

Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет

# Теория резания и режущий инструмент (ч.1-2)

Лектор - Козлов Виктор Николаевич,  
доцент отделения **машиностроения** ИШНПТ  
моб. тел. 8-913-812-58-34, **kovn@tpu.ru**

**ВКС 380 440 5794, Пароль: 1DepTr**

Лекции – 32 часа, лабораторные работы – 32 часа,  
практические занятия – 32 часа. **СРС - 120 ч.,**  
всего 216 ч., **6 кредитов. Экзамен**

+ **Индивидуальное задание** 15-20 стр. пояснительной  
записки и чертежи фасонного резца и протяжки (формат  
A2 – A3).

## Литература

### • Основная литература:

1. Кожевников Д.В., Кирсанов С.В. Резание материалов. –М.: Машиностроение, 2012. –304 с..
2. Кожевников Д.В., Гречишников В.А., Кирсанов С.В., Григорьев С.Н., Схиртладзе А.Г. Режущий инструмент: учебник для вузов / Под общ. ред. С.В. Кирсанова. М.: Машиностроение, 2014, 520 с.
3. Справочник конструктора-инструментальщика. / под ред. В.А. Гречишникова, С.В. Кирсанова. М.: Машиностроение, 2006, 542 с.
4. Проектирование режущих инструментов. Методические указания и задания к курсовой работе для студентов, обучающихся по специальности 151001 «Технология машиностроения» ИДО / сост. С.В. Кирсанов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010.– 77 с.222

### Дополнительная литература:

5. Арляпов А.Ю., Галин Н.Е., Ким А.Б., Сбоев В.Н. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Резание материалов и режущий инструмент»– Томск, 2012, - 35 с.
6. Кирсанов С.В. Методические указания по выполнению **лабораторных работ** по дисциплине «Резание материалов и режущий инструмент»– Томск, 2012, - 35 с.
7. Кирсанов С.В. Методические указания по выполнению **практических** занятий по дисциплине «Резание материалов и режущий инструмент»– Томск, 2012, - 35 с.
8. Козлов В.Н. Методические указания по выполнению практических занятий по дисциплине «Резание материалов и режущий инструмент»– Томск, 2012, - 35 с.
9. Kirsanov S.V. Material cutting and cutting tools: study aid / S.V. Kirsanov; Tomsk Polytechnic University. – Tomsk: TPU Publishing House, 2012, 196 p.

# Названия разделов

- 1. Основы лезвийной обработки – 8 ч. лк, 8 ч. лаб. работ; 8ч. практ. занятий;**
- 2. Токарная обработка. Резцы и мерные режущие инструменты – 8 ч. лк, 8 ч. лаб. работ; 8 ч. практ. занятий;**
- 3. Фрезерование и фрезы – 8 ч. лк, 8 ч. лаб. работ; 8 ч. практ. занятий;**
- 4. Резьбонарезные и зубообрабатывающие режущие инструменты – 4 ч. лк, 4 ч. лаб. работ, 4 ч. практ. занятий;**
- 5. Абразивная обработка – 4 ч. лк, 4 ч. лаб. работ, 4 ч. практ. занятий;**

Индивидуальное домашнее задание (**ИДЗ**) – проектирование фасонного резца и протяжки.

**Экзамен.**

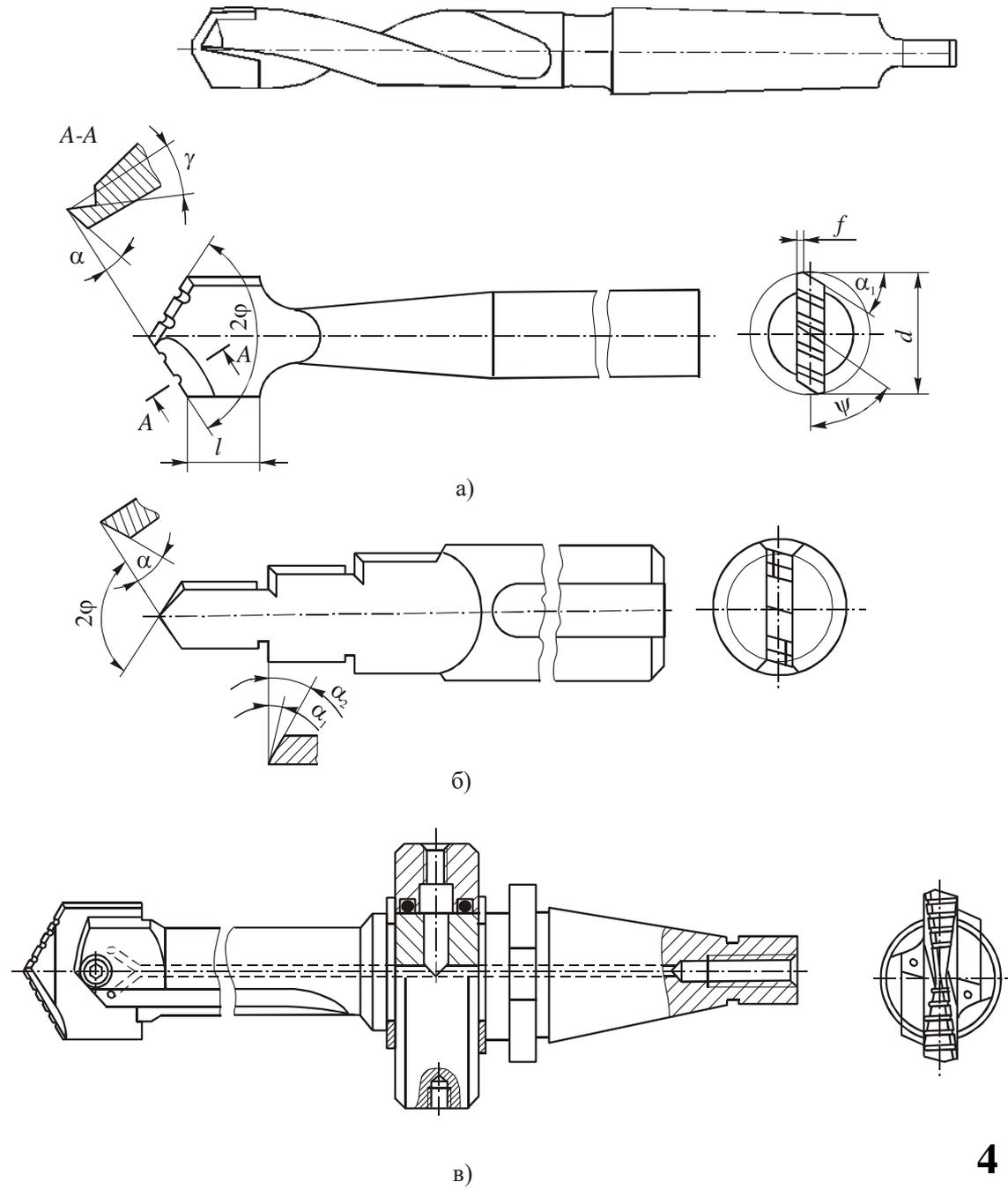
## Мерные режущие инструменты. Свёрла

Мерные режущие инструменты – это инструменты, при применении которых **диаметр отверстия равен диаметру инструмента** (свёрла, зенкеры, развёртки и т.п.).

**Свёрла** – это осевые режущие инструменты, предназначенные для **образования отверстий в сплошном материале**, а также для обработки (**рассверливания**) отверстий, предварительно изготовленных ковкой, штамповкой, литьем или сверлением.

Они широко применяются в машиностроении, занимая по этому признаку второе место после резцов. Кинематика процесса сверления состоит из двух движений: главного – вращательного вокруг оси инструмента (заготовки) и поступательного – движения подачи вдоль той же оси. По **конструктивному исполнению** сверла отличаются большим разнообразием, которое можно свести к следующим основным типам:

- 1) **перовые** (лопаточные);
- 2) **спиральные** (с винтовыми канавками);
- 3) **специальные** (для сверления глубоких отверстий, кольцевые, комбинированные и др.).



## Мерные режущие инструменты. Свёрла (продолжение)

В качестве материала рабочей части в основном используются быстрорежущие стали и прежде всего сталь марки **Р6М5**. В последние годы в больших объемах выпускаются различные конструкции сверл, оснащенных твердыми сплавами.

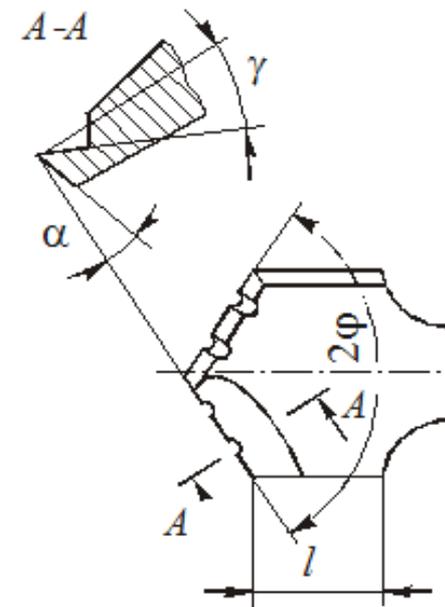
Достоинствами перовых сверл являются простота конструкции, а также возможность изготовления их любого диаметра и длины даже в условиях ремонтных мастерских.

**Недостатки** перовых сверл: 1) **затрудненные условия отвода стружки**; 2) **склонность к вибрациям** из-за малой жесткости режущей части; 3) **небольшой запас на переточку**; 4) **низкую производительность** процесса сверления **из-за малых значений подачи** и в связи с необходимостью **периодического вывода сверла** из отверстия для освобождения от стружки.

Часто применяется для сверления неглубоких **ступенчатых отверстий** на **станках-автоматах**, что позволяет сократить число операций и, следовательно, инструментов. **Сборное** перовое сверло с **режущей сменной пластиной** может закрепляться в стержне любой длины.

Для улучшения отвода стружки предусматривается ее деление по ширине с помощью **стружкодробящих канавок на задних поверхностях**. Через патрон и отверстие в стержне можно подавать под давлением СОЖ, которая одновременно с отводом тепла из зоны резания вымывает стружку из отверстия.

**Набор быстросменных пластин**, разных по диаметру, позволяет сократить номенклатуру сверл и расходы на их изготовление. Такие сверла в последние годы стали широко применять **на многооперационных станках с ЧПУ**, главным образом при рассверливании отверстий.



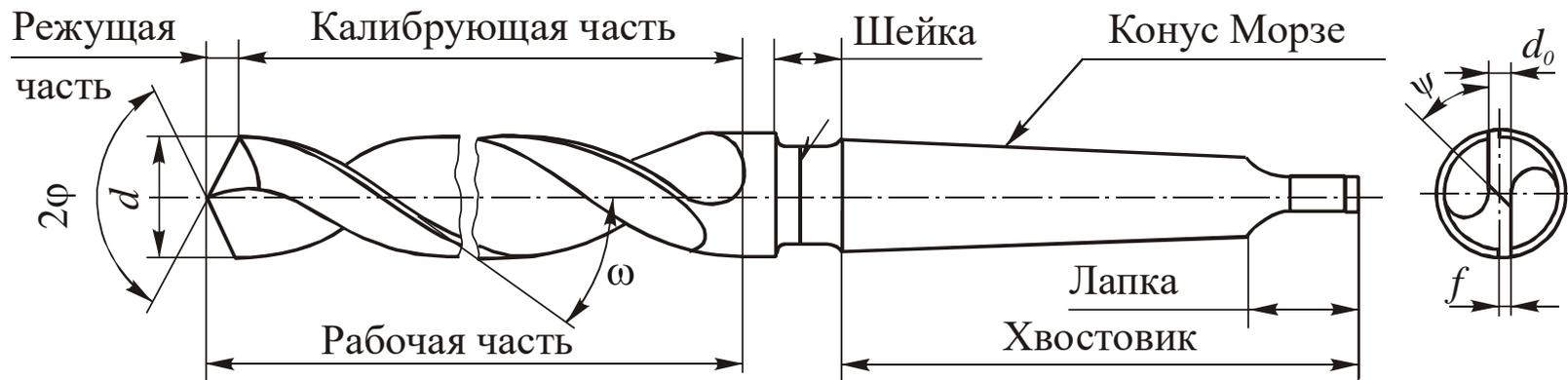
Режущая часть  
перового сверла

## Свёрла (продолжение)

Спиральные или, правильнее, **винтовые, сверла** были впервые показаны на Всемирной торговой выставке в 1867 г. американской **фирмой Морзе**. До настоящего времени основные особенности их конструкции сохранились практически неизменными. Спиральные сверла нашли наибольшее применение благодаря следующим **достоинствам**: 1) **хороший отвод стружки** из обрабатываемого отверстия из-за наличия винтовых канавок; 2) **положительные передние углы** на большей длине главных режущих кромок; 3) **большой запас на переточку**, которая производится **по задним поверхностям** и **может выполняться вручную** или на специальных заточных станках, в том числе станках-автоматах; 4) **хорошее направление сверла в отверстиях** из-за наличия калибрующих ленточек на наружной поверхности калибрующей части инструмента.

Производство спиральных сверл осуществляется в **специализированных цехах или заводах** в условиях крупносерийного или массового производства. **Поэтому**, несмотря на сложное конструктивное исполнение, **себестоимость этих сверл невелика**.

