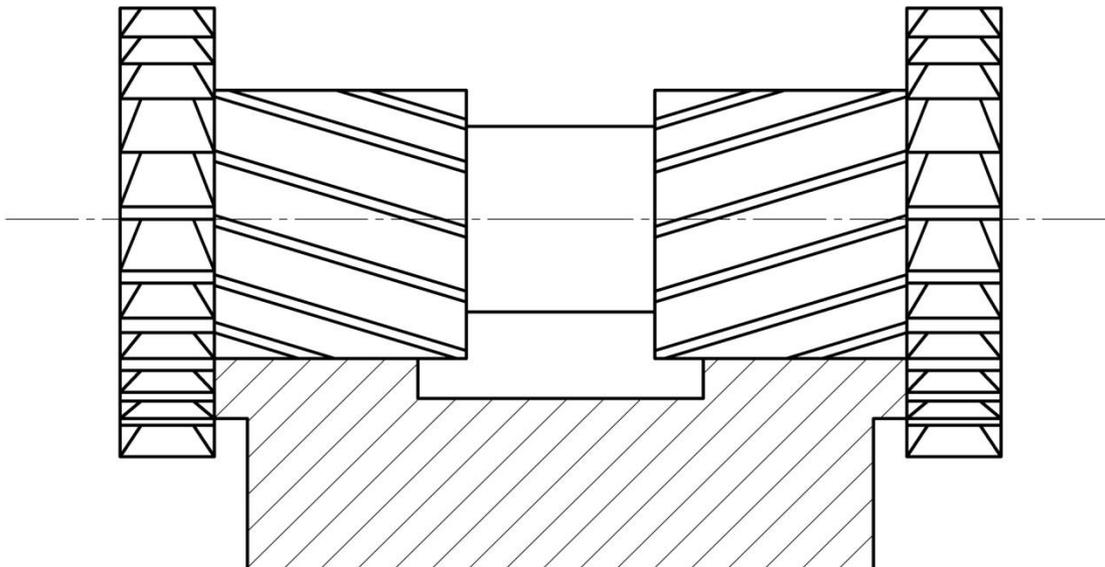
Виды фрез и обрабатываемых поверхностей

- Для обработки сложных фасонных поверхностей, в том числе и винтовых, используют **фасонные фрезы**



Виды фрез и обрабатываемых поверхностей

- В целях повышения производительности можно использовать комплект фрез

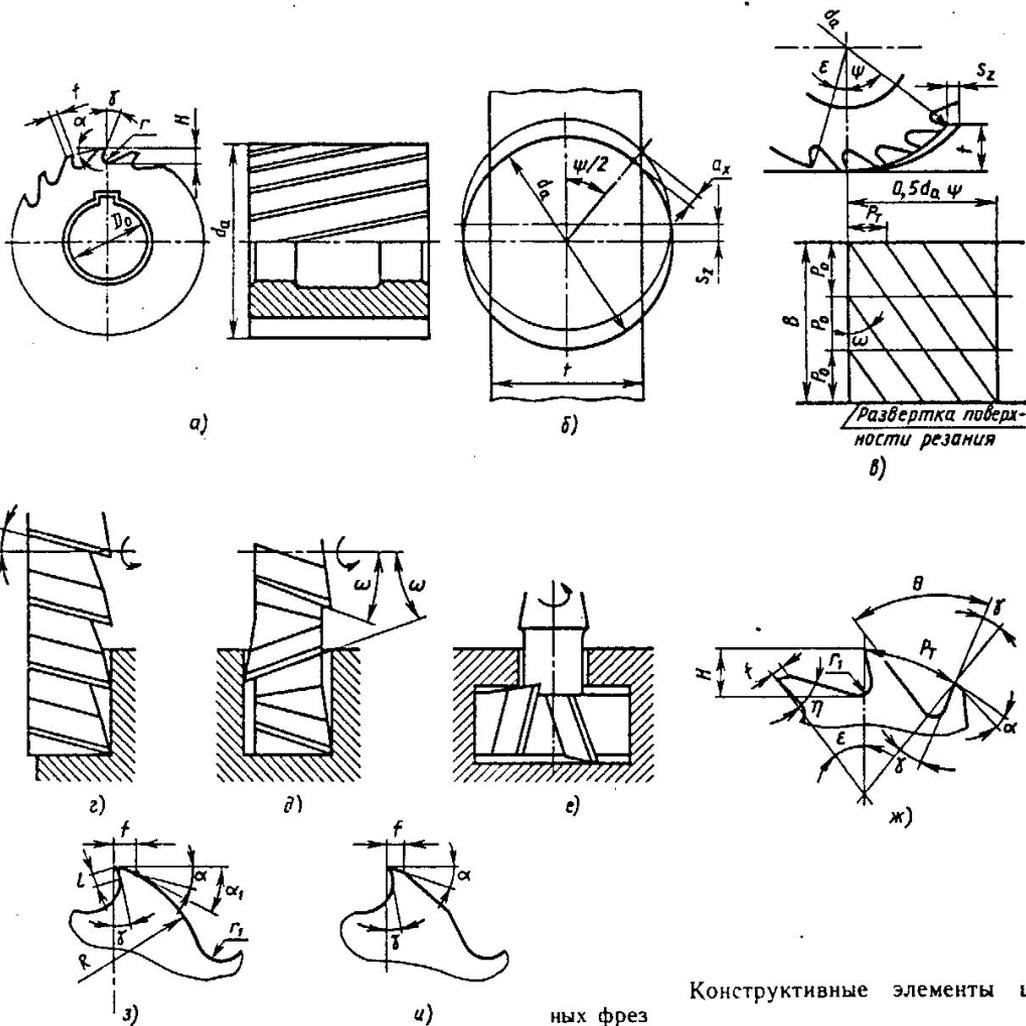


Конструкции и геометрические параметры фрез

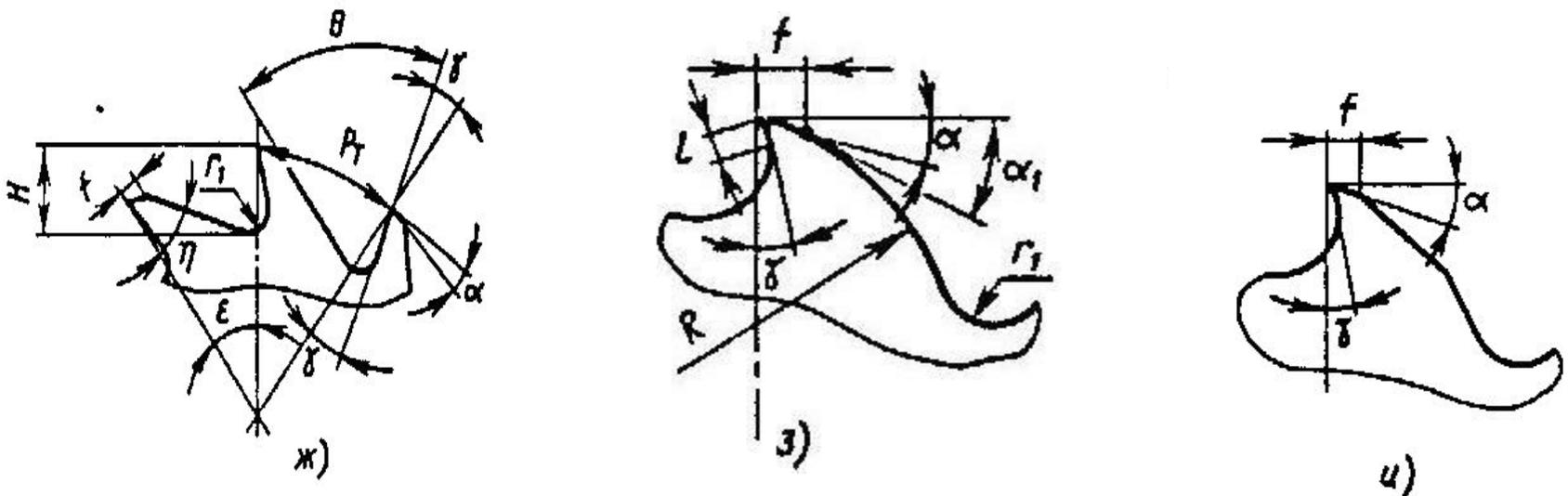
Фрезы применяются для обработки плоскостей, фасонных и линейчатых поверхностей и могут производить черновую, получистовую и чистовую обработку. Конкретный вид обработки связан с конструкцией инструмента и режимами резания. При фрезеровании точность обработки определяется видом применяемого оборудования и точностью и качеством изготовления фрез.

Конструкции и геометрические параметры фрез

Общими конструктивным и элементами фрез является следующие: габаритные и посадочные размеры, число зубьев и их форма.



формы зубьев цельных фрез



Для фрез с мелким зубом применяется трапецеидальная форма профиля, крупнозубые фрезы имеют, как правило, криволинейный профиль.

Сборные конструкции фрез

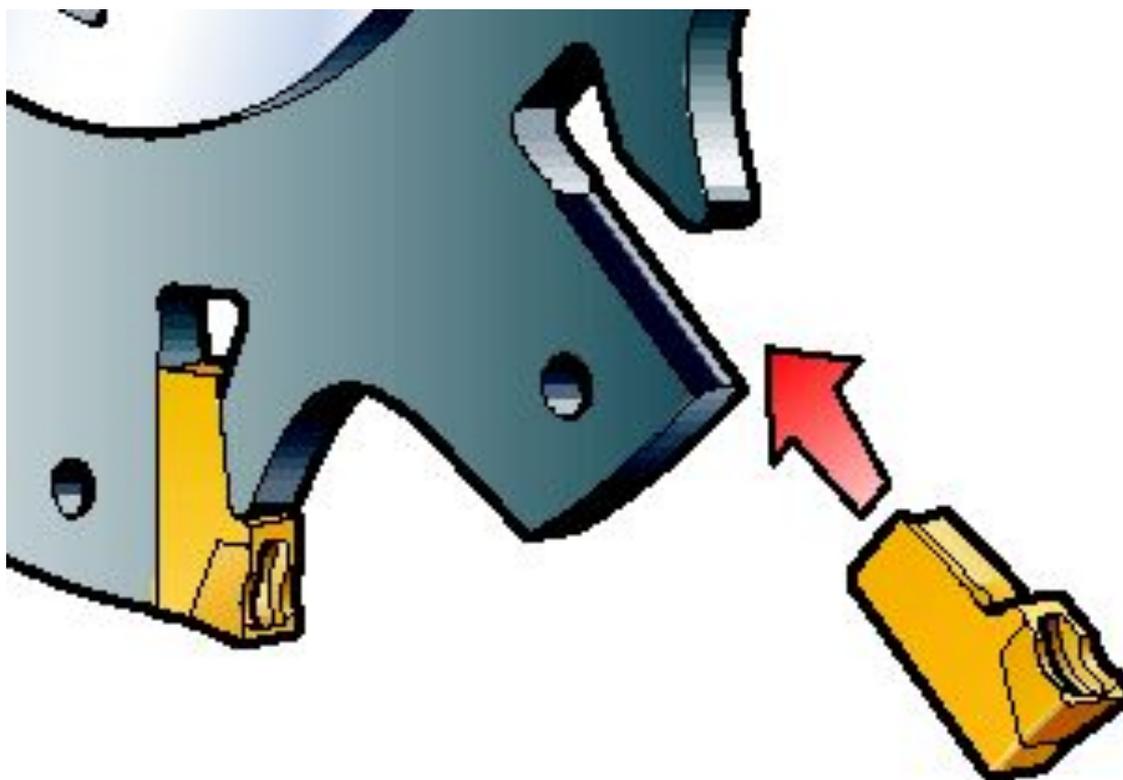
- Сборные конструкции фрез характеризуются режущей частью в виде многогранных неперетачиваемых пластин, и являются весьма перспективными, как с точки зрения эксплуатации, так и с точки зрения производительности и качества обработки.