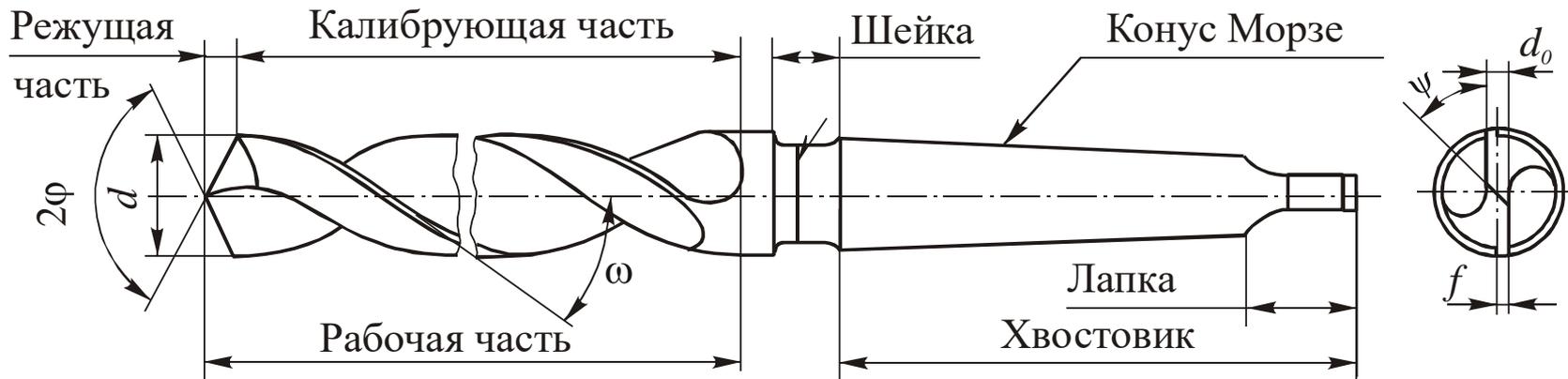
На **конической режущей части** с углом  $2\varphi$  при вершине расположены **две главные режущие кромки** – линии пересечения винтовых передних и задних поверхностей. Форма задних поверхностей определяется методом заточки. В результате пересечения двух задних поверхностей образуется **поперечная режущая кромка**, наклоненная к главной режущей кромке **под углом  $\psi$** . Эта кромка располагается на сердцевине сверла **с условным диаметром  $d_0 = (0,15 \dots 0,25)d$** , где  $d$  – диаметр сверла.



## Свёрла (продолжение)

Две вспомогательные режущие кромки лежат на пересечении передних поверхностей и цилиндрических калибрующих ленточек, направляющих сверло в отверстии и образующих калибрующую часть сверла. Угол наклона вспомогательных кромок к оси сверла  $\omega$  определяет в основном величину передних углов  $\gamma$  на главных режущих кромках, которые переменны по величине в разных точках этих кромок. Для снижения трения калибрующих ленточек о стенки отверстия их ширину в зависимости от диаметра сверла принимают равной  $f=(0,32\dots0,45)\sqrt{d}$ , а высоту  $\Delta = 0,1\dots0,3$  мм. Во избежание защемления сверла в отверстии предусматривается уменьшение его диаметра к хвостовику – обратная конусность, равная 0,03...0,12 мм на 100 мм длины рабочей части. У сердцевины сверла с целью повышения его прочности и жесткости предусматривается прямая конусность, т.е. увеличение ее диаметра в направлении к хвостовику, равное 1,4...1,7 мм на 100 мм длины. При переточке сверла диаметр отверстия и глубина канавок будут немного уменьшаться.

Режущая и калибрующая части сверла составляют его рабочую часть, по длине которой сверла делятся на короткую, среднюю и длинную серии. Стандартные спиральные сверла изготавливают диаметром 0,1...80 мм с допусками по  $h8\dots h9$ . За рабочей частью сверла следует шейка, которая используется для нанесения маркировки сверла: диаметра, материала режущей части, товарного знака завода-изготовителя.

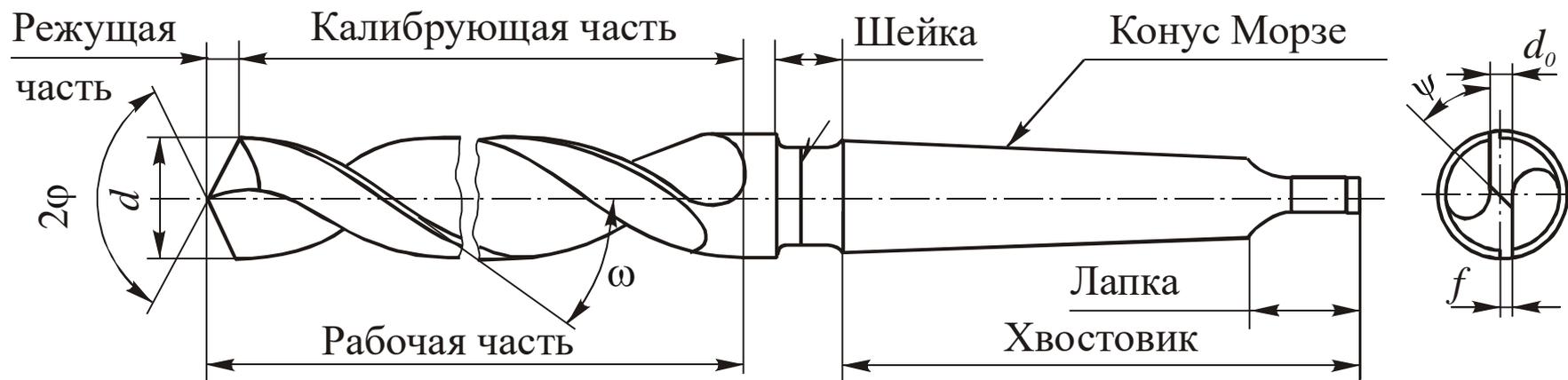


## Свёрла (продолжение)

Хвостовики бывают двух типов: **конические** (типа Морзе) с **лапкой на конце** для сверл  $d = 6...80$  мм и **цилиндрические** – для сверл  $d = 0,1...20$  мм. У сверл  $d > 8$  мм хвостовики делают из **конструкционной стали 45** или **40Х**, **свариваемой с рабочей частью**. Для **увеличения силы трения** в месте крепления сверла в патроне и **возможности правки сверл по длине хвостовики термически не обрабатывают**. **Лапки сверл для упрочнения закаливают**, так как они используются для выбивания сверл из отверстия шпинделя станка или из переходной втулки.

**Угол при вершине**  $2\varphi$ , который играет роль главного угла в плане. Обычно  $2\varphi = 116...120^\circ$ . При этом **главные режущие кромки строго прямолинейны** и совпадают с линейчатой образующей винтовой передней поверхности. При заточке сверл угол заточки ( $2\varphi_{\text{зат}} \neq 2\varphi$ ) может быть изменен в пределах от  $70$  до  $135^\circ$ . При этом **режущие кромки становятся криволинейными**, меняются соотношение ширины и толщины срезаемой стружки, а также величины передних углов на главных режущих кромках. Соответственно меняются степень деформации срезаемого припуска, силы и температура резания и условия отвода стружки.

На основании производственного опыта оптимальное значение угла  $2\varphi$  рекомендуется брать в зависимости от обрабатываемого материала, например, при обработке **конструкционных сталей**  $2\varphi = 116...120^\circ$ , **нержавеющих и высокопрочных сталей**  $2\varphi = 125...150^\circ$ , **чугуна, бронзы**  $2\varphi = 90...100^\circ$ , **чугуна высокой твердости**  $2\varphi = 120...125^\circ$ , **цветных металлов** (алюминиевые сплавы, латунь, медь)  $2\varphi = 125...140^\circ$ .



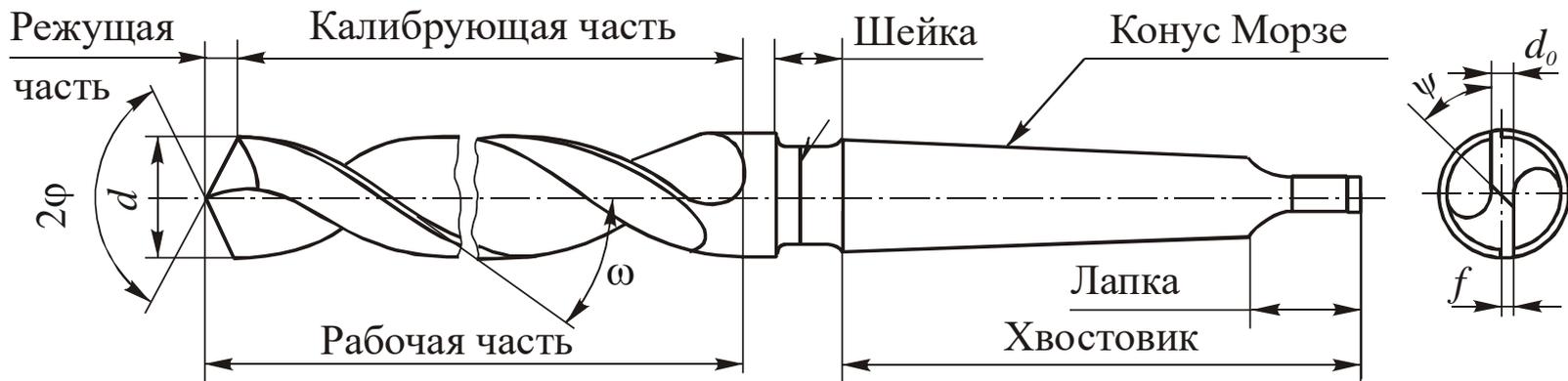
## Свёрла (продолжение)

**Угол наклона винтовой канавки**  $\omega$ , замеренный на наружном диаметре сверла, является одним из важнейших параметров, определяющих величину передних углов в каждой точке главных режущих кромок. У стандартных сверл этот угол назначается в зависимости от их диаметра:  $\omega = 25...28^\circ$  для  $d < 10$  мм и  $\omega = 28...32^\circ$  для  $d > 10$  мм. Так как этот угол оказывает также большое влияние на отвод стружки из зоны резания, то **у специальных спиральных сверл его увеличивают до  $40...60^\circ$** .

Однако с увеличением угла  $\omega$  снижается поперечная жесткость сверл, увеличиваются значения передних углов, особенно на периферийных участках режущих кромок, что может сильно **ослабить прочность** режущего клина и **снизить стойкость** сверл. В этом случае **выполняют подточку** передней поверхности **с целью уменьшения углов  $\gamma$** .

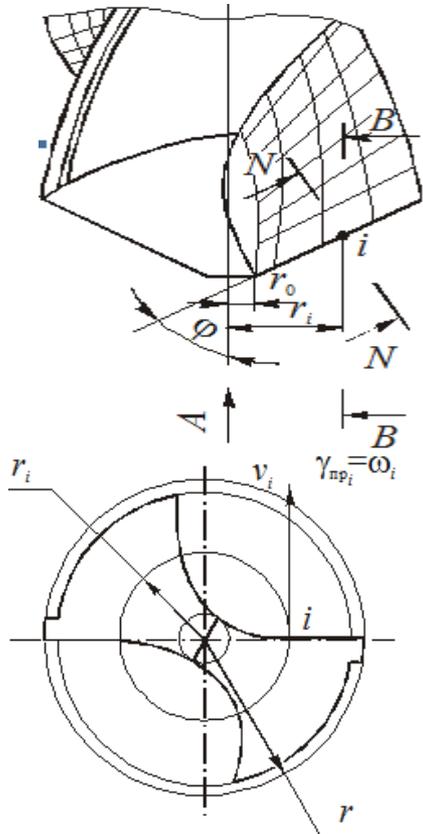
При проектировании новых конструкций сверл для обработки определенных видов материалов по рекомендациям *ISO* значение  $\omega$  **при обработке сталей следует брать равным  $25...35^\circ$** , чугунов и других хрупких материалов –  $10...15^\circ$ , алюминия, меди и других вязких легкообрабатываемых материалов –  $35...45^\circ$ .

**Передний угол  $\gamma$**  спиральных сверл имеет переменное значение по длине главных режущих кромок. У стандартных сверл с прямолинейными режущими кромками образующая поверхности совпадает с режущей кромкой и составляет угол  $\varphi$  с осью сверла. При ее винтовом движении траектории каждой точки режущей кромки представляют собой винтовые линии с одним и тем же **шагом  $P$** , который можно измерить на **наружном диаметре** сверла:  $P = \pi d / \operatorname{tg} \omega$

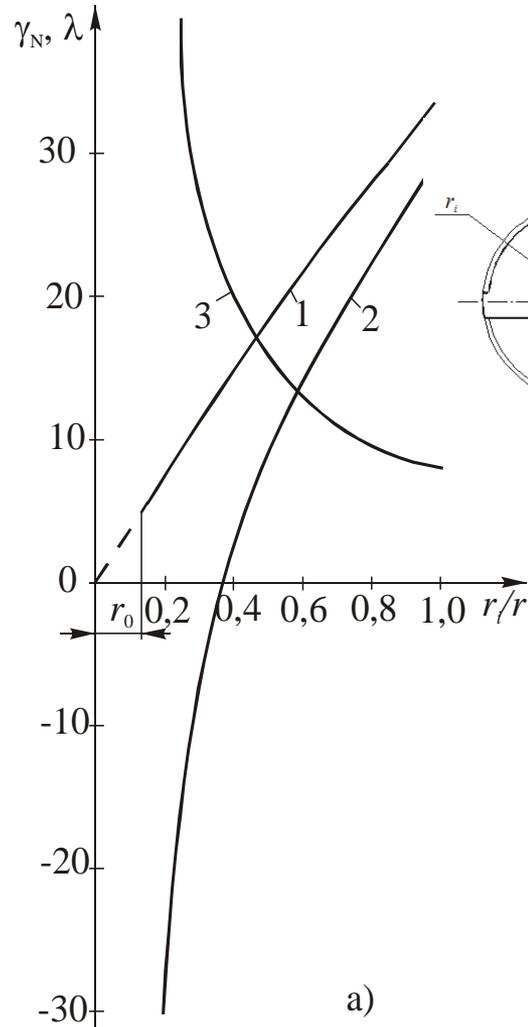


## Свёрла (продолжение)

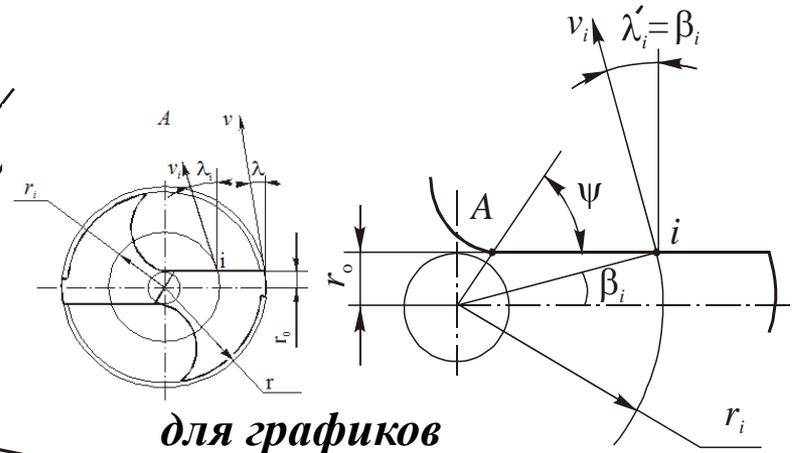
Распределение **передних углов  $\gamma_{Ni}$**  и **угла наклона главной режущей кромки  $\lambda_i$**  по длине главных режущих кромок спирального сверла: **а: 1** –  $\gamma_{Ni}$  у сверл с режущими кромками, расположенными в **осевой плоскости**, **2** –  $\gamma_{Ni}$  и **3** –  $\lambda_i$  **у стандартных сверл**; **б** – поворот вектора скорости резания  $v_i$  в разных точках режущей кромки; **в** – определение фактического значения угла  $\gamma_{Ni}$  с учетом угла поворота  $\eta_i$  координатных плоскостей.



для **графика 1** – для сверла с **режущими кромками**, расположенными в **осевой плоскости**

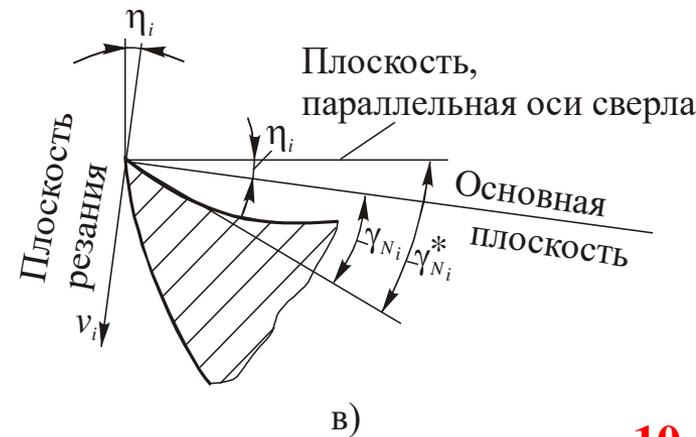


а)



для графиков  
**2 и 3**

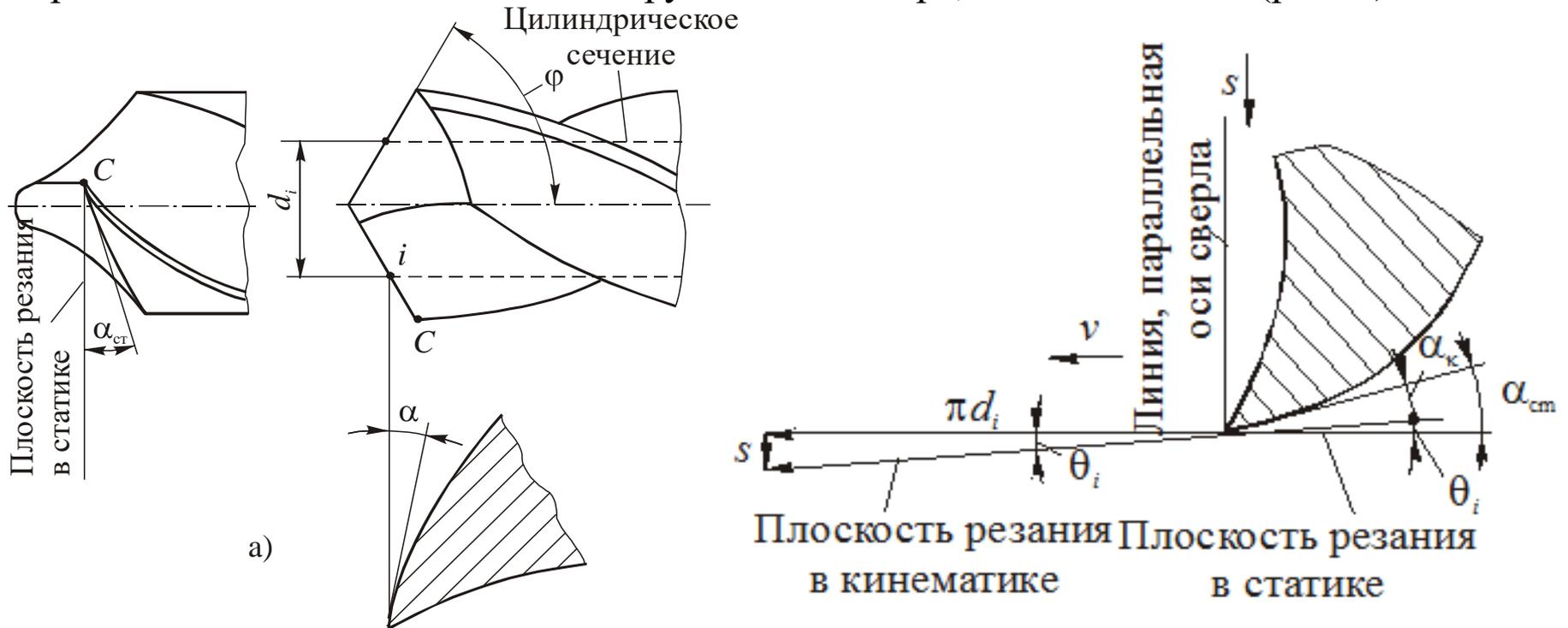
б)



в)

## Свёрла (продолжение)

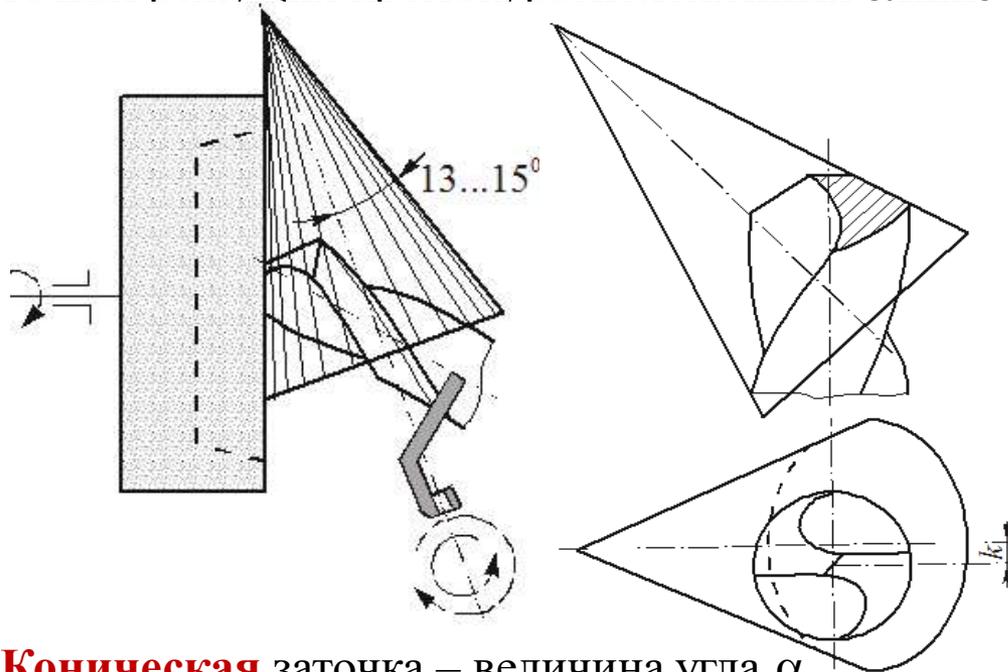
**Задний угол  $\alpha$**  на главных режущих кромках создается путем заточки перьев сверл по задним поверхностям, которые могут быть оформлены как части плоской, конической или винтовой поверхностей. У спиральных сверл принято измерять задний угол в цилиндрическом сечении, соосном со сверлом, как угол зазора между **касательной к задней поверхности** и **поверхностью резания**. За последнюю принимают в статике плоскость, проходящую через главную режущую кромку перпендикулярно к осевой плоскости сверла, т.е. без учета угла поворота координатных плоскостей на угол  $\theta_i$  ( $\eta_i$ ). На практике контроль заднего угла  $\alpha$  производится с помощью инструментального микроскопа в точке  $C$ , лежащей на наружном диаметре, т.е. на ленточке (рис. а).



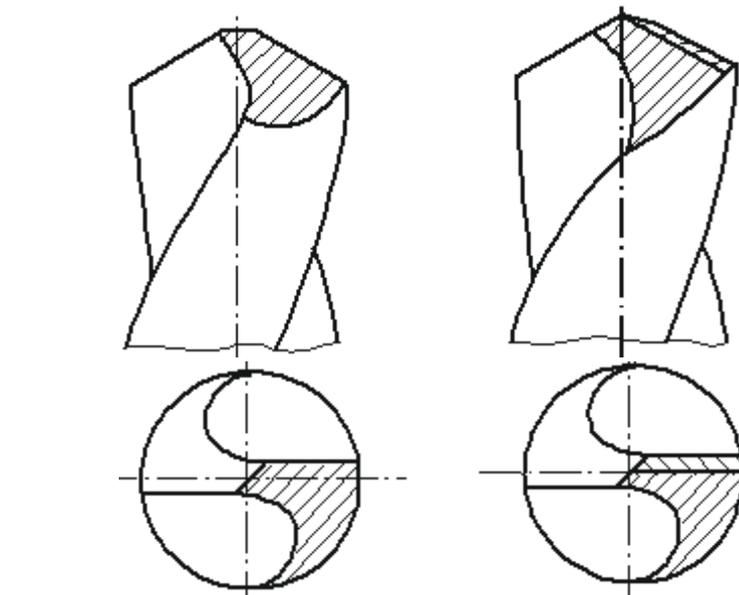
**Задние углы в статике  $\alpha_{ст}$  и кинематике  $\alpha_{к}$**  спирального сверла в **цилиндрическом сечении**

## Свёрла (продолжение)

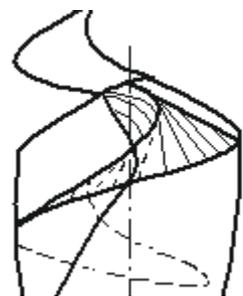
Способ заточки (всегда выполняется по **задней поверхности**) должен обеспечить некоторое **увеличение**  $\alpha_i$  с приближением  $i$ -й точки к **оси сверла** из-за влияния подачи на величину **кинематического** заднего угла  $\alpha_k$ , которое становится более заметным в точках режущих кромок, расположенных **ближе к сердцевине**.



**Коническая** заточка – величина угла  $\alpha$  регулируется **смещением**  $k$  оси сверла.



**Одноплоскостная** и **двухплоскостная** заточка

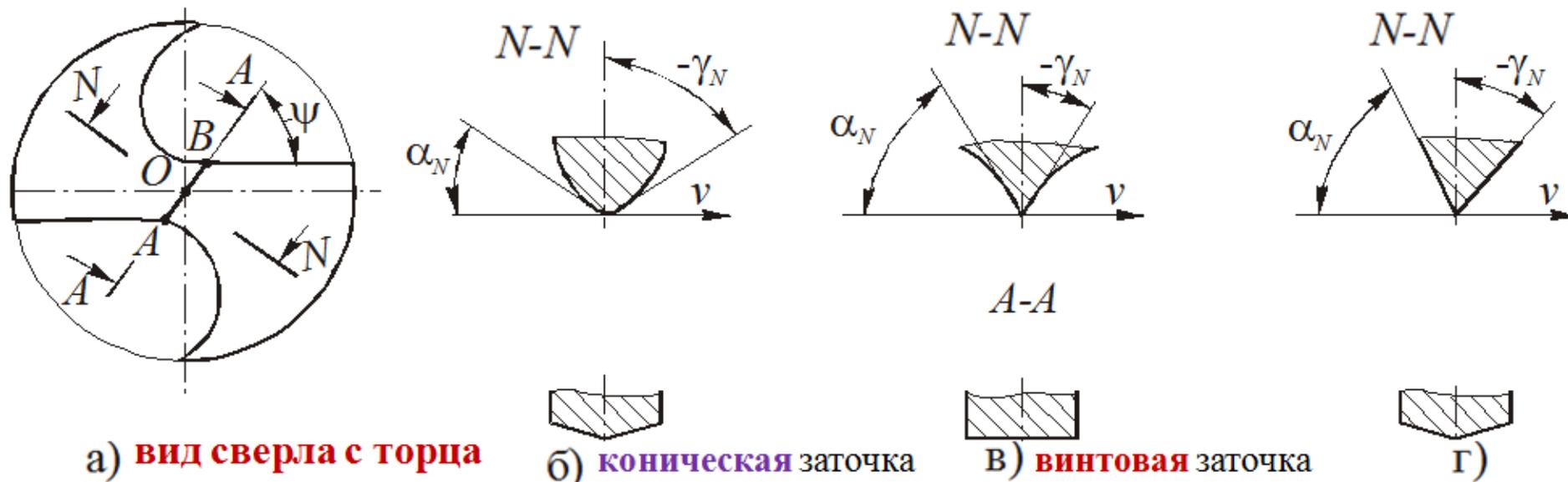


**Винтовая** заточка - в **серийном** производстве сверл

При **одноплоскостной** заточке угол  $\alpha$  должен быть  $20...25^\circ$ , что резко ослабляет режущий клин. Поэтому такой метод нашел применение только при **заточке сверл малых диаметров** ( $d < 3$  мм). **Двухплоскостная** заточка применяется гораздо чаще, особенно у **твёрдосплавных** свёрл.

## Свёрла (продолжение)

**Поперечная режущая кромка** сверла формируется при заточке как линия пересечения задних поверхностей перьев. Она состоит из двух полукромки  $AO$  и  $OB$  (рис. *а*) являющихся продолжением до оси двух главных режущих кромок. Передние и задние поверхности этих полукромки являются частью главных задних поверхностей сверла. При **всех методах** заточки **передние углы на полукромках имеют отрицательные значения**. Наибольшее из них будет при **конической** заточке ( $\gamma_N \approx -\varphi$ ) (рис. *б*), а наименьшее – при **винтовой** заточке (рис. *в*). По этой причине на **поперечную режущую кромку**, несмотря на ее небольшую длину, приходится до **40...60% осевой составляющей силы резания (силы подачи)**.