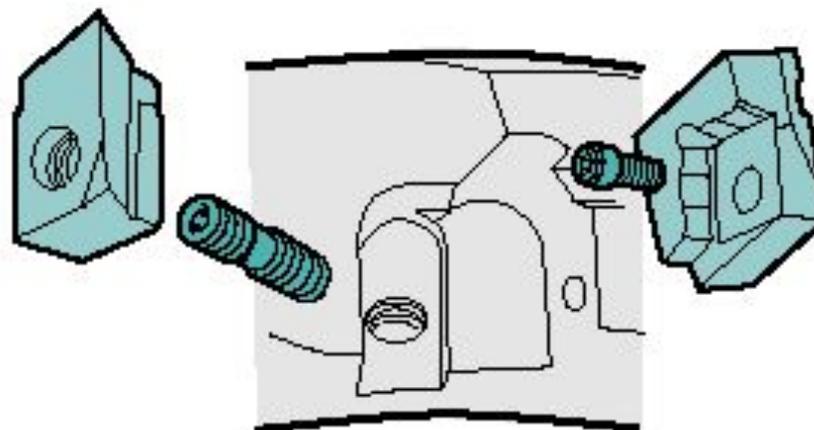
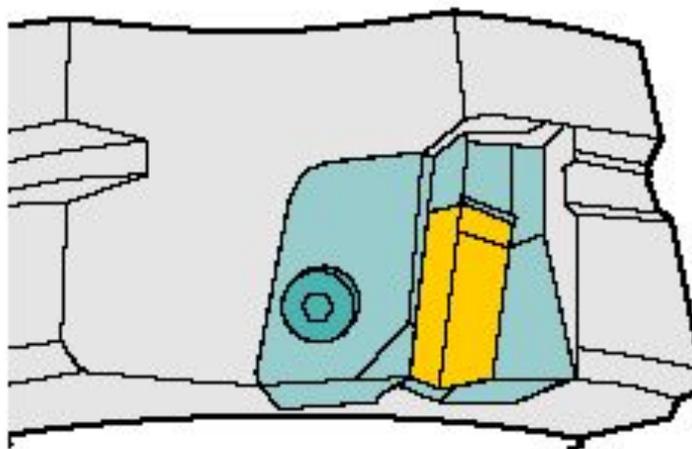
Схемы крепления твердосплавных пластин

- Крепление прижимом;
- Крепление винтом;
- Крепление штифтом;
- Крепление штифтом и прижимом.

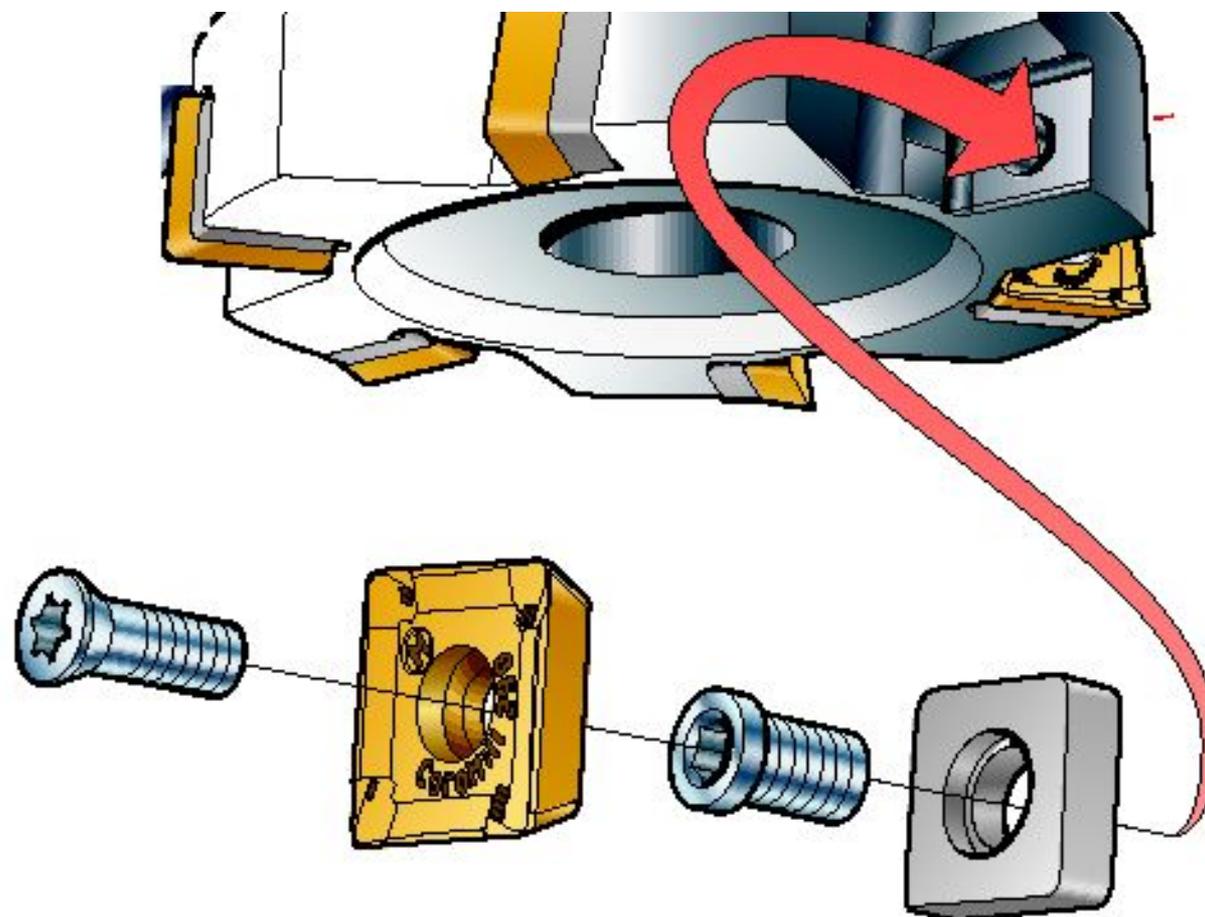
Крепление прижимом



Крепление прижимом



Крепление винтом



Крепление штифтом



Крепление штифтом и прижимом



Геометрические параметры фрез

- Так как каждый зуб фрезы представляет собой резец, то все параметры геометрии режущей части фрез определяются также как и у резцов
- Вектор скорости резания и вектор подачи могут быть направлены в одну сторону, либо на встречу друг другу. Если вектор скорости и подачи направлены навстречу друг другу, то фрезерование называют **встречным**. В этом случае силы резания отрывают заготовку от станка, и зуб фрезы испытывает повышенное трение и износ в точке контакта. Если векторы скорости и подачи совпадают по направлению, **попутное фрезерование**, то силы резания прижимают деталь к станку. Сила резания как бы толкает деталь в направлении подачи, что может привести к поломке режущих зубьев



Острозаточенные фрезы



Конструктивные
особенности

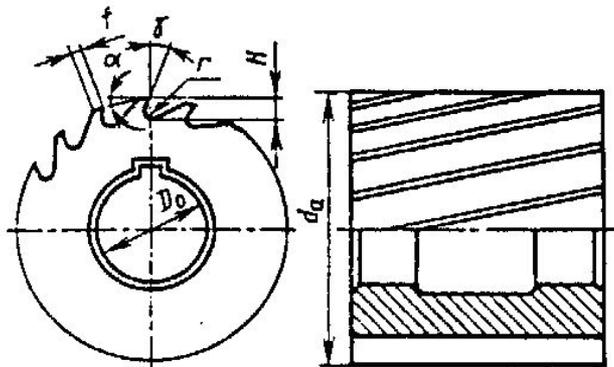
Острозаточенные фрезы отличаются многообразием типов

К ним относятся

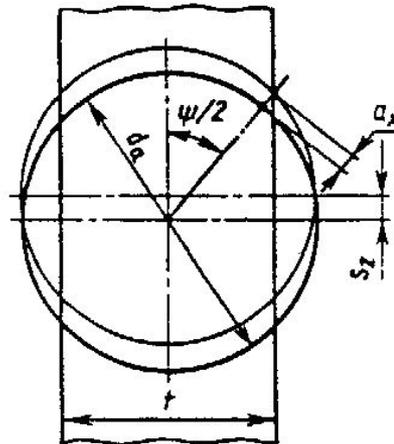
- цилиндрические, торцовые, дисковые, концевые, угловые, шпоночные. Т-образные и др.
- Все типы острозаточенных фрез, несмотря на их многообразие, имеют много общего в методике расчета, назначении и оформлении конструктивных элементов

К общим конструктивным элементам относятся:

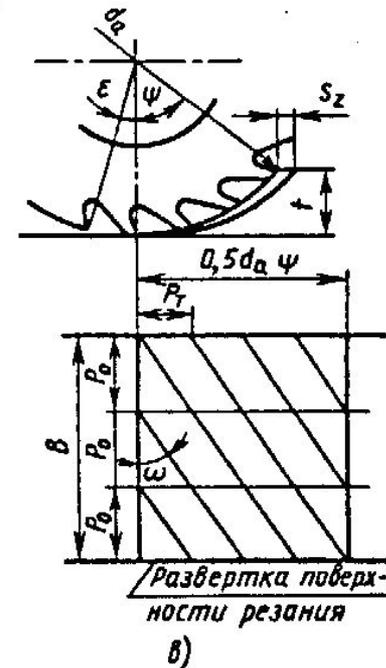
- диаметр фрезы,
- посадочные размеры (диаметр отверстия, шпоночная канавка),
- число зубьев и их форма.



а)



б)



в)

Для сокращения номенклатуры фрез их наружные диаметры стандартизованы

- Размерные ряды диаметров составлены по геометрической прогрессии со знаменателем φ , равным 1,26; 1,58, т. е. равным знаменателю ряда частоты вращения шпинделей фрезерных станков. Такой выбор размерного ряда наружных диаметров обеспечивает неизменность скоростей резания при применении фрез любого диаметра, в том числе для фрезерных станков, частота вращения шпинделя которых изменяется по геометрической прогрессии со знаменателем $\varphi = 1,41$.

Размерные ряды диаметров фрез

- при знаменателе прогрессии $\varphi = 1,26$
следующие: 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 16; 20,
25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160, 200;
250; 320; 400: 500; 630; 800; 1000 мм
- при знаменателе прогрессии $\varphi = 1,58$
—4; 6; 10; 16 мм и так далее до 1000
мм,
т. е. через одно значение ряда $\varphi = 1,26$.

Диаметр посадочных отверстий

выбирают в зависимости от наружного диаметра фрезы, но не более 60 мм с округлением до стандартного ряда:

16, 22; 27; 32; 40; 50 и 60 мм

Задача проектирования фрез

- сводится к определению их конструктивных элементов и геометрических параметров, обеспечивающих обработку заданной детали на заданном станке в соответствии с требованиями к параметрам шероховатости обработанной поверхности.
- В задании на проектирование указывают тип фрезы; схему установки детали на станке (расстояние между опорами оправки цилиндрической фрезы, вылет концевой фрезы относительно шпинделя станка и т. д.); параметры обработки (ширину и глубину резания); требования к шероховатости обработанной поверхности; модель и мощность станка с целью определения возможности обработки детали разработанной фрезой в зависимости от мощности оборудования

Определение наружного диаметра и диаметра посадочного отверстия

- Диаметр фрезы является важнейшим параметром ее конструкции. При выборе диаметра следует обеспечить необходимую жесткость оправки для заданных условий работы фрезы.
- Диаметр фрезы следует выбирать минимальным с целью снижения машинного времени обработки:

Наружный диаметр насадных фрез

должен обеспечить прочность фрезы в сечении между окружностью впадин и посадочным отверстием.

Опытным путем установлено, что нормальная работа фрез имеет место при прогибе оправки, не превышающем $\delta=0,4$ мм при черновом и $\delta =0,2$ мм при чистовом фрезеровании. Оправку фрезы можно рассматривать как балку, защемленную на концах

Диаметр посадочного отверстия

$$D_o = d_H / 2,25$$

с округлением до стандартного размера. Точность изготовления посадочного отверстия должна соответствовать 7-му качеству и для высокоточных зуборезных фрез — 5-му качеству (ГОСТ 25347—82).

Число зубьев фрез

- выбирают из условия равномерности фрезерования с учетом эффективной мощности оборудования.
- Равномерность фрезерования можно улучшить если зубья располагать не параллельно оси фрезы, а под углом $\omega = 10 \dots 15^\circ$.
- Направление угла ω наклона зуба следует выбирать так, чтобы осевая составляющая силы резания была направлена в сторону шпинделя

Профиль зубьев фрез

- Зубья фрезы должны обладать достаточной прочностью, обеспечивать максимально возможное число переточек и достаточное пространство для размещения стружки при максимальном стачивании по задней поверхности
- Число зубьев и их шаг зависят от диаметра фрезы, условий эксплуатации (черновое или чистовое фрезерование), свойств обрабатываемого материала.

При черновом фрезеровании

- необходимо обеспечить высокую прочность зуба при работе с увеличенными подачами и достаточную площадь стружечной канавки.
- В этом случае применяют фрезы с окружным шагом зубьев $P_r > 10$ мм. Такие фрезы называют **фрезами с крупным зубом**. Их применяют в тех случаях, когда $t \cdot S_z > 1$, где t — глубина фрезерования, мм, S_z — подача на зуб, мм.

При чистовом фрезеровании

- заготовок из стали и при обработке хрупких материалов применяют фрезы с шагом зубьев $P_r \leq 10$, называемые **фрезами с мелким зубом**.

Их применяют в тех случаях, когда $t^*S_z \leq 1$.

- Из условия размещения стружки зуб фрезы стачивают по высоте на величину до **0,75 H**.

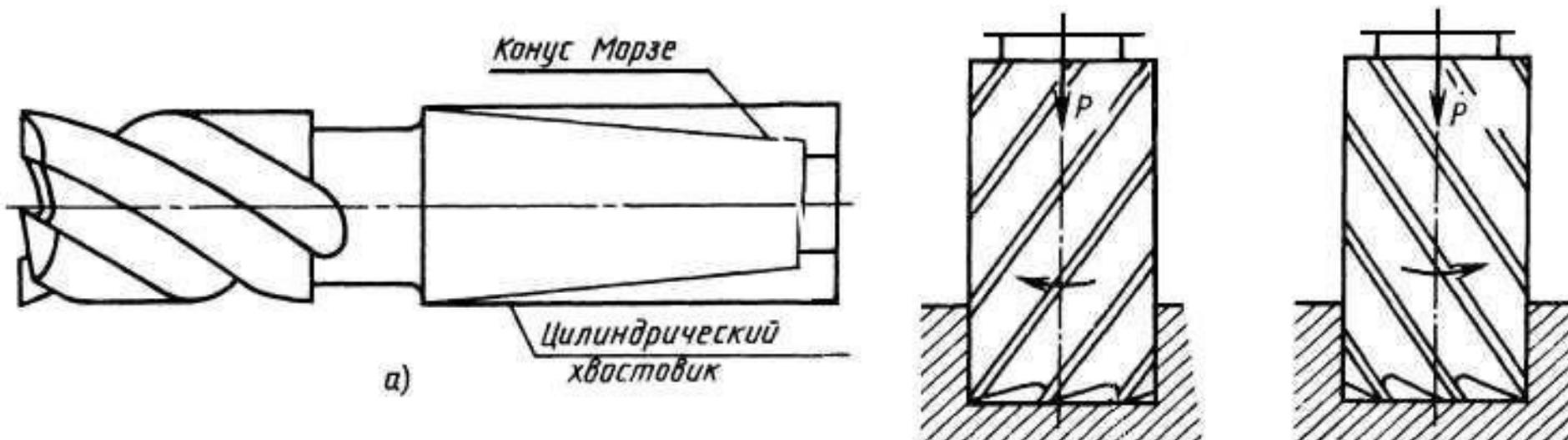
Концевые фрезы



- делают либо с цилиндрическим (диаметр 3—20 мм) хвостовиком, либо с конусом Морзе с резьбовым отверстием (диаметр 14—63 мм) для затяжного болта

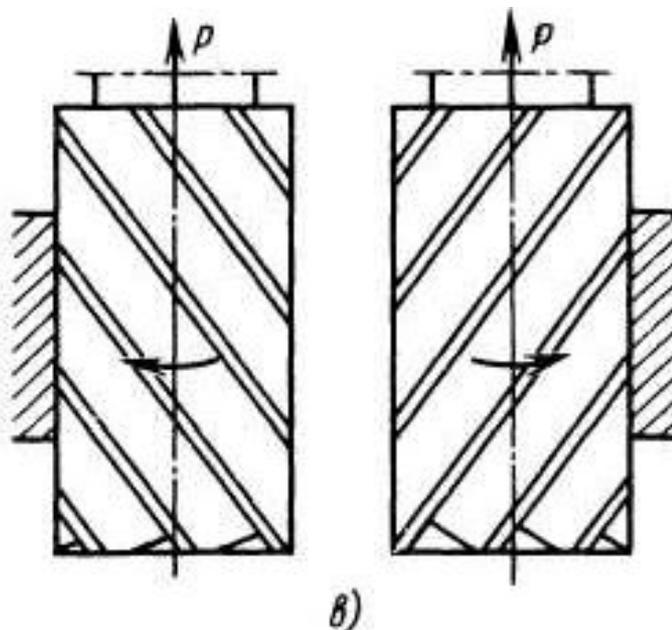
Концевые фрезы

- У фрез, предназначенных для обработки пазов и уступов, направление винтовых канавок и направление вращения не должны совпадать. Это обеспечивает лучший отвод стружки и получение положительных передних углов на торцевых зубьях



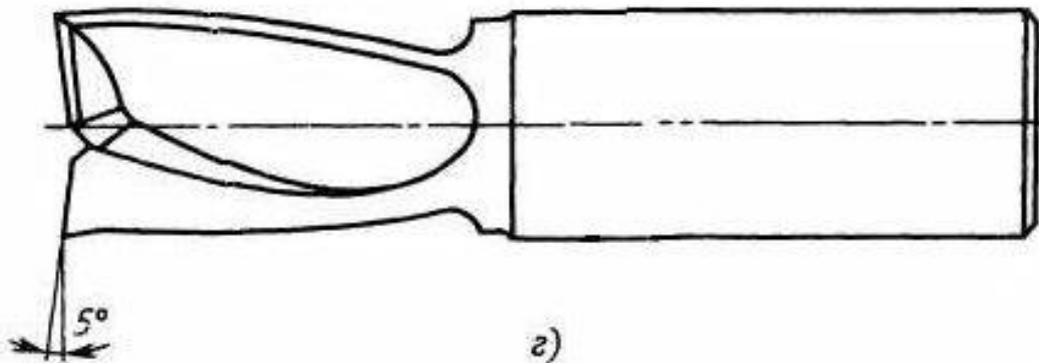
Концевые фрезы

- При обработке плоскостей направление винтовых канавок делают совпадающим с направлением вращения. В этом случае осевая составляющая силы резания направлена к шпинделю станка, а отвод стружки обеспечивается в направлении от шпинделя



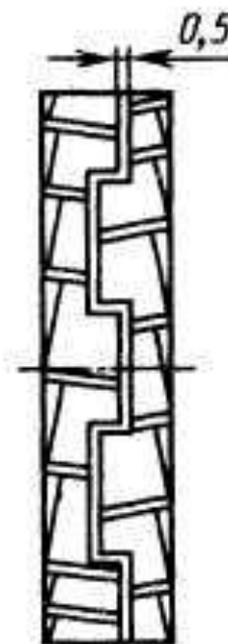
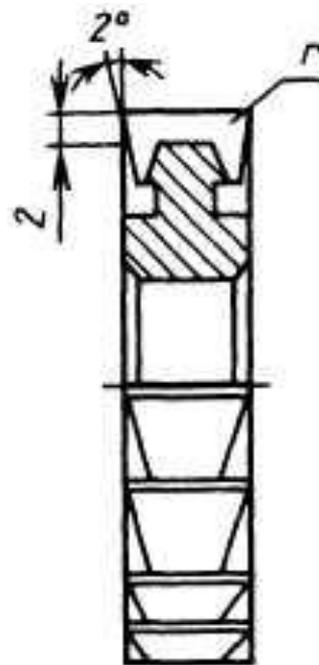
Шпоночные фрезы

Фрезы выполняют с прямыми или винтовыми канавками, цилиндрическим или коническим хвостовиком, с двумя зубьями, причем один торцовый зуб делают равным половине диаметра фрезы, а второй стачивают у оси фрезы.