**а) вид сверла с торца**

**б) коническая заточка**

**в) винтовая заточка**

**г)**

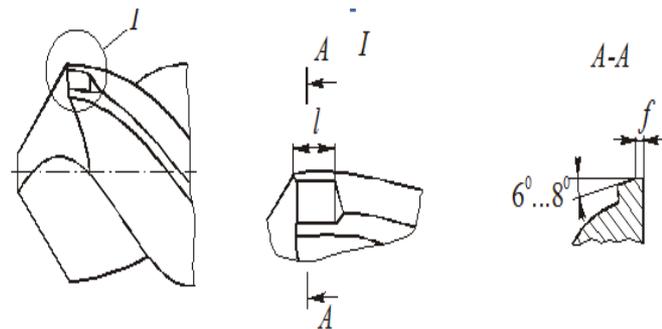
Геометрические параметры **поперечной** режущей кромки спирального сверла:

**а** – вид сверла с торца; **б** – **коническая** заточка; **в** – **винтовая** заточка; **г** – **двухплоскостная** заточка

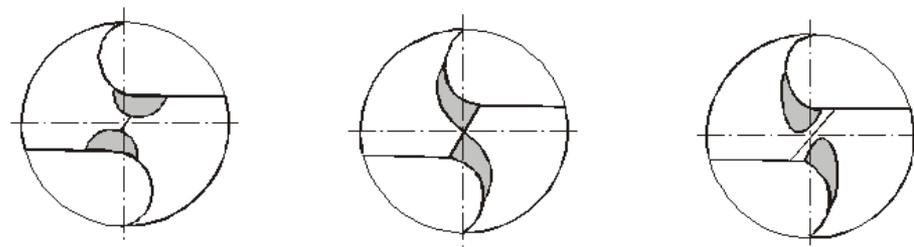
## Свёрла (продолжение)

**Недостатки** геометрии стандартных спиральных сверл: 1) наличие **нулевых** задних углов на **вспомогательных** режущих кромках; 2) **отрицательные** передние углы на **поперечной** режущей кромке; 3) **большие передние углы** на **периферийных** участках главных режущих кромок. Для уменьшения недостатков:

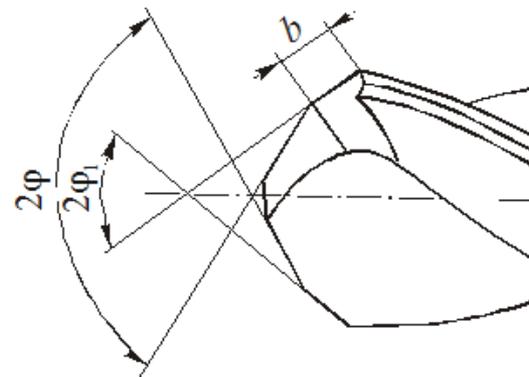
1) **подточка ленточки** путем создания на вспомогательных кромках задних углов  $\alpha_1 = 6...8^\circ$  с оставлением небольшой фаски шириной  $f = 0,3...0,1$  мм на длине  $l = (0,1...0,2)d$ , чтобы не ухудшить направление сверла в отверстии. Благодаря этому снижается сила трения на ленточках, а при сверлении сталей на них предотвращается налипание мелкой стружки, что приводит к повышению стойкости инструмента.



2) **подточка поперечной режущей кромки**, снижающие осевую составляющую силы резания, улучшающие **условия засверливания** и увеличивающие производительность процесса сверления за счет **увеличения подачи**.



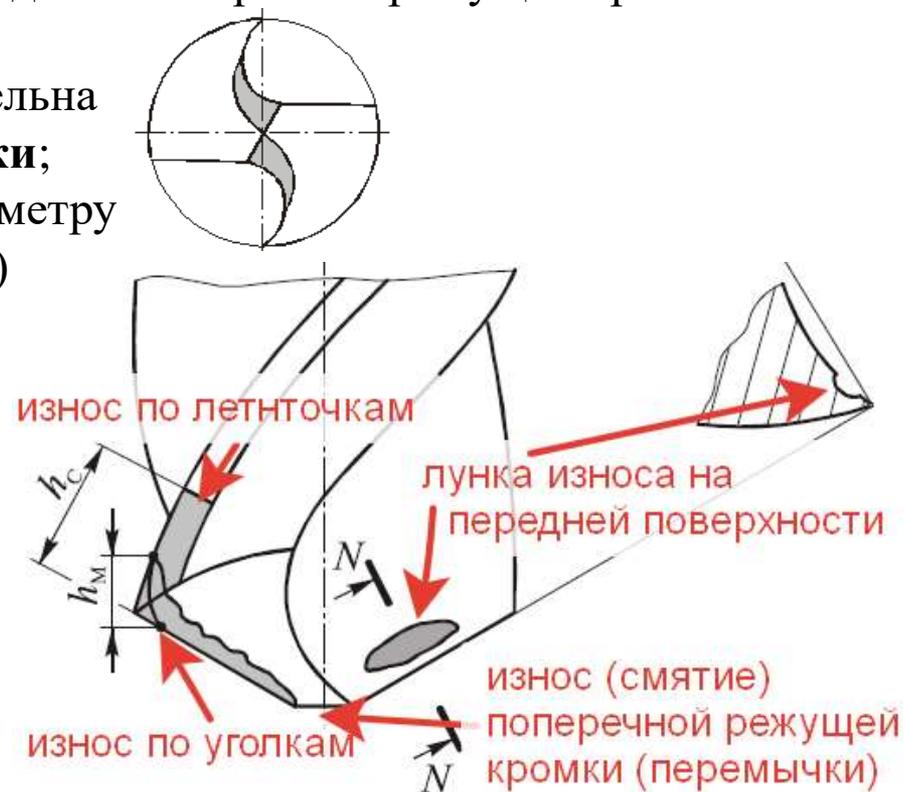
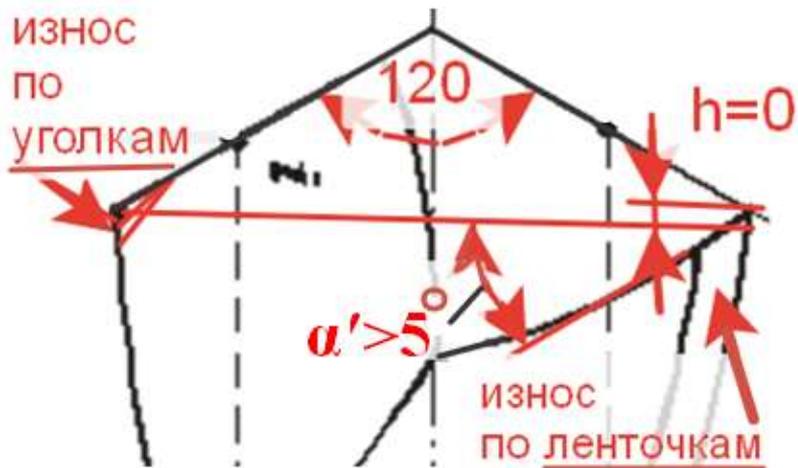
3) **заточка под двойными углами при вершине сверла**. При этом  $2\varphi = 116^\circ$ , а  $2\varphi_1 = 70...90^\circ$ , с шириной дополнительной заточки по уголкам  $b = (0,1...0,2)d$ . Уменьшается износ наиболее уязвимых периферийных участков режущих кромок сверла, где скорость резания наибольшая, а передние углы меньше на  $7...8^\circ$ .



## Свёрла (продолжение)

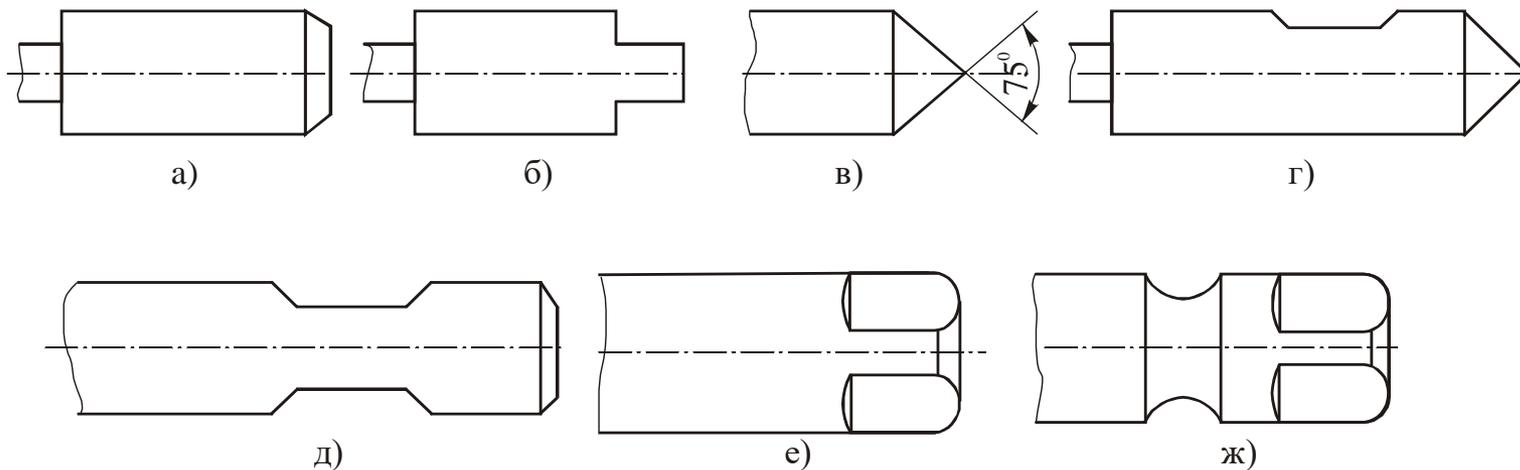
При заточке свёрл необходимо контролировать:

- 1) **угол при вершине**  $2\phi = 90 - 140^\circ$  в зависимости от твёрдости обрабатываемого материала (для сверления конструкционной стали средней твёрдости  $2\phi \approx 120^\circ$ );
- 2) уголки сверла должны быть **на одном уровне** ( $\Delta h=0$  мм);
- 3) **отсутствие износа по уголкам** или их завал;
- 4) наличие **положительного заднего угла**  $\alpha > 7^\circ$ , соответствующего положительному углу  $\alpha' > 5^\circ$ ;
- 5) **отсутствие износа по ленточкам**;
- 6) **отсутствие завала режущей кромки** рядом с поперечной режущей кромкой или смятие поперечной режущей кромки;
- 7) при диаметре сверла **более 8 мм** желательна **подточка поперечной режущей кромки**;
- 8) **обратная конусность** по наружному диаметру (обеспечивается при изготовлении свёрл)



## Свёрла (продолжение)

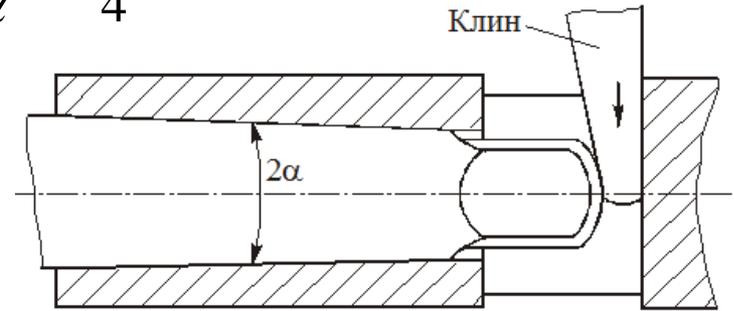
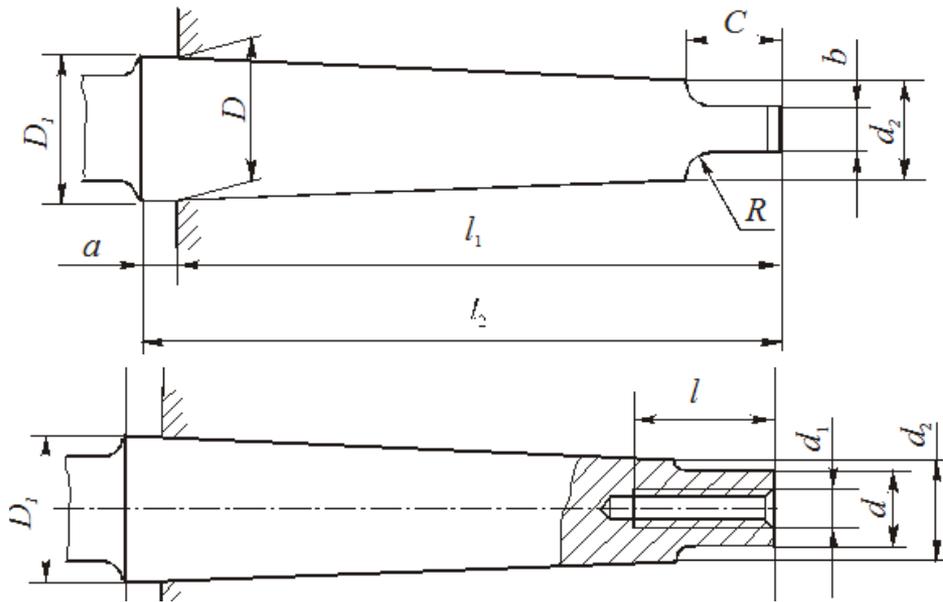
Концевые инструменты изготавливают с **цилиндрическими** или **коническими** хвостовиками, которые входят в отверстия шпинделей станков непосредственно или через переходные втулки, оправки и патроны. Достоинствами **цилиндрических** хвостовиков являются: **простота** при высокой точности изготовления, **возможность регулирования вылета инструмента в осевом направлении**. **Недостаток** – наличие зазора при подвижной посадке. Для **передачи крутящего момента** некоторые типы хвостовиков имеют **поводки в виде квадратов, лысок или вырезов** для крепления винтами. **Гладкие цилиндрические** хвостовики применяют у инструментов малых диаметров (обычно менее 16 мм), закрепляемых в **цанговых** или **кулачковых (сверлильных) патронах**. Отверстие **цанги цангового патрона** должен быть равно **диаметру цилиндрического хвостовика**, хвостовик обрабатывается по **9-7** качеству.



**Виды (типы) хвостовиков концевых инструментов**

Лучшее центрирование с посадкой без зазора обеспечивает крепление с помощью **конических хвостовиков**. Чаще всего используют самотормозящиеся хвостовики типа **Морзе** (№ 0...6) **конусностью** от **1:19,002** до **1:20,02**. Конусы Морзе распределены по 8 категориям. За рубежом это МТ0, МТ1, МТ2, МТ3, МТ4, МТ5, МТ6, МТ7. В Германии такая же нумерация, но буквенное обозначение МК. В нашей стране и на постсоветском пространстве КМ0, КМ1, КМ2, КМ3, КМ4, КМ5, КМ6 и №80. Используются и **метрические конусы** с конусностью **1:20** (угол конуса  $2\alpha = 2^\circ 50'$ ). Достоинством конусов является возможность **передачи крутящих моментов без дополнительных элементов** и только за счет **сил трения** на поверхностях контакта конуса с гнездом. При этом, например, у сверл **момент трения** увеличивается при **возрастании** осевой составляющей силы резания. В формуле  $\alpha = 2^\circ 50'$ ,  $\Delta\alpha = 10^\circ$ ,  $\mu = 0,096$  (сталь по стали)

$$M_{кр} = \frac{\mu \times P_o}{\sin \alpha} \cdot \frac{D + d}{4} \cdot (1 - 0,04\Delta\alpha).$$



Хвостовики с лапкой и с **затяжкой в гнездо болтом** (штревелем). Лапка не должна передавать крутящий момент. Она предназначена только для **выбивания** инструмента из гнезда с помощью клина

Для **увеличения** силы трения хвостовики обычно **термически не обрабатывают**, за **исключением лапки**, которую закаливают для предохранения от смятия. Чтобы не повредить клином центровое отверстие, торец лапки обрабатывают по радиусу.