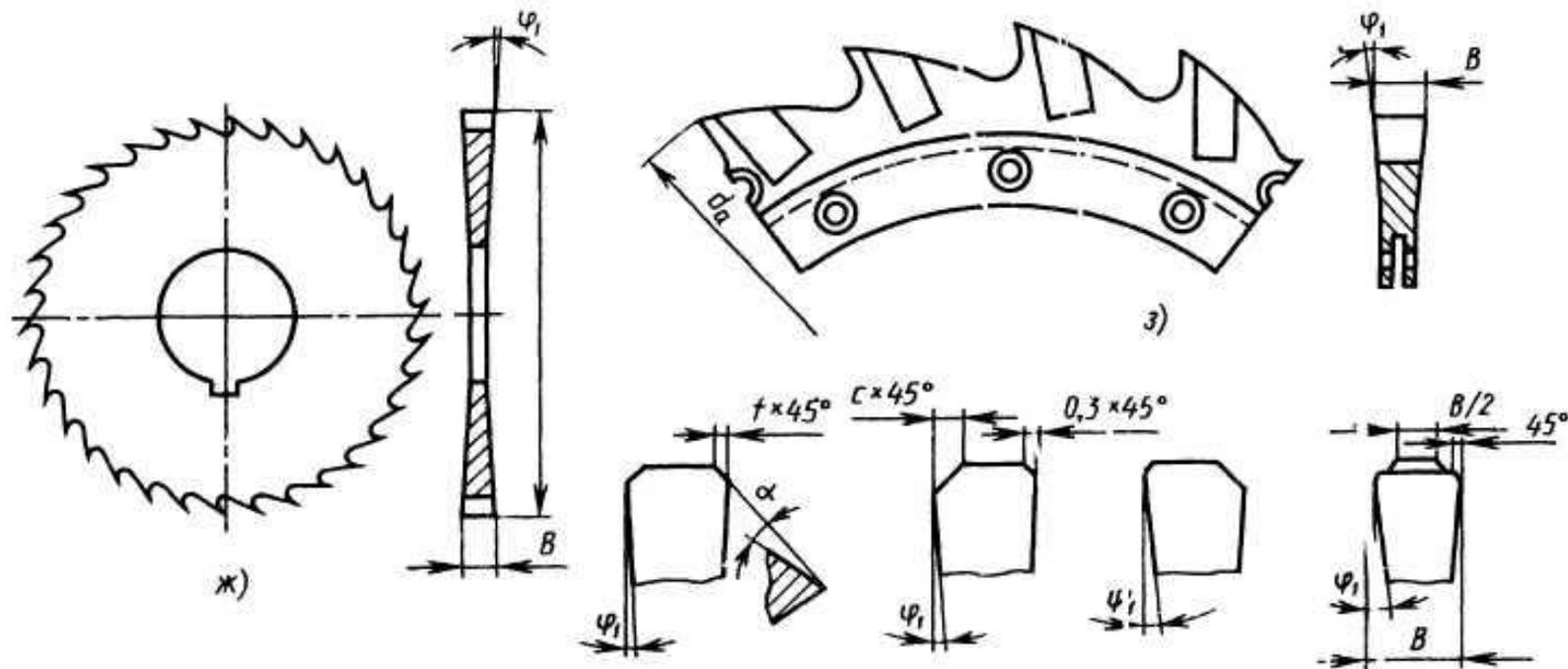
Пазовые фрезы

■ выполняют с прямым зубом, расположенным на цилиндрической поверхности. Для увеличения размерной стойкости на боковых сторонах оставляют фаски $f=1...2$ мм с углом в плане $\varphi' = 0$, затем затачивают под углом $\varphi=1...2^\circ$. Фрезы быстро теряют размер по ширине, поэтому для обработки пазов целесообразно применять составные фрезы, регулируемые по ширине с помощью прокладок. Для перекрытия зубьев обе половинки соединяют в замок



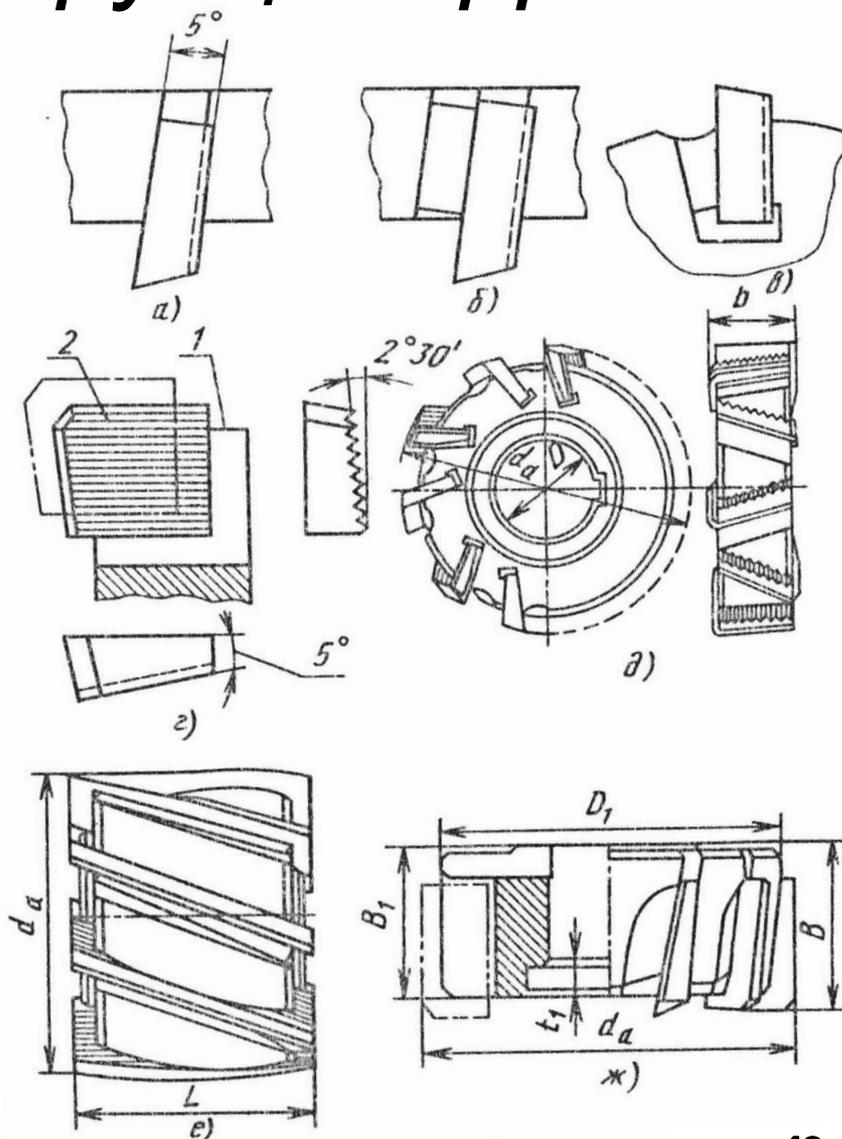
Фрезы прорезные и отрезные

- применяют для резки заготовок. Изготавливают их цельными, диаметром 20—315 мм и шириной 0,2—6 мм или сборными, оснащенными сегментами.



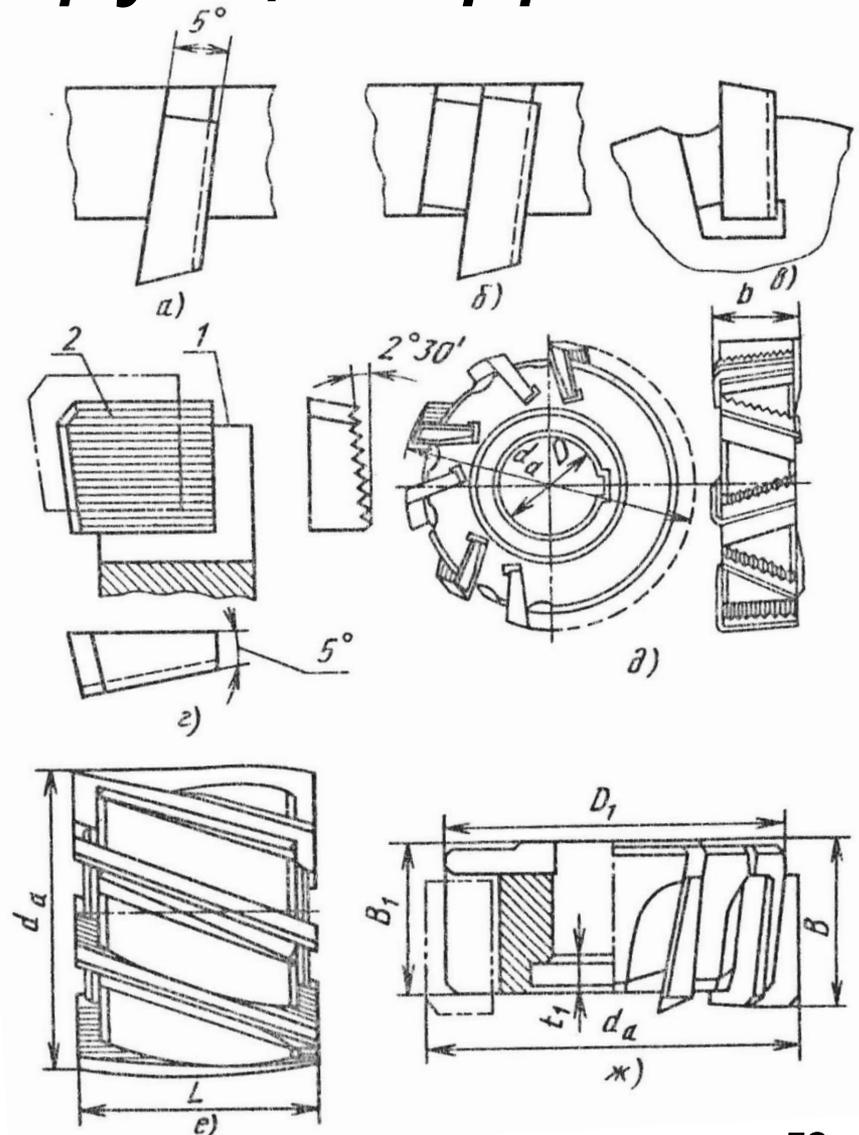
Сборные конструкции фрез

■ обеспечивают значительную экономию быстрорежущей стали и снижение эксплуатационных расходов из-за возможности многократного использования корпуса и замены ножей после их изнашивания. Большое влияние на эффективность конструкции сборных фрез имеет способ крепления зубьев



Сборные конструкции фрез

■ Наиболее простым и надежным способом крепления для фрез из быстрорежущих сталей является применение рифлений обеспечивающих компактность крепления и возможность размещения значительного числа зубьев.