В наши дни **конусы Морзе** изготавливают в соответствие с **международным стандартом ISO и DIN**. В **России** система стандартизации объединяет в один класс как **просто конусы Морзе**, так и **метрические и инструментальные** (ГОСТ 25557-82). Ситуация с единым ГОСТом сложилась из-за того, что конусы Морзе со времен СССР пользуются в России большой популярностью, а параллельно с этим появилось много новых.

С развитием машиностроительной отрасли возникла потребность в расширении модельного ряда конусов Морзе. Для этого был разработан метрический конус, который не имел особых конструктивных отличий от своего предшественника. Его конусность равнялась 1:20, при этом угол  $2^{\circ}51'51''$ , а уклон  $1^{\circ}25'56''$ . **Метрические конусы** позволили создать большой выбор инструмента для различных станков и операций. Классифицируются они на **две категории: большие и малые**. Большие обозначаются, например № 120, 200, и **цифры соответствуют наибольшему диаметру метрического конуса**.

Особой популярностью, благодаря своему качеству, пользуются инструментальные конусы Морзе компаний HSK, Capto и Kennametal. Хорошая **устойчивость к изменениям температуры** и соответствие жестким требованиям в станкостроении позволило **конусам Морзе этих брендов** стать лидерами рынка. **HSK** – это **полые** инструменты с конусностью **1:10**. Обозначаются буквой латинского алфавита и **цифрой**, обозначающей **большой диаметр фланца**. Главной особенностью таких изделий является **быстрая замена** инструмента, что очень важно в **станках с ЧПУ**.

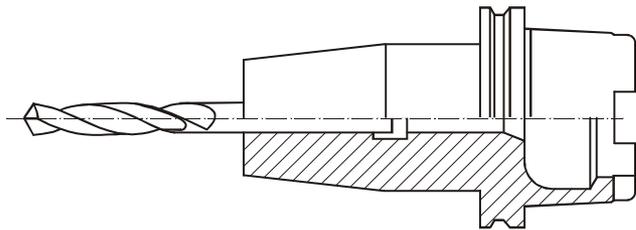


По причине **избыточности длины** конуса Морзе при некотором его применении, был образован стандарт **укороченных** конусов. В обозначении конуса находится значение **наибольшего диаметра** образованного после уменьшения длины **при сохранении соотношения**. Таким образом **девять типоразмеров** укороченных конусов, **V7, V10, V12, V16, V18, V22, V24, V32, V45** получили распространение при установке сверлильных патронов и другого инструмента.

Для увеличения силы трения **хвостовики** обычно **термически не обрабатывают**, за исключением лапки, которую закаливают для предохранения от смятия. Чтобы не повредить клином центровое отверстие, торец лапки обрабатывают по радиусу.

Широкое применение у **быстросменных** инструментов нашли также хвостовики с **конусностью 7:24** ( $2\alpha = 16^\circ 35'$ ). Они обеспечивают хорошее центрирование, но **не являются самотормозящими**. Поэтому для передачи крутящего момента на **торце хвостовиков** предусмотрены **шпоночные пазы**. Крепление в шпинделе осуществляется путем затяжки **штревелем** или **специальным захватом за цилиндрическую выточку** на конце хвостовика. Раньше такие конусы применялись на **фрезерных** станках для крепления фрез в шпинделе непосредственно или через оправку. Сейчас их стали широко применять для крепления режущих и вспомогательных инструментов **на станках с ЧПУ**.

Разработан ГОСТ Р 51547–2000 на **полые** конические хвостовики типа **HSK** (Hohlschaftte Kegel), обеспечивающие надежное базирование и закрепление режущих инструментов при сверхскоростной обработке (с частотами вращения **более 8000 мин<sup>-1</sup>**). В отличие от хвостовиков 7:24, они имеют значительно **меньшие габариты**, а крепление инструмента в них осуществляется по «**горячей**» посадке – **с натягом** ( $H7/p6$ ,  $H7/n6$ ). Действие таких патронов основано на том, что при нагреве в специальных устройствах посадочное отверстие патрона увеличивается в диаметре. Хвостовик закрепляемого инструмента вставляется в это расширенное отверстие. После охлаждения патрона до комнатной температуры диаметр посадочного отверстия возвращается к исходному размеру. При этом обеспечиваются очень большие усилия зажима.



Крепление по «**горячей**» посадке сверла в патроне типа **HSK** для **сверхскоростной** обработки

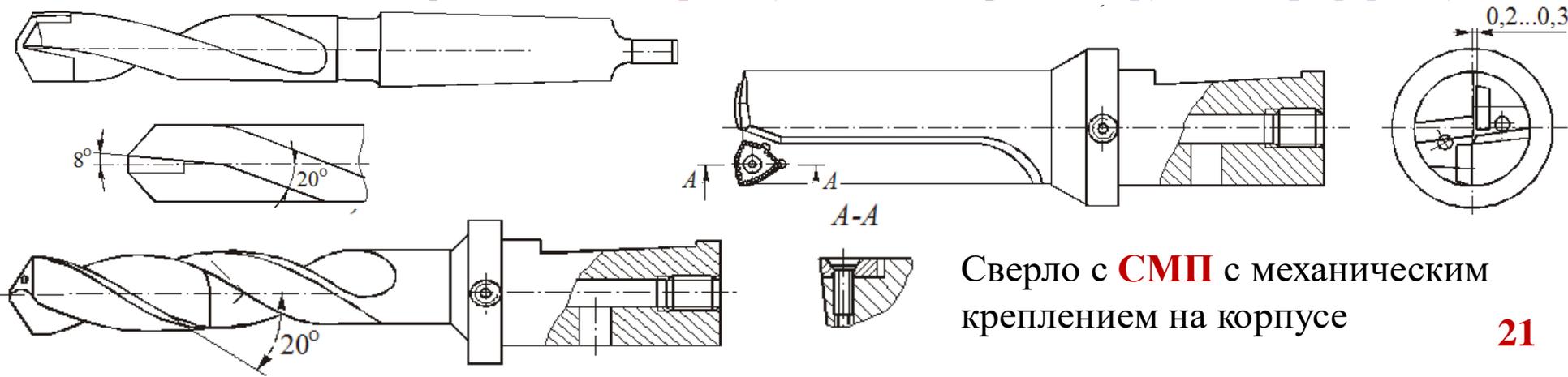
У всех концевых инструментов на торцах предусматривают **центровые отверстия**, необходимые для их **изготовления** и **переточки**. Они, как правило, имеют предохранительные выточки или фаски, так как при повреждении конической опорной поверхности центровых отверстий увеличивается биение режущих кромок. У инструментов **малых диаметров** вместо отверстий делают **прямые конусы**.

**Особенности конструкций твердосплавных сверл.** Удельный вес твердосплавных сверл в общем объеме их применения составляет не более 10%. Это объясняется неблагоприятными условиями работы твердых сплавов при сверлении: **нежестким (консольным) креплением сверл**; большими осевыми нагрузками; **переменной величиной скорости резания**, уменьшающейся до нуля на поперечной режущей кромке; **большой шириной срезаемой стружки**; опасностью появления **вибраций и пакетирования стружки** в канавках сверла; **малыми числами оборотов** и **недостаточными** мощностью, **жесткостью** и **точностью** сверлильных станков.

Более широкое распространение **твердосплавные сверла** получили при сверлении **чугунов, цветных металлов и неметаллических материалов** (мрамор, кирпич, пластмассы и т.п.). При сверлении сталей часто наблюдается **выкрашивание режущих кромок**, особенно в виде разрушения поперечной режущей кромки. **Повышение жесткости сверл** за счет максимально возможного **сокращения длины рабочей части** инструмента, хотя при этом приходится сокращать запас на переточку, использование **внутреннего напорного охлаждения** и другие усовершенствования позволяют получать хорошие результаты при сверлении **труднообрабатываемых** сталей и сплавов, т.е. там, где быстрорежущие сверла имеют очень низкую стойкость. Для оснащения сверл используют **твердые сплавы марок ВК8, ВК10М, ВК15М**, обладающие наибольшей прочностью. **Увеличивают диаметр сердцевины сверл** до  $d_0 = (0,25 \dots 0,35)d$  и выполняют **подточку поперечной режущей кромки**. **Мелкоразмерные** сверла ( $d=2 \dots 6$  мм) изготавливают **цельными** твердосплавными или составными, когда хвостовик изготавливается из стали, а **рабочая часть – из твердого сплава**. Сверла  $d=10 \dots 30$  мм оснащают **напайными пластинами** или **коронками** из твердого сплава. При этом **корпус сверла** изготавливается из стали **9ХС** или **Р6М5**. На корпусах таких сверл **направляющие ленточки** **обычно не делают**, так как при высоких скоростях резания, допускаемых твердым сплавом, они **быстро выходят из строя** и не выполняют роли направляющих сверла. **Обратная конусность** только на твердосплавной режущей части с созданием вспомогательных углов в плане  $\varphi_1 = 25 \dots 30'$ . **Диаметр корпуса сверла занижается** на  $0,2 \dots 0,3$  мм по сравнению с диаметром конца твердосплавной части.

### Твёрдосплавные сверла (продолжение)

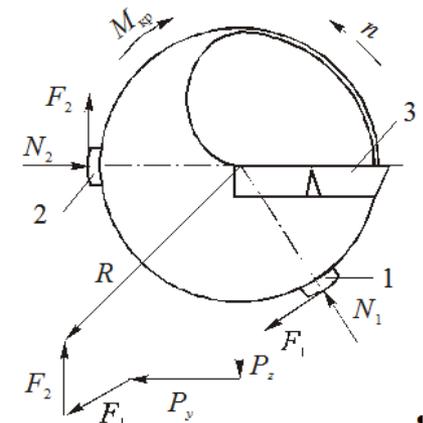
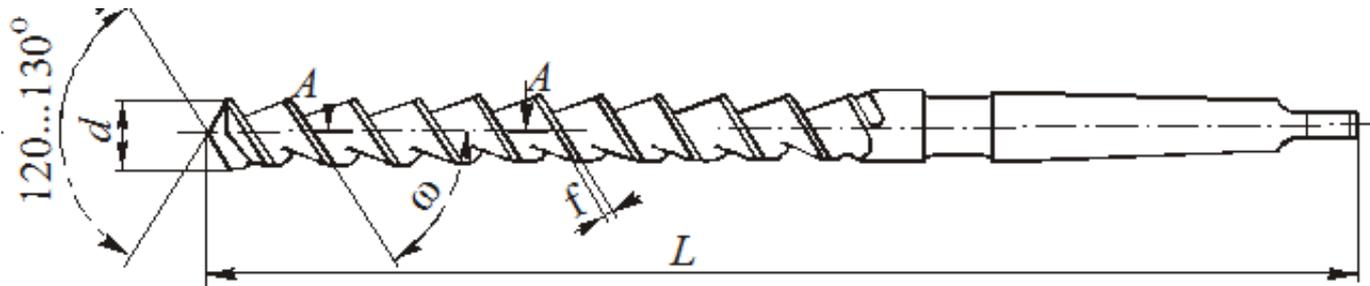
Угол при вершине  $2\varphi=120\dots140^\circ$ , угол наклона стружечных канавок  $\omega=0\dots20^\circ$ , заточка **двух-** или **трехплоскостная** с задним углом на главных режущих кромках  $\alpha=7\dots9^\circ$ . Передний угол  $\gamma = 8^\circ$ , а на **коронках с винтовыми канавками переменный**, как у быстрорежущих сверл, зависящий от угла  $\omega$ . **Хвостовик конический** или **чаще всего цилиндрический**, как более технологичный. Наибольшую надежность имеют **сверла с напайными твердосплавными коронками и каналами для внутреннего подвода СОЖ**. В этом случае длина коронок принимается равной  $(1\dots2)d$ , угол при вершине  $2\varphi = 140^\circ$ , угол наклона винтовых канавок  $\omega = 20^\circ$ , заточка двух- или трехплоскостная с подточкой поперечной режущей кромки, **хвостовик цилиндрический по h6** и **лыской для крепления винтом** в специальном патроне. Могут применяться сверла, оснащенные **неперетачиваемыми пластинами (СМП)** с механическим креплением на корпусе. Они используются для сверления отверстий глубиной и диаметром  $d = 20\dots60$  мм. В их корпусах выполнены **отверстия для подвода СОЖ** в зону резания. **Стружечные канавки чаще всего делают прямыми**, как более технологичные, для небольших диаметров стружечные канавки могут быть и винтовыми с углом наклона  $\omega = 20^\circ$ . **СМП позитивного** типа с  $\alpha > 0$  в форме параллелограмма, ромба, прямоугольника или неправильного треугольника с шестью режущими кромками и **центральным отверстием конической формы** для крепления винтом. **Пластины располагаются с обеих сторон относительно оси сверла** таким образом, что **делят припуск по ширине с перекрытием в средней части**. **Одна из пластин** обрабатывает **центральную часть** отверстия, а **другая – периферийную**.



Сверло с **СМП** с механическим креплением на корпусе

## Свёрла для глубоких отверстий

К **глубоким отверстиям** обычно относят отверстия, глубина которых превышает  $5d$ . Однако уже при  $h > 3d$  в случае сверления отверстий спиральными сверлами наблюдаются трудности с подводом СОЖ в зону резания и удалением стружки из отверстия, что приводит к снижению стойкости инструмента. Улучшить условия отвода стружки из отверстий при использовании спиральных сверл можно за счет **увеличения угла наклона канавок  $\omega$  до  $40...60^\circ$  (шнековые сверла)** и обеспечения **надежного дробления стружки**. В противном случае приходится периодически выводить сверло из отверстия для освобождения инструмента от стружки, что значительно снижает производительность, хотя при этом увод оси отверстия несколько уменьшается. Лучшие результаты дает использование внутреннего напорного подвода СОЖ в зону резания, которое обеспечивает **надежный отвод стружки из отверстия и отвод тепла из зоны резания**, благодаря чему повышается стойкость сверл. Причем эффективность СОЖ будет тем выше, чем выше скорость ее протекания через зону резания, которая определяется давлением и количеством (расходом) подаваемой жидкости.