Твердосплавные фрезы

- широко применяют в машиностроении, так как они обеспечивают резкое повышение производительности труда и возможность обработки современных конструкционных материалов, которые не могут быть обработаны фрезами из быстрорежущих сталей.

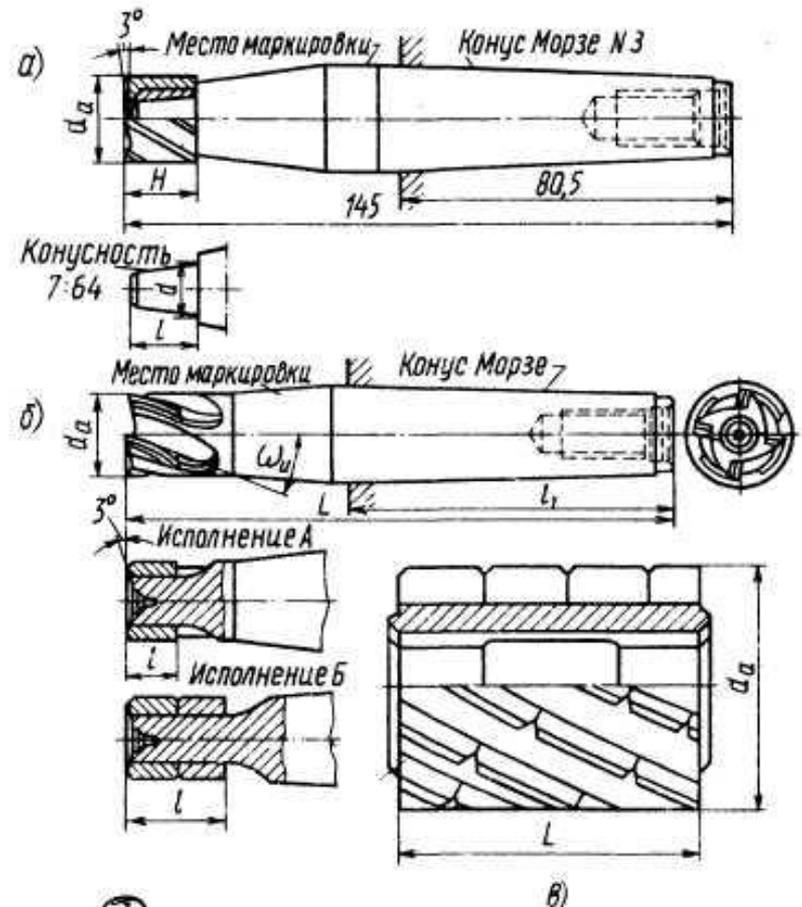


Твердосплавные фрезы

- По конструкции фрезы из твердых сплавов могут быть ***монокристаллическими, составной и сборной конструкции.***
- Монокристаллическими делают дисковые и концевые мелкогабаритные фрезы. Их изготавливают либо методом прессования в специальных пресс-формах, либо делают из пластифицированных заготовок

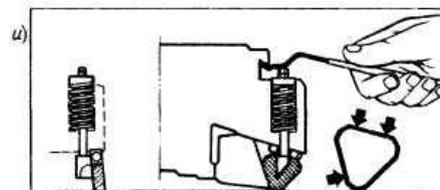
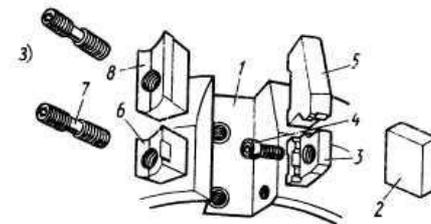
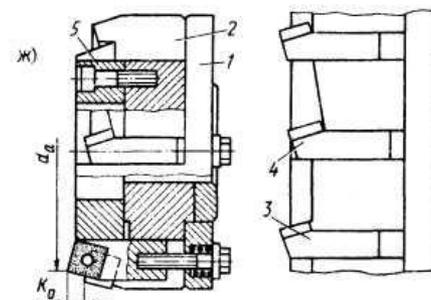
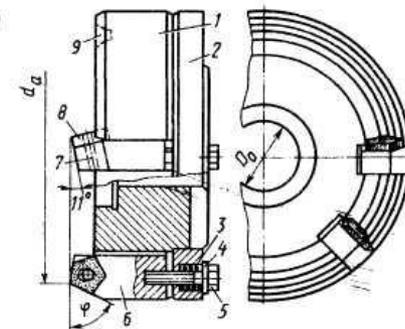
Твердосплавные фрезы

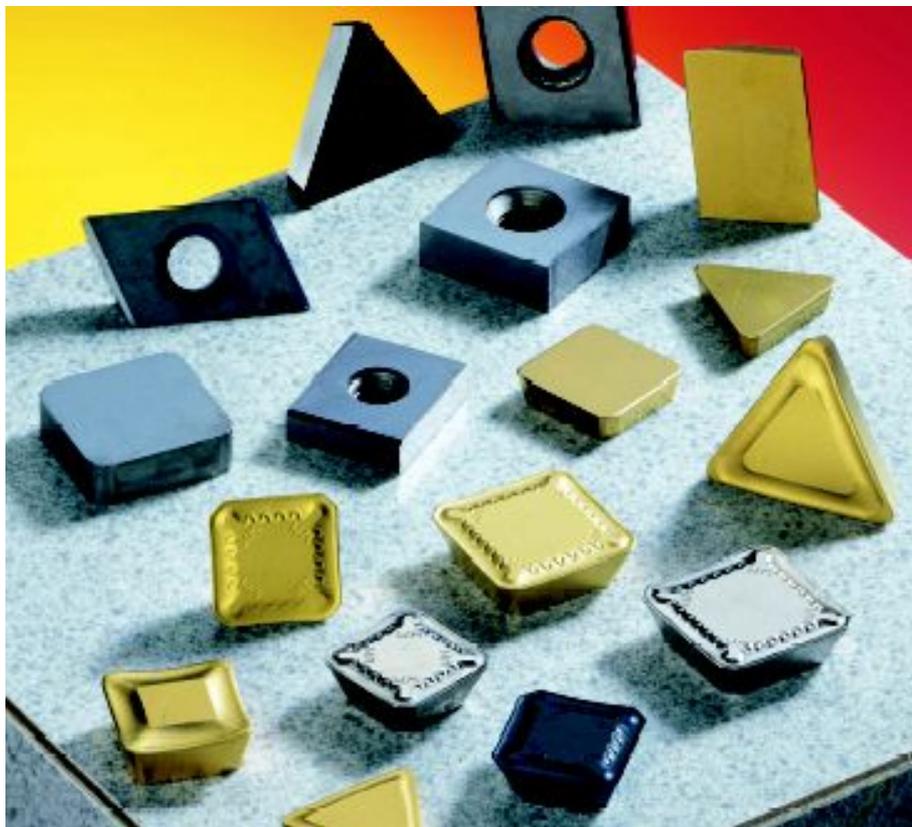
- Составной конструкции делают концевые фрезы диаметром от 20 до 50 мм» причем их оснащают либо коронками, либо винтовыми пластинами.
- Цилиндрические фрезы оснащают винтовыми пластинами.



Твердосплавные фрезы

- Особенно широкое распространение получили сборные твердосплавные фрезы, оснащенные многогранными пластинами. Эти фрезы отличаются высокой эффективностью, так как обладают высокими прочностью и надежностью, не требуют переточек и обеспечивают многократное использование корпусов

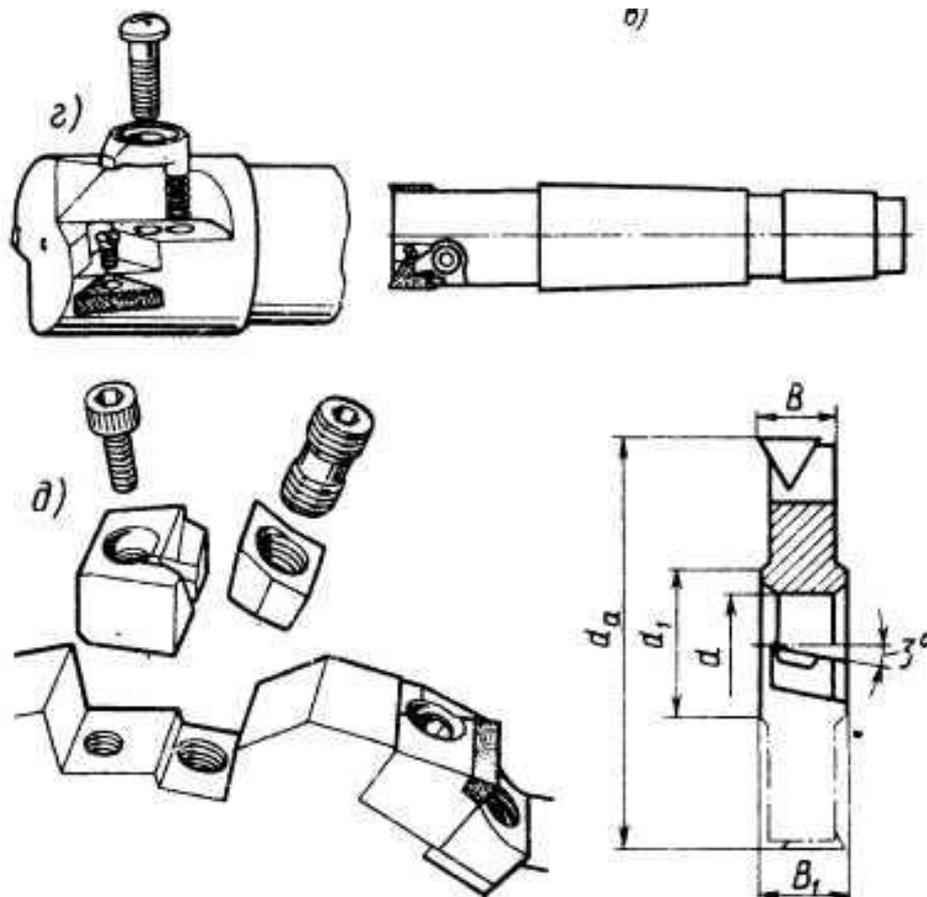




- Применяют точные пластины классов допусков A и F с целью минимального биения режущих кромок.

Твердосплавные фрезы

- оснащены пластинами с задними углами, равными 11° .

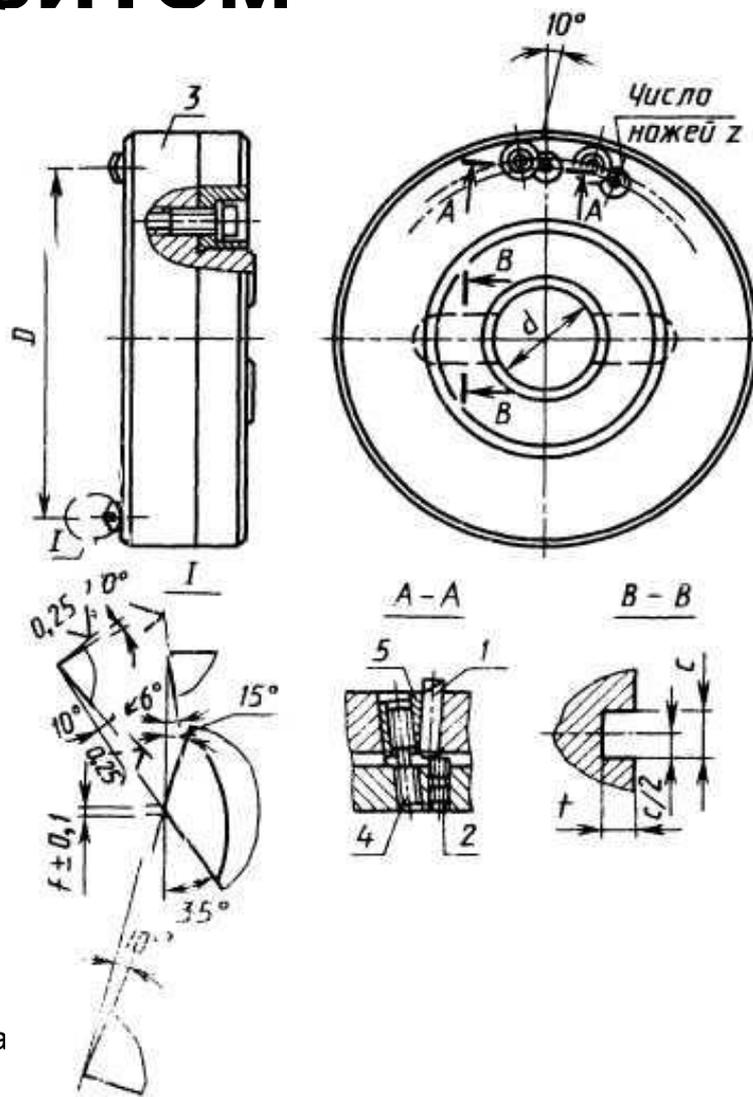


Торцовые фрезы, оснащенные КОМПОЗИТОМ

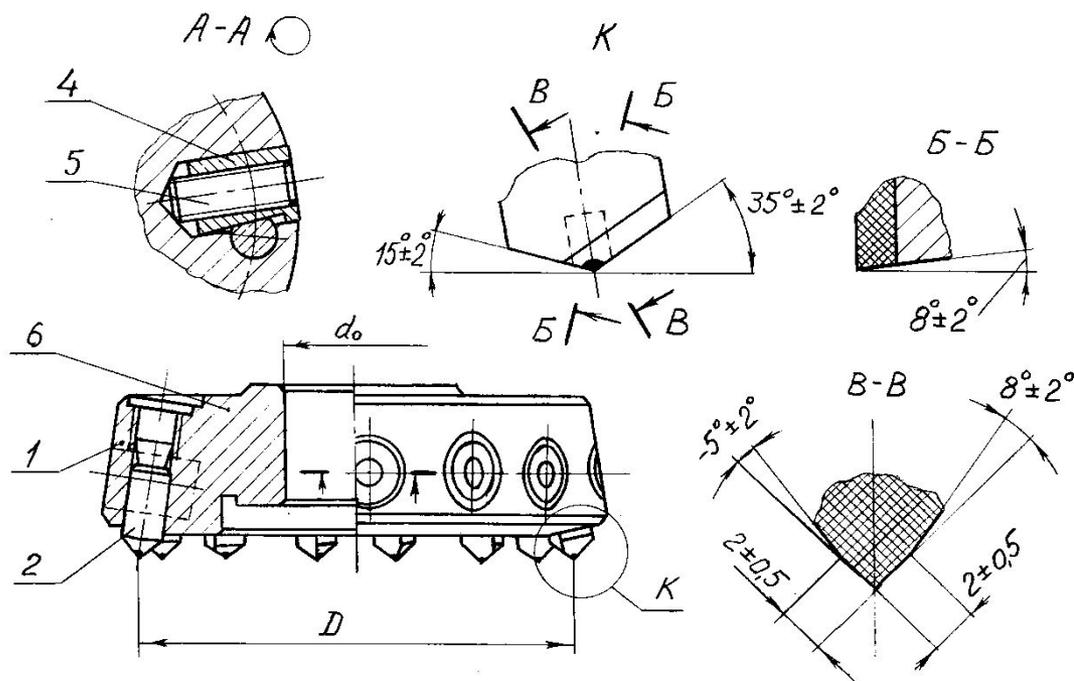
- Фрезы, оснащенные композитом различных марок, обеспечивают возможность обработки закаленных до твердости 60—64 HRC3 сталей со скоростями резания 80—120 м/мин, подачей на оборот до 0,12 мм/об при глубине резания до 1 мм.
- Обработку заготовок из чугунов можно производить со скоростью резания до 600 м/мин. Обработка фрезами заготовок из чугуна и сталей может заменить шлифование.

Торцовые фрезы, оснащенные КОМПОЗИТОМ

Фрезы оснащают либо многогранными пластинами из композита, либо вставками, оснащенными композитом. Приведена конструкция фрезы с механическим креплением составных вставок.

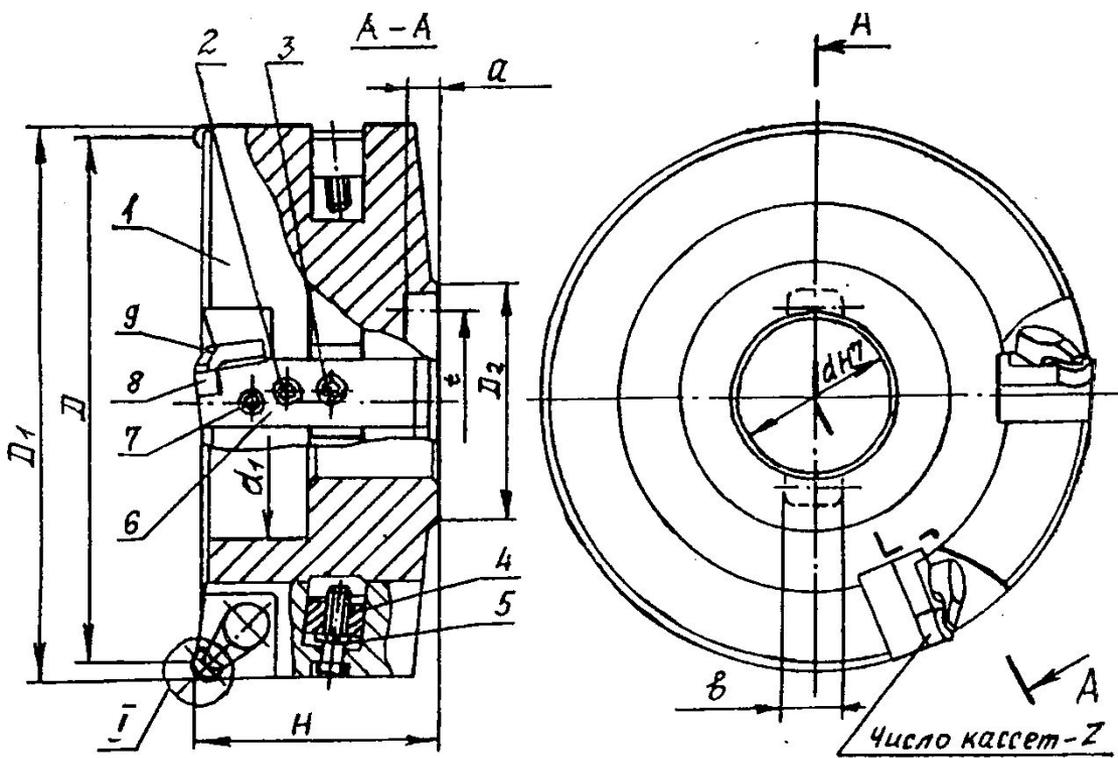


Торцовые фрезы, оснащенные КОМПОЗИТОМ



- Для обработки закаленных сталей и высокопрочных чугунов применяют фрезы, оснащенные сверхтвёрдыми материалами (СТМ) различных марок и керамикой. По сравнению с твердосплавными такие фрезы обеспечивают повышенные в 4...10 раз скорости резания, но при уменьшенных до 4 раз подачах на зуб; при этом достигается шероховатость обработанной поверхности как при шлифовании.
- В России разработана гамма насадных сборных торцовых фрез с механическим креплением круглых и многогранных пластин из СТМ и керамики диаметром 100-400 мм