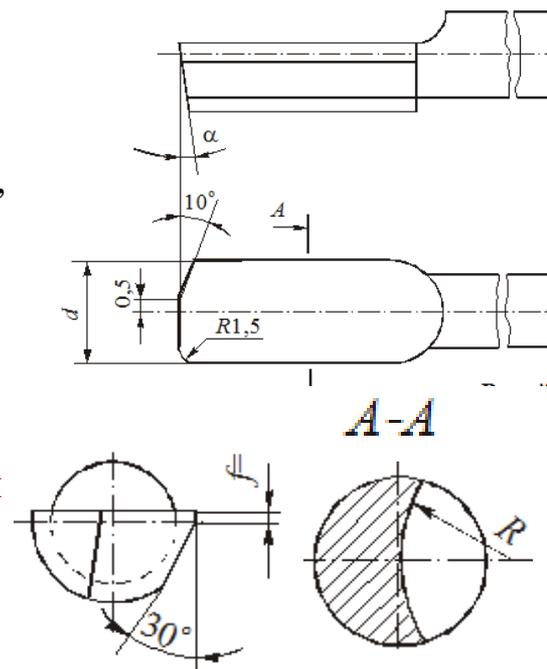
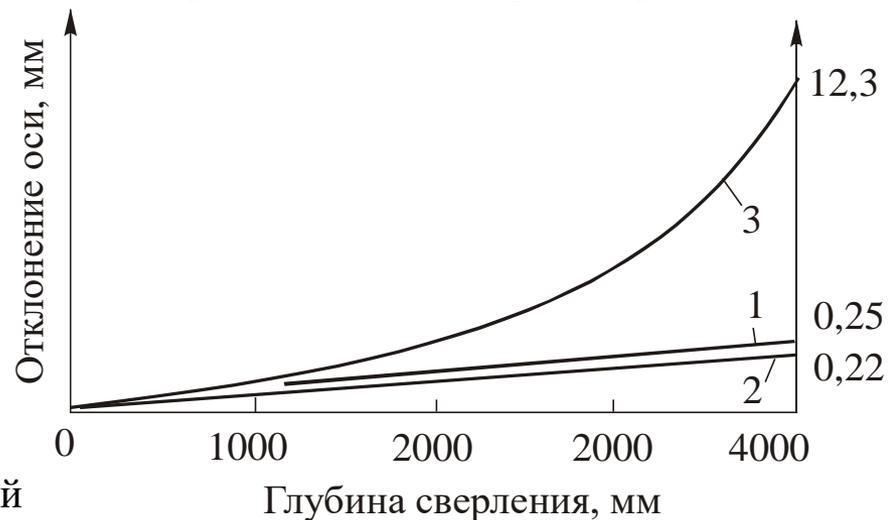
Чтобы свести до минимума увод и повысить точность отверстий используется способ **базирования** режущей части инструмента с опорой на обработанную поверхность. **Расположение** режущих кромок создаёт **неуравновешенную радиальную** составляющую силу резания, **прижимающую опорные направляющие корпуса к поверхности отверстия**, которые обработаны впереди идущими режущими кромками (рисунок справа). При этом **засверливание** должно производиться **через кондукторную втулку** или по предварительно подготовленному в заготовке отверстию глубиной  $(0,5...1,0)d$ .

Был исследован увод оси сверла для трех схем сверления: 1) заготовка **вращается**, а сверло совершает движение подачи; 2) **заготовка и сверло вращаются в противоположных направлениях**; 3) заготовка неподвижна, **вращается сверло**.

**Наилучшим** является **второй вариант**, но к нему близок и **первый**. Худшие результаты дает третья схема, которая применяется в случаях сверления несимметричных заготовок с большой массой (например, корпусные детали).

Исторически **первой** и **наиболее простой** конструкцией сверла глубокого сверления являются **пушечные сверла**, стержень **большой** длины, **равной** глубине обрабатываемого отверстия, **срезанный в рабочей части** примерно **до половины диаметра** и заточенный **с торца с задним углом  $\alpha$** . Во избежание заедания сверла в отверстии **передняя поверхность** расположена **выше оси инструмента** на величину 0,2...0,5 мм. Сверло имеет **одну главную режущую кромку, перпендикулярную** к оси. С **другой** стороны **от оси сверла по торцу** делают срез под углом  $10^\circ$ , отступив от оси на расстояние 0,5 мм. Со стороны вспомогательной режущей кромки на наружной поверхности срезают лыску под углом  $30^\circ$  с оставлением цилиндрической ленточки шириной  $f = 0,5$  мм. У пушечного сверла передний угол  $\gamma = 0^\circ$ , а задний  $\alpha = 8...10^\circ$ . Для **снижения осевой** составляющей силы резания **передняя поверхность** пушечного сверла выполняется **по радиусу  $R$**  с очень **небольшим занижением** около оси инструмента. В процессе сверления **радиальная односторонне направленная нагрузка** воспринимается цилиндрической поверхностью сверла, **опирающейся на стенку обработанного отверстия**.

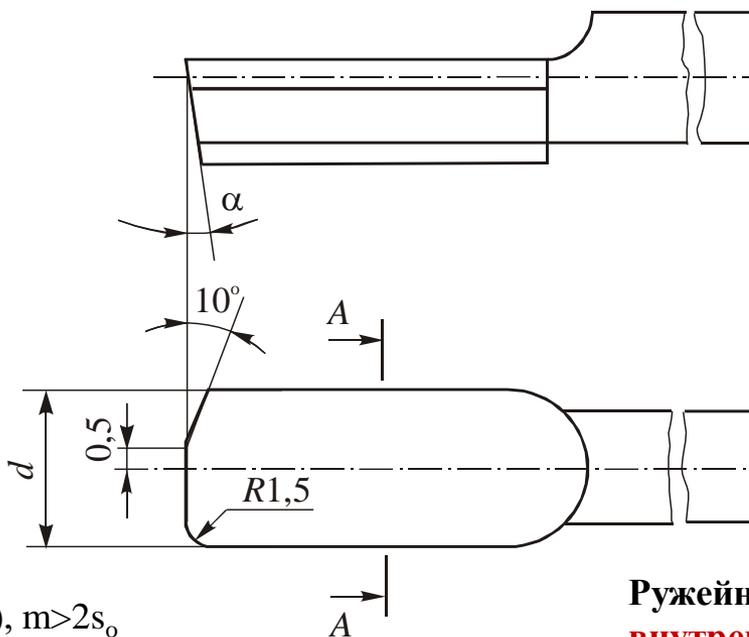
Свёрла для глубоких отверстий (продолжение)



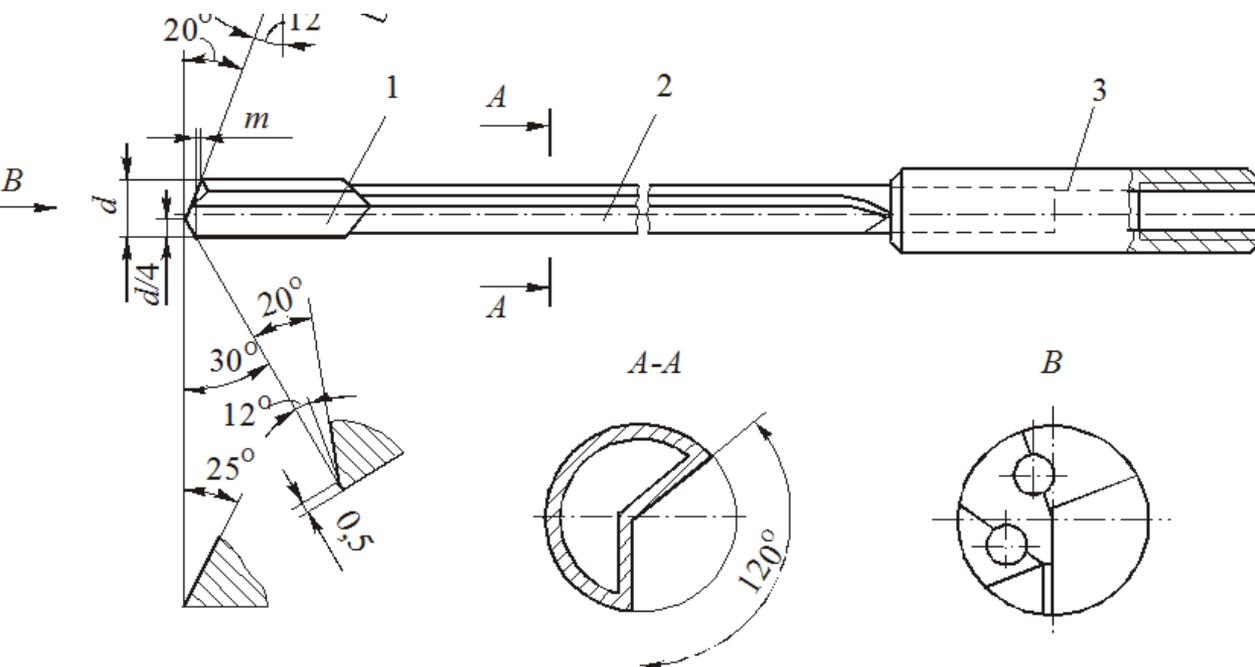
**Свёрла для глубоких отверстий**  
(продолжение)

**а – пушечное сверло**

( $d = 3 \dots 36$  мм); не обеспечивается непрерывный отвод стружки, приходится сверло периодически выводить из отверстия. Из-за низкой поперечной жесткости и большой ширины срезаемого слоя оно склонно к вибрациям, работает с малыми подачами, применяется в единичном и мелкосерийном производстве.



**б – ружейное сверло** ( $d = 1 \dots 30$  мм),  $m > 2s_0$ ,  
с трубчатым стеблем из стали 30ХМА;  $d \leq 2$  мм – цельные твердосплавные;



**Ружейные сверла** имеют **внутренний канал** для подвода СОЖ и прямую (иногда винтовую) канавку для наружного отвода пульпы (смесь стружки и СОЖ). Они применяются для сверления отверстий глубиной  $(5 \dots 100)d$  и диаметром  $1 \dots 30$  мм, **минимальный увод оси** при **высокой точности** ( $H8 \dots H9$ ) и **низкой шероховатости** ( $Ra 0,32 \dots 1,25$  мкм); **СОЖ на масляной основе** с **противозадирными присадками** (S, Cl, P)

Свёрла для глубоких отверстий (продолжение)

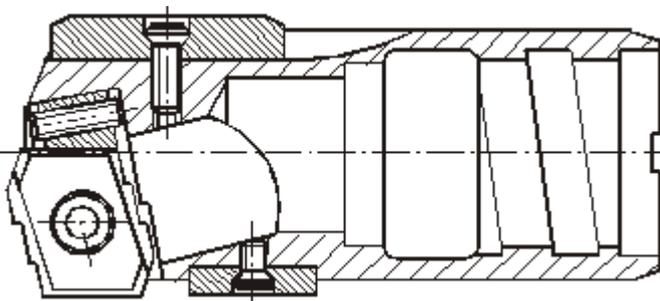
Технические **требования** к изготовлению ружейных сверл весьма **жесткие**. Рабочая часть шлифуется с допуском по  $h5$  или  $h6$ , а **хвостовик** – по  $h6$ . **Радиальное биение** наконечника относительно хвостовика не более **0,01...0,02** мм. При настройке операции необходимо **обеспечить соосность** шпинделя и сверла в пределах 0,01 мм, а соосность кондукторной втулки и шпинделя станка – в пределах 0,005 мм. Давление и расход **СОЖ на масляной основе** с противозадирными присадками (S, Cl, P) зависят от диаметра сверла. При малых диаметрах сверл **давление СОЖ** достигает **9...10 МПа**. Применение эмульсий на водной основе приводит к **затиранию направляющих** и возникновению **вибраций**.

**Недостаток** ружейных сверл – **малая** поперечная и крутильная **жесткость** из-за ослабленного канавкой стебля, необходимо снижать подачу, а следовательно, и производительность процесса сверления.

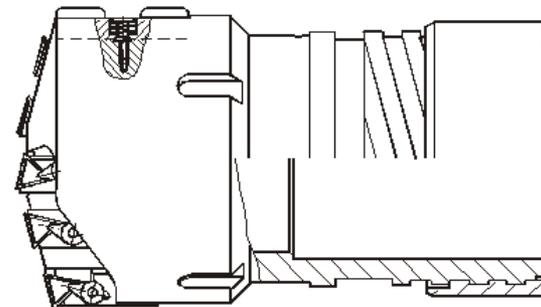
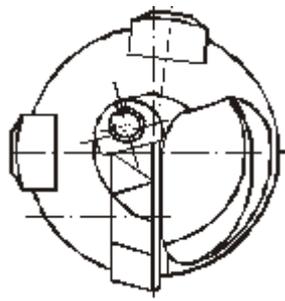
**Сверла и сверлильные головки БТА** (Bohring and Trepanning Association) при малых диаметрах сверления ( $d \leq 18$  мм) **твердосплавные** режущие и направляющие **пластины** **напаиваются** на трубчатый стебель, а при **больших диаметрах** ( $d > 18$  мм) – на **головки**, навинчиваемые на стебель.



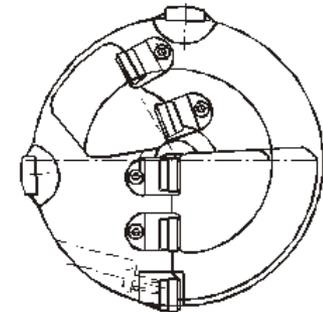
$d = 6...18$  мм



$d = 18...65$  мм



$d > 65$  мм



Свёрла для глубоких отверстий (продолжение)

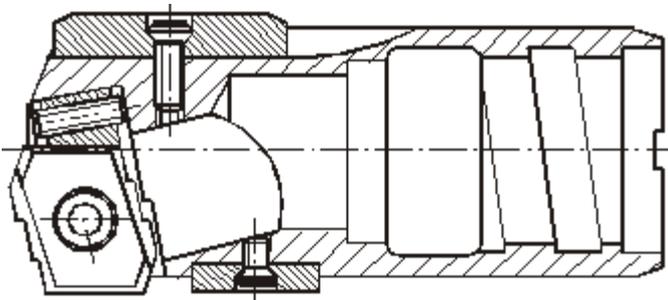
Сверла **БТА** имеют толстостенный стебель кольцевого сечения и работают с наружной подачей СОЖ между стенками стебля и обработанного отверстия и с внутренним отводом СОЖ и стружки через отверстия в головке и стебле. Подача СОЖ через специальные маслоприемники, которые устанавливаются на **специальных станках** для обработки глубоких отверстий, обеспечивающих торцевое уплотнение между заготовкой и кондукторной втулкой.

Достоинства сверл БТА состоят в том, что благодаря высокой жесткости трубчатого стебля подача увеличивается в 2...4 раза, а **стружка**, удаляемая из зоны резания по **внутреннему каналу**, не портит обработанную поверхность.

Глубина сверления отверстий сверлами БТА при горизонтальном положении заготовки достигает  $100d$ , а при вертикальном –  $50d$ .

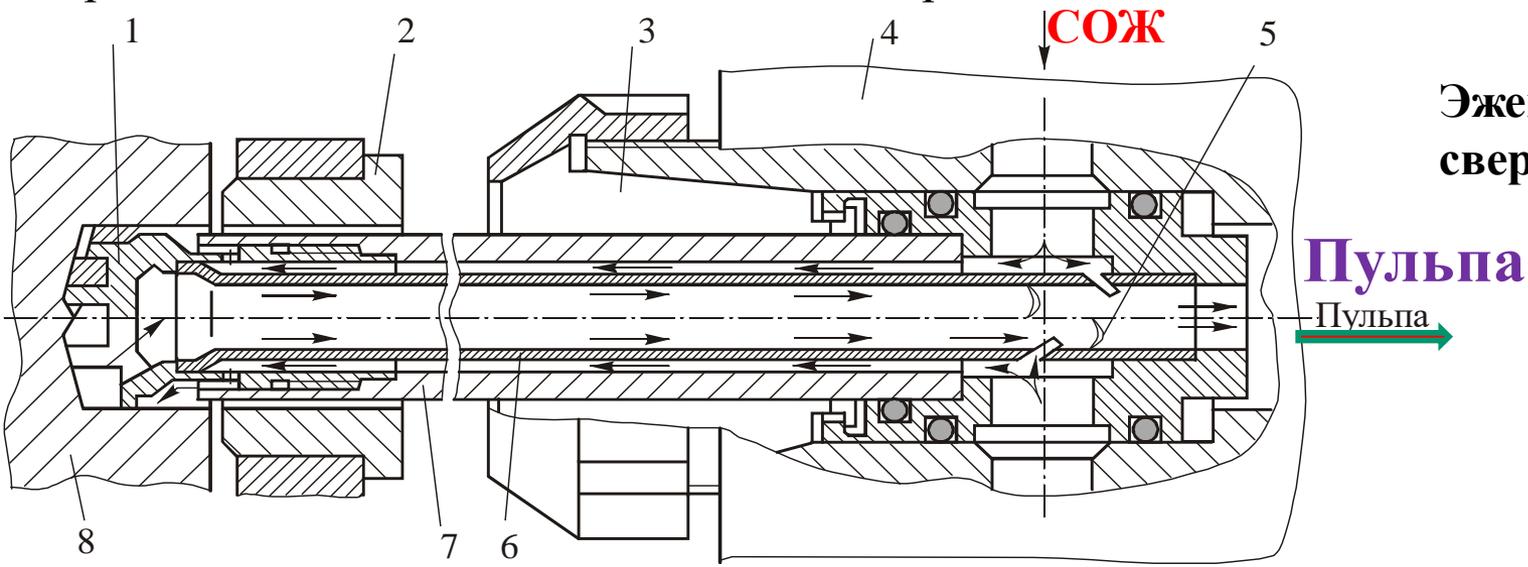
**Недостатки** сверл БТА: 1) **сложность** и высокая стоимость головки; 2) **трудности** с надежным **удалением стружки** через относительно небольшое по сечению входное отверстие в режущей части, при закупоривании которого процесс сверления становится невозможным.

Для дробления стружки на **напайных** твердосплавных пластинах **затачиваются стружкодробящие уступы**, а на **СМП** – **сферические мелкие лунки**, получаемые в процессе изготовления пластин.



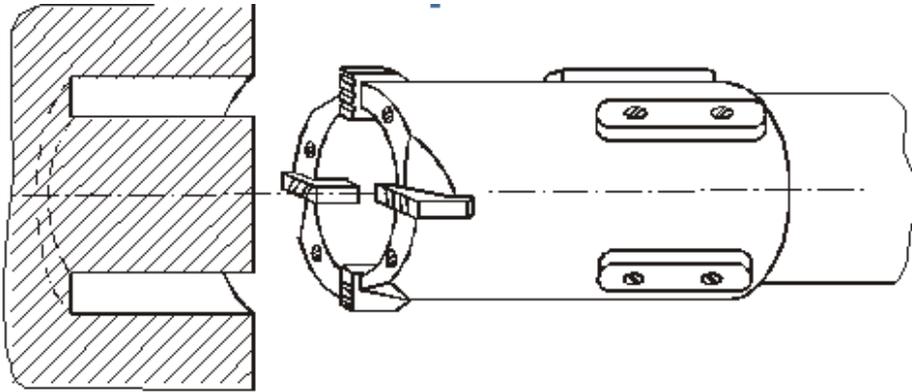
Головка **БТА**

**Эжекторные сверла** подобны головкам БТА. Отличия в способах подвода СОЖ и отвода пульпы (смесь стружки и СОЖ), суть которых состоит в том, что подвод осуществляется между стенками стебля 7 и тонкостенной трубы 6, вставленной внутри стебля, и далее через отверстия в корпусе головки в зону резания. В хвостовой части тонкостенной трубы прорезаны С-образные пазы, исполняющие роль сопла 5 эжектора, **отсасывающего** пульпу **через внутреннюю полость этой трубы. СОЖ** делится на два потока: **рабочий, идущий в зону резания**, и **вспомогательный, идущий на слив** и составляющий примерно  $1/3$  от общего количества СОЖ. Именно этот вспомогательный поток и **создает разрежение** во внутренней трубе. Под действием атмосферного давления **рабочий поток**, пройдя через зону резания, **вместе со стружкой всасывается** в зону пониженного давления и **уходит на слив**. Поэтому **эжекторные сверла** могут использоваться на **универсальных станках**, не требуются **специальные маслоприемники**, а подача и отвод СОЖ осуществляются с помощью **специальных патронов 4** на шпинделе сверлильного станка или **задней бабке** токарного станка.



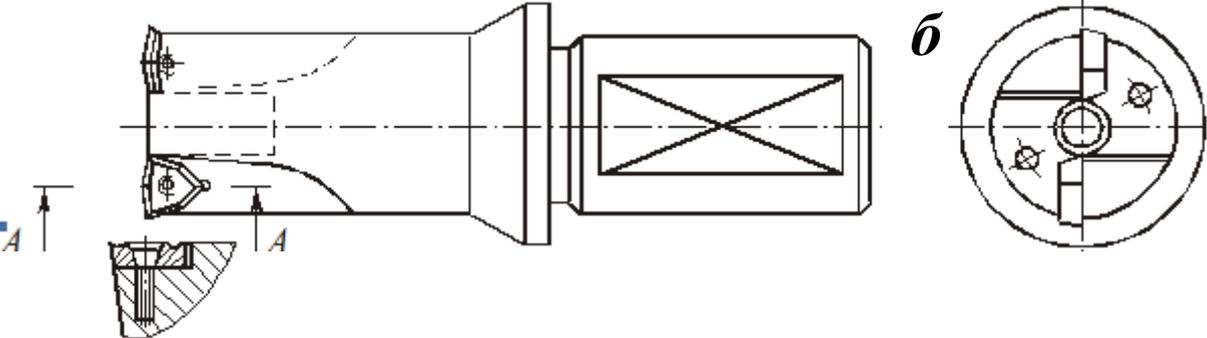
Эжекторное сверло

# Кольцевые сверла – для обработки сквозных отверстий диаметром свыше 50 мм

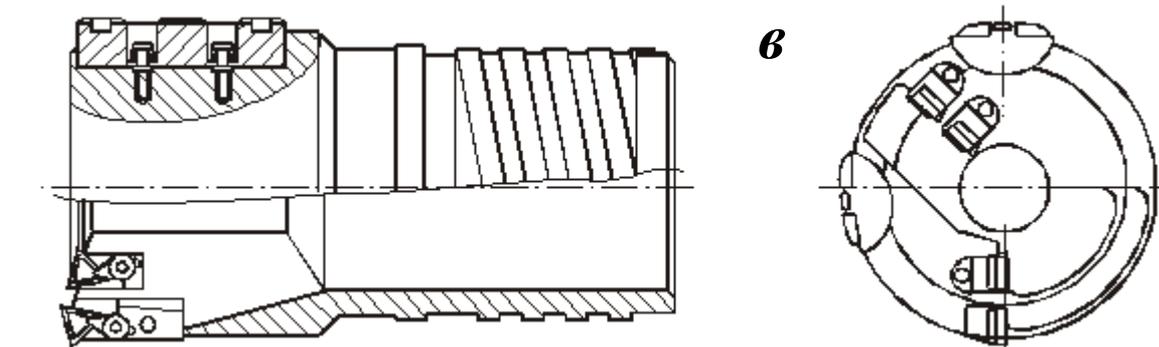
**a**

Кольцевые сверла:

*a* – с механическим креплением режущих и направляющих пластин;

**б**

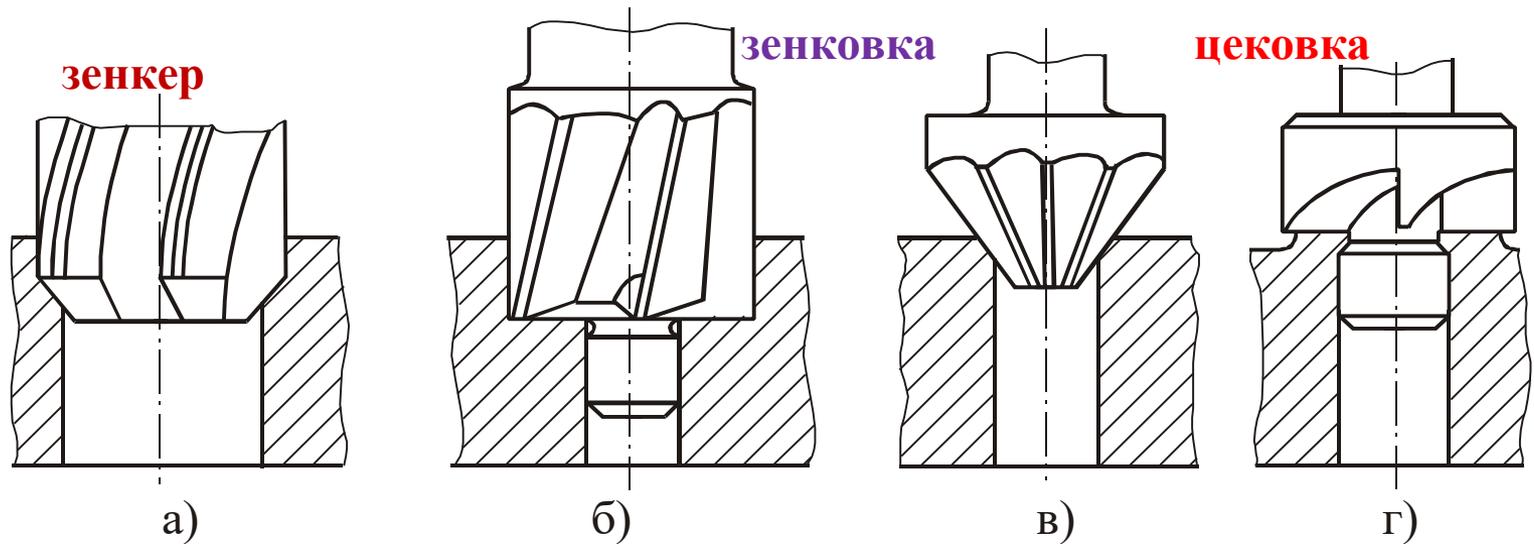
*б* – для **неглубоких** отверстий, оснащенные **СМП**;

**в**

*в* – оснащенные СМП головки **одностороннего** резания с **внутренним отводом стружки** для сверления **глубоких** отверстий

При сверлении глубоких отверстий диаметром **более 120 мм** и глубиной  $100d$  применяют **внутренний отвод стружки** через **отверстия в корпусе** головки и **стебле кольцевого сверла**. Для крепления пластин в сверлах больших диаметров используют промежуточные вставки. Такие сверла, кроме режущих пластин, имеют также опорные твердосплавные направляющие пластины

**Зенкеры** – это осевые многолезвийные режущие инструменты, которые применяются для промежуточной или окончательной **обработки отверстий**, предварительно полученных сверлением, литьем, ковкой или штамповкой, с **целью повышения их точности** по диаметру до  $IT11 \dots IT9$ , по форме поверхности (уменьшению отклонения от **круглости и цилиндричности**), расположению поверхности (уменьшению отклонения от **соосности и параллельности**) и уменьшения шероховатости обработанной поверхности до  $Ra 6,3 \dots 2,5$  мкм. Зенкеры, являясь **мерными инструментами**, не требуют настройки на размер, что обеспечивает сокращение вспомогательного времени и повышает точность отверстий. Для повышения точности они снимают меньшие припуски ( $t = 1,5 \dots 4,0$  мм при  $d = 18 \dots 80$  мм), имеют большее число режущих кромок ( $z = 3 \dots 4$ ) и направляющих ленточек. Из-за малой глубины стружечных канавок они имеют большую, чем сверла, жесткость, а отсутствие поперечной кромки позволяет вести обработку с **более высокими подачами (в 2-3 раза)**.