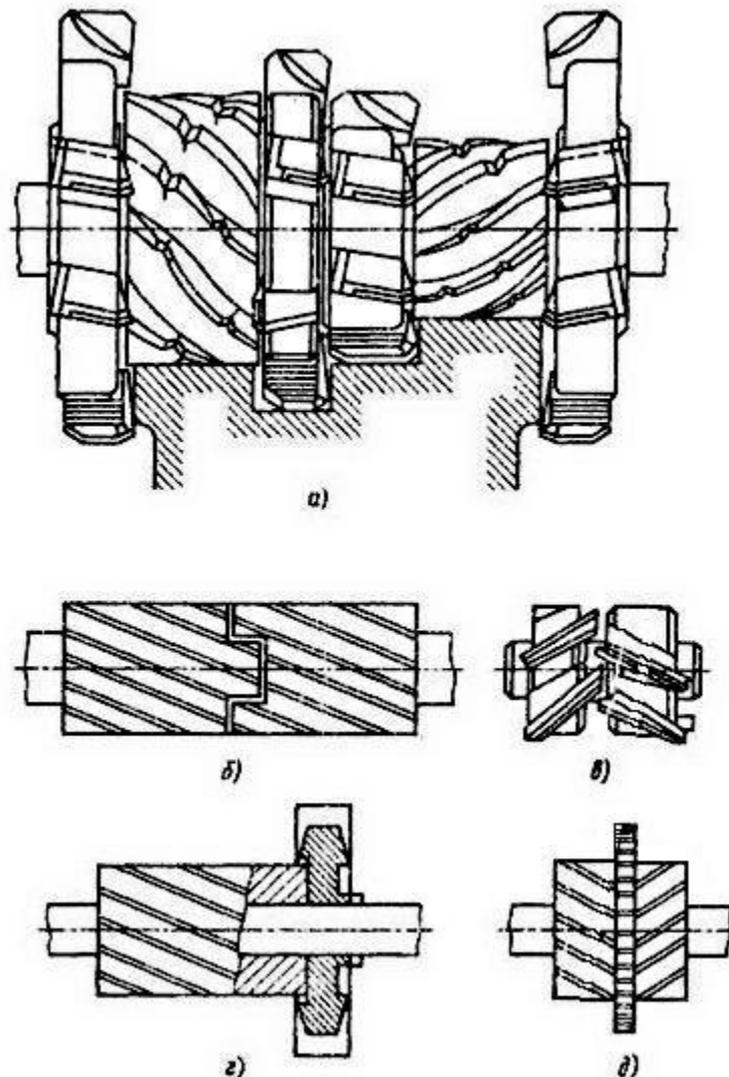
Торцовые фрезы, оснащенные КОМПОЗИТОМ



- Главным направлением развития конструкций торцовых фрез с пластинами из СТМ и керамики является использование кассетного принципа. Фреза состоит из корпуса 1 и кассет с режущими пластинами 8. Кассеты состоят из державки 6, прихвата 9, крепежного винта 7, сухаря 4 и регулировочного винта 3 с ограничительной шайбой 5 и крепятся в пазах корпуса винтами 2.
- Фрезы, оснащенные СТМ и керамикой, следует эксплуатировать на металлорежущих станках повышенной, высокой и особо высокой точности и имеющих высокий верхний предел частоты вращения шпинделя 3000 об/мин и более.

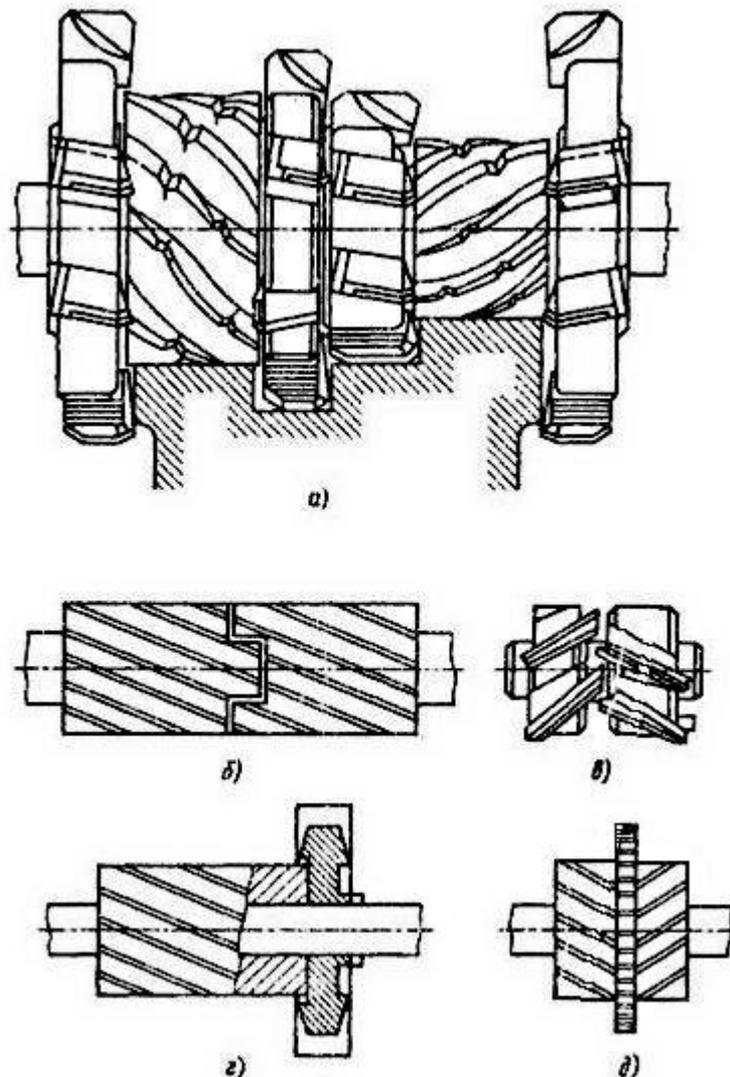
Наборы фрез

■ применяют для обработки деталей, имеющих несколько поверхностей с прямолинейными или криволинейными образующими. Они обеспечивают повышение точности обработки и производительности труда за счет одновременной обработки всех поверхностей



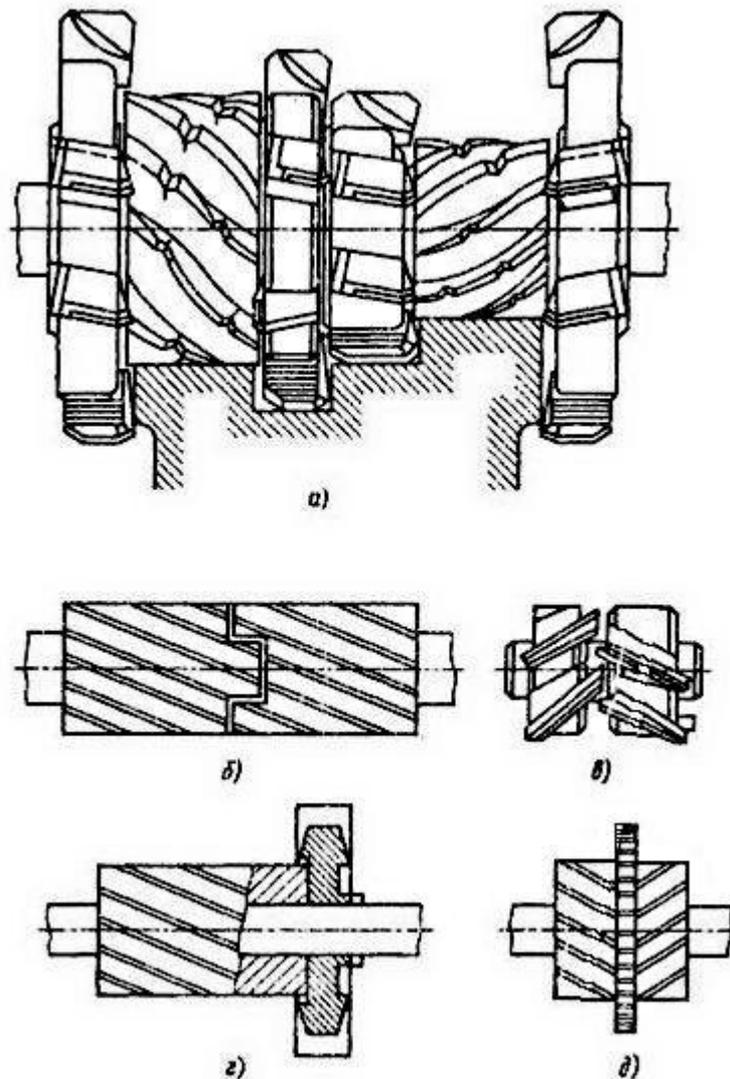
Наборы фрез

- набор представляет собой группу фрез, подобранных по профилю и размерам обрабатываемых поверхностей деталей и закрепленных на одной оправке.



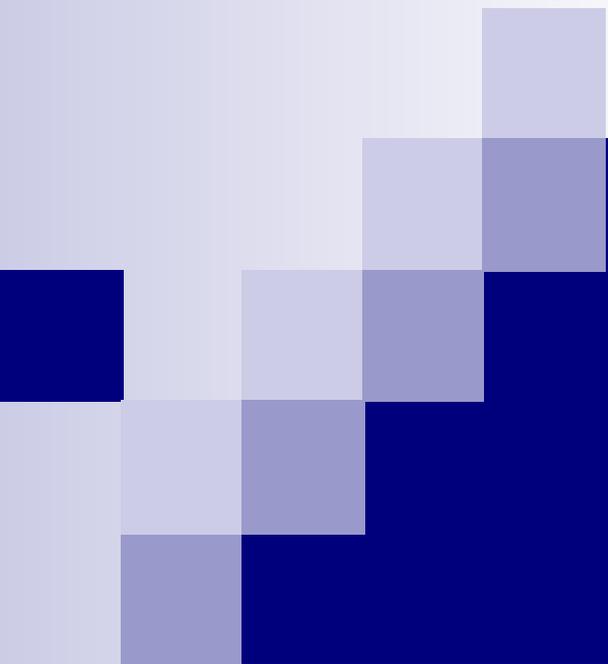
Наборы фрез

■ Точность взаимного расположения фрез на оправке и соблюдение требуемого расстояния между ними обеспечивается установочными кольцами различной ширины. Ширину колец определяют с учетом погрешности изготовления фрез по ширине и с учетом изменения размеров после переточки.



- Кольца могут быть регулируемые и нерегулируемые. Размеры колец по диаметру зависят от диаметра оправки и конструктивного оформления торцов рядом расположенных фрез.
- Направление зубьев у фрез набора следует выбирать так, чтобы за счет их разного направления либо компенсировать осевую силу, либо обеспечить ее направление в сторону шпинделя.

- Плавная работа набора обеспечивается расположением зубьев фрез так, чтобы зубья соседней фрезы располагались против впадины предыдущей.
- Это достигается расположением шпоночных пазов под различными углами относительно вершины зуба фрез. В результате зубья отдельных фрез входят в работу в различные моменты времени, и весь набор образует как бы одну фрезу с винтовым зубом.



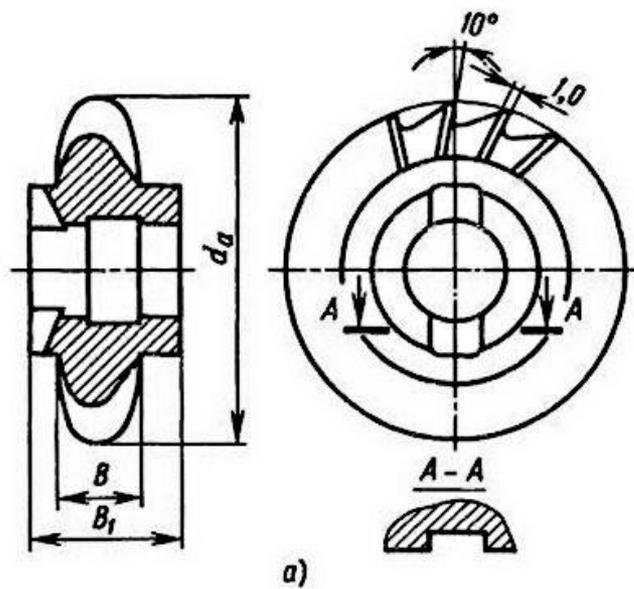
Фасонные фрезы

Фасонные фрезы

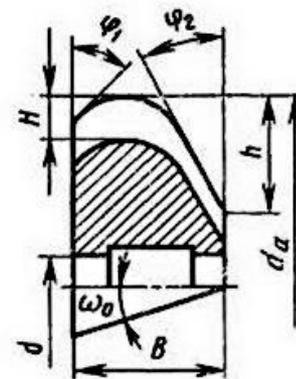
имеют фасонную производящую поверхность, на которой расположены зубья.

- Форма и размеры производящей поверхности зависят от формы и размеров обрабатываемой поверхности, кинематики процесса фрезерования и расположения оси фрезы относительно детали.

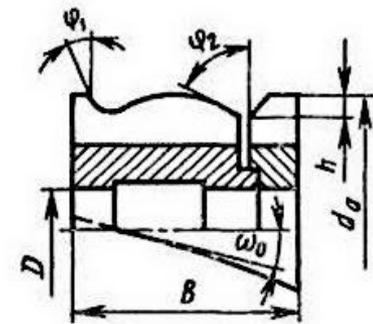
Фасонные фрезы



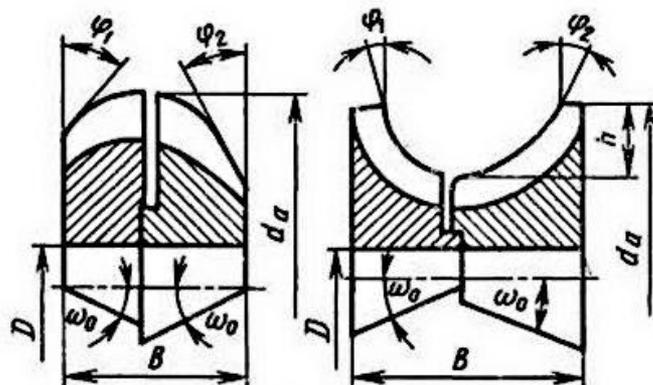
a)



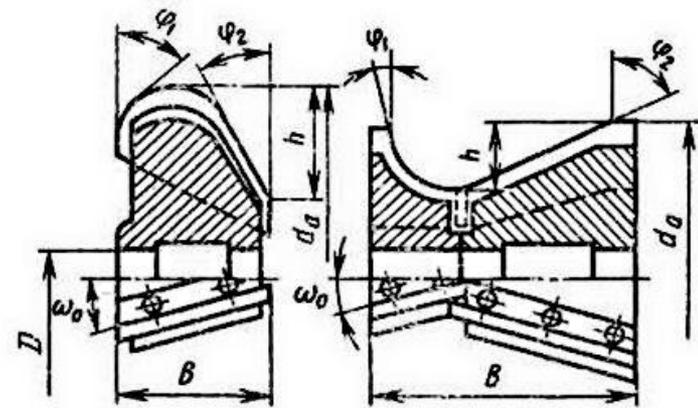
б)



в)



г)



д)

- Фасонными фрезами обрабатывают поверхности с прямолинейной направляющей, винтовые поверхности, тела вращения, например шейки коленчатых валов, причем в данном случае процесс точения заменен на более производительный процесс фрезерования.

- Фасонные фрезы применяют как ***затылованные***, так и ***острозаточенные***.
- Первые перетачивают по передней поверхности, вторые - по задней поверхности по копиру с применением специальных приспособлений

Фрезы с затылованными зубьями

- имеют форму задней поверхности лезвия, обеспечивающую постоянство профиля режущей кромки при повторных заточках по передней поверхности.

затылование

- В процессе изготовления фрез задняя поверхность их создается методом обработки, называемым затылованием.
- Режущим инструментом при этом служит затыловочный резец или шлифовальный круг

три способа затылования

- На практике применяются:
радиальное, при котором затыловочный резец перемещается перпендикулярно оси фрезы; **угловое**, при котором резец перемещается под некоторым углом к оси фрезы; **осевое**, при котором резец перемещается параллельно оси фрезы.
- Наибольшее применение имеют радиальное и угловое затылование.

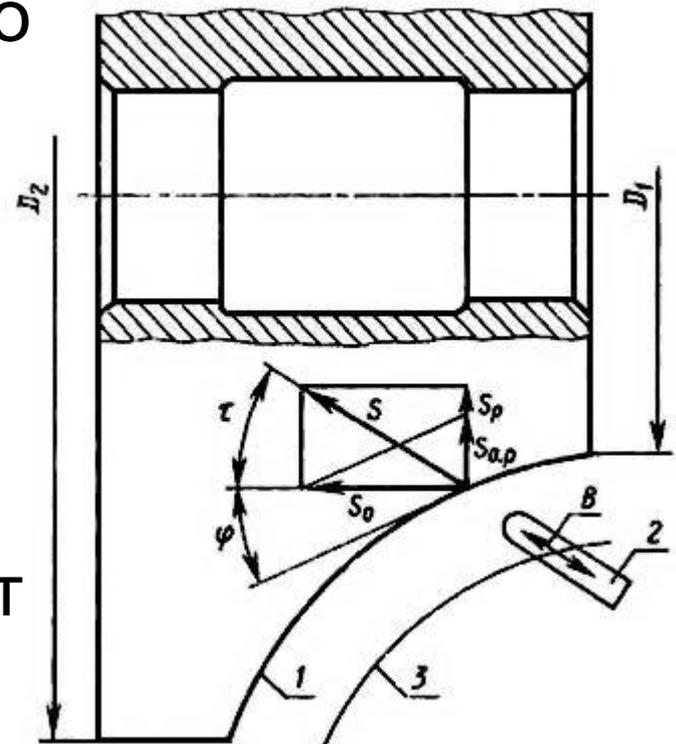


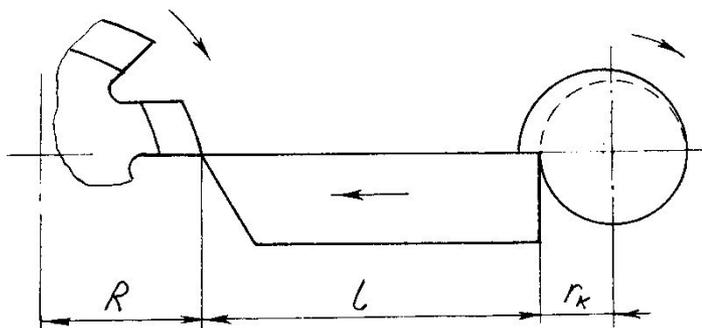
Схема затылования

- В настоящее время в практике как в России, так и за рубежом применяется в качестве кривой затылования спираль Архимеда по следующим причинам:

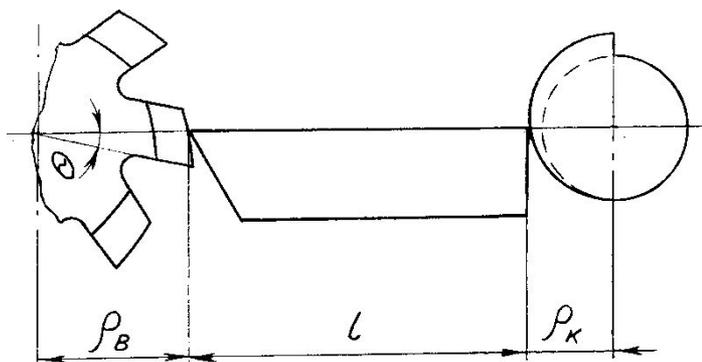
1. Очень просто изготовить кулачок для затылования, так как у спирали Архимеда приращение радиуса-вектора пропорционально приращению полярного угла ; кулачок легко изготовить на станке, у которого существует согласование между вращательным и поступательным движением.

- Кулачок же с логарифмической спиралью изготавливается по разметке и последующей обработкой кривой по точкам.

2. Кулачок является универсальным, так как его можно использовать для фрез различных диаметров. Для логарифмической спирали и прямой линии для каждого диаметра фрезы требуется свой кулачок. Кулачки характеризуются величиной затылования « K », которая на практике выбирается в пределах $K=0,5...12$ мм в зависимости от размеров фрезы.



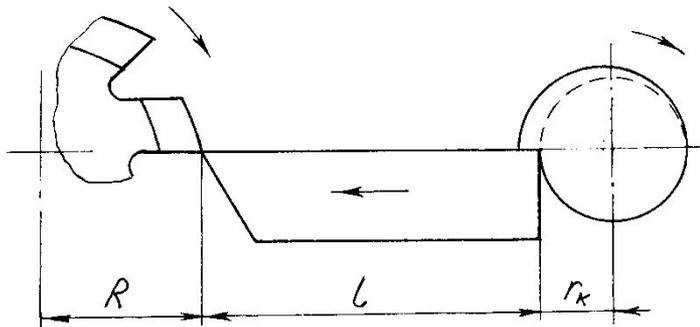
a)



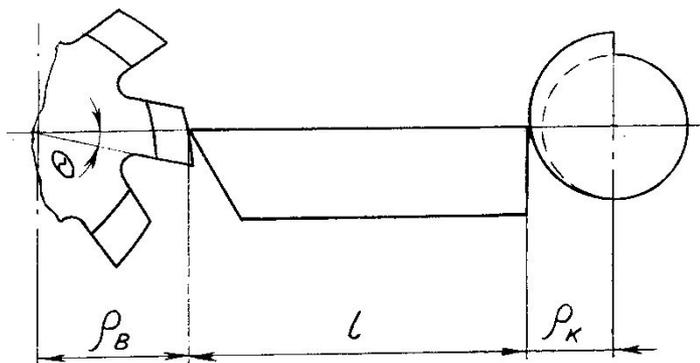
b)

Схема затылования

- В зависимости от условий резания устанавливается значение заднего угла, затем по формуле $K = \frac{\pi D}{z} \operatorname{tg} \alpha$ определяется величина затылования, и по ней подбирается кулачок. Иногда значение K расчетное округляют до соответствующей величины K кулачка.
- Фреза насаживается на оправку, вращающуюся в центрах. Затыловочный резец соответствующей формы и геометрии перемещается под действием кулачка, расположенного в суппорте затыловочного станка, перпендикулярно оси фрезы.



а)



б)