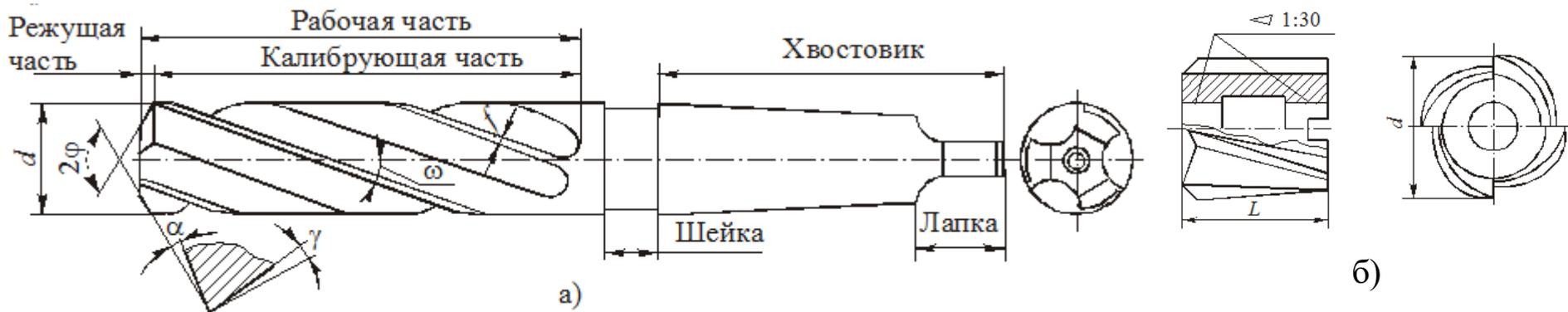
Типы зенкеров: *a* – цилиндрический зенкер; *б, в* – зенковки;

*г* – цековки

Зенкеры классифицируются:

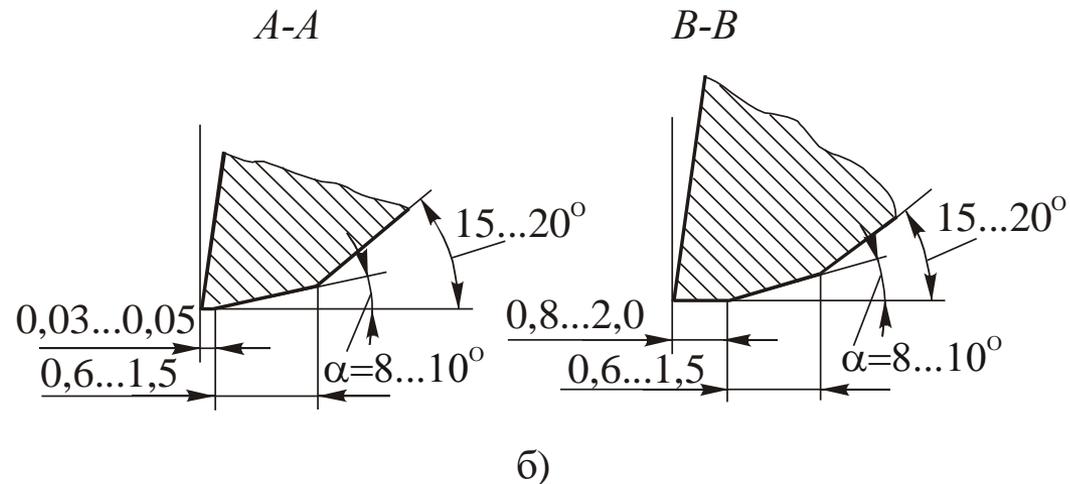
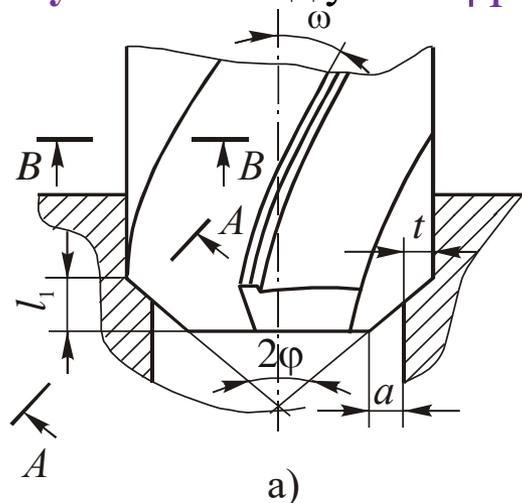
- а) по **виду обработки** – цилиндрические **зенкеры** (применяются для увеличения диаметра отверстий), **зенковки** (применяются для обработки цилиндрических или конических углублений под головки болтов, винтов, а также для снятия фасок, цековки – для подрезки торцов бобышек и приливов на корпусных деталях);
- б) по **способу крепления зенкера** – хвостовые (с цилиндрическим и коническим хвостовиками ( $d = 10 \dots 40$  мм,  $z = 3$ )) и насадные ( $d = 32 \dots 80$  мм,  $z = 4$ );
- в) по **конструкции зенкера** – цельные, сборные (со вставными ножами,  $d = 40 \dots 120$  мм) и регулируемые по диаметру;
- г) по **виду режущего материала** – быстрорежущие и твердосплавные.

К **основным конструктивным элементам зенкеров** относятся: режущая часть (заборный конус), калибрующая часть, число канавок (зубьев), форма канавок, крепежная часть. К **геометрическим параметрам** относятся: угол при вершине  $2\varphi$ , передние  $\gamma$  и задние  $\alpha$  углы, углы наклона канавок  $\omega$  и главных режущих кромок  $\lambda$ .



Цилиндрические **зенкеры**: *а* – **хвостовой**; *б* – **насадной**

**Режущая часть** зенкера предназначена для удаления припуска. При обработке **сталей** угол  $\varphi = 60^\circ$ . С целью повышения стойкости зенкеров рекомендуется **дополнительная заточка по уголкам** под углом  $\varphi_1 = 30^\circ$ . При обработке **чугунов** угол  $\varphi = 60^\circ$  или  $45^\circ$ .



**Режущая часть** зенкера: **a** – **элементы режущей** части; **б** – формы заточки зубьев зенкера

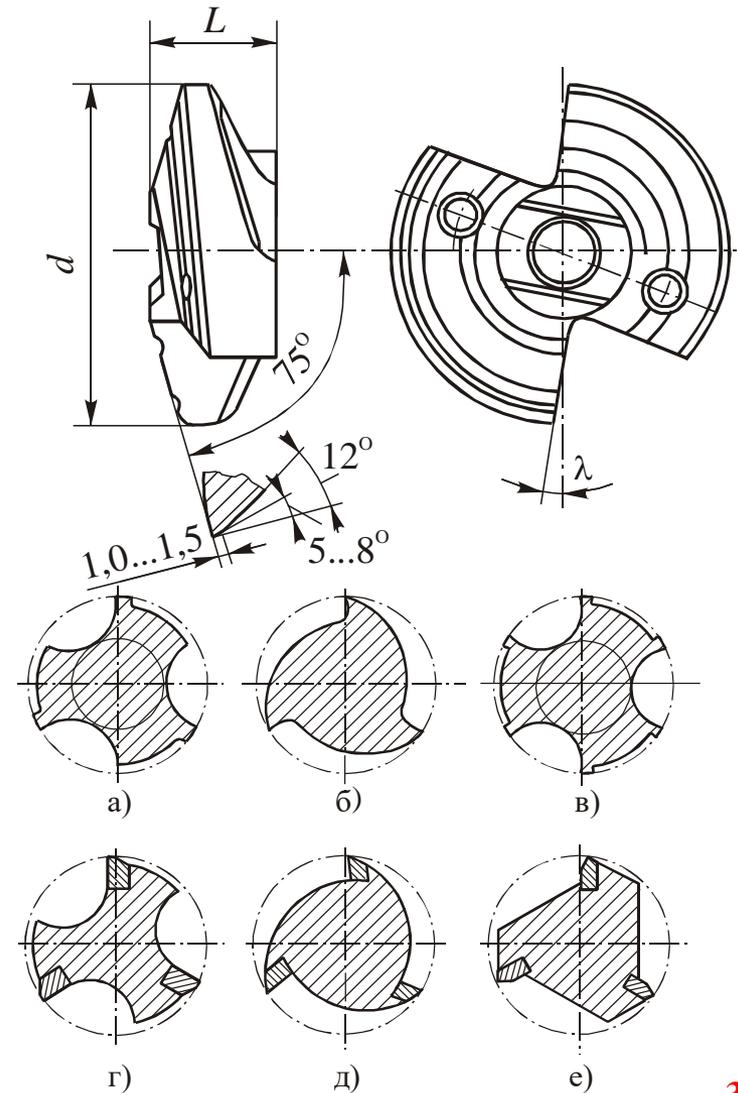
**Калибрующая часть** зенкера обеспечивает необходимую точность размера отверстия, направляет зенкер в процессе обработки отверстия и служит запасом на его переточку. На ней расположены **цилиндрические ленточки** шириной  $f = 0,8 \dots 2,0$  мм для  $d = 10 \dots 80$  мм. Радиальное биение ленточек не более  $0,04 \dots 0,06$  мм, обратная конусность  $0,04 \dots 0,10$  мм на 100 мм (у твердосплавных зенкеров уменьшение диаметра **0,05...0,08** мм на длине **режущей пластины**), а диаметр корпуса инструмента занижается на  $0,01 \dots 0,02$  мм.



Цилиндрический хвостовой зенкер с коническим хвостовиком

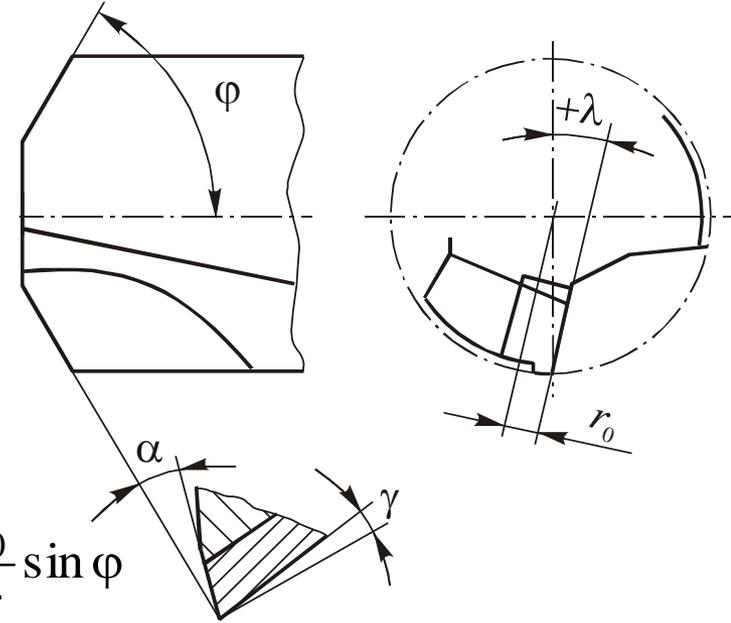
Увеличение **ширины ленточек** твердосплавных зенкеров **нецелесообразно**, так как оно сопровождается **налипанием на них мелкой стружки** и приводит к снижению стойкости инструмента. При **увеличении обратной конусности** наблюдаются **вибрации** и происходит быстрая **потеря размера** зенкера при **его переточке**.

В **тяжелом** машиностроении для снятия **больших припусков** и при **невысоких требованиях к качеству** отверстия применяют **двузубые зенкеры** (зенкеры-улитки), насаживаемые на оправки. Они имеют короткие и большие по объему канавки и служат для обработки отверстий диаметром до 300 мм. Зенкеры изготавливают с **тремя** (хвостовые) или **четырьмя** (насадные) **канавками**. Применяются также насадные зенкеры **крупных размеров** ( $d > 58$  мм) с **шестью** и **более канавками**. Канавки зенкеров обычно **винтовые** ( $\omega = 20^\circ$ ), но могут быть и **прямыми**, например у твердосплавных зенкеров для обработки сталей и чугунов высокой твердости. У сборных зенкеров со **вставными ножами**, в том числе с **напайными твердосплавными пластинами**, канавки **косые**, наклонные к оси. **Криволинейная форма канавок** (а, в, г) упрощает изготовление зенкеров и сокращает число операций, но требует специальных фасонных фрез и **уменьшает жёсткость**.



При проектировании новых зенкеров рекомендуются следующие значения **передних** углов: при обработке **сталей**  $\gamma_N=8...12^\circ$ , чугунов  $\gamma_N=6...10^\circ$ , цветных металлов  $\gamma_N=25...30^\circ$ , твердых сталей и чугунов  $\gamma_N=0...5^\circ$ .

Для повышения прочности режущих кромок у зенкеров с напайными твердосплавными пластинами создают **положительный угол наклона главной режущей кромки**  $\lambda$ , предохраняющий от выкрашивания место стыка главных режущих и вспомогательных кромок. Рекомендуется брать угол  $\lambda=+12...+15^\circ$ . При этом сход стружки происходит в направлении к хвостовику, а режущая кромка имеет превышение  $r_0$  над осевой плоскостью, отсюда  $\sin \lambda = \frac{r_0}{r} \sin \varphi$

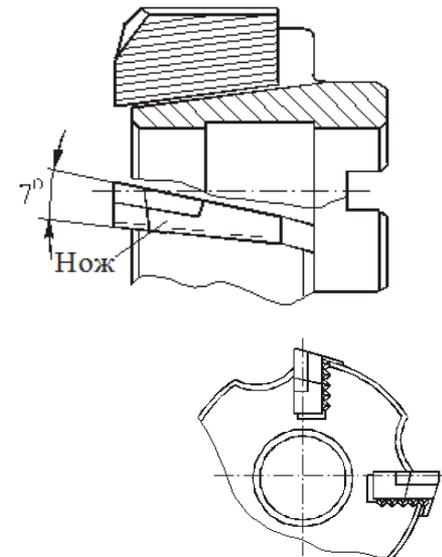
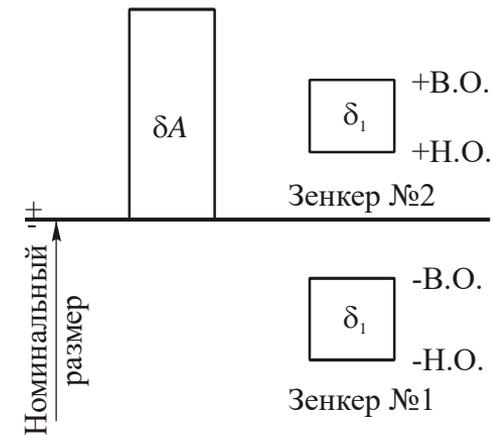


**Задний угол**  $\alpha$  у зенкеров, как и у спиральных сверл, создается **заточкой по плоскости, по конической или винтовой поверхностям**. Для контроля осевого биения режущих кромок **на режущей** части при заточке или доводке на задней поверхности **около режущей кромки** необходимо оставлять узкую **ленточку** шириной  $0,03...0,05$  мм с нулевым задним углом ( $\alpha=0^\circ$ ). При этом величина **биения режущей кромки** должна быть не более  $0,05...0,06$  мм. Заточка узкой ленточки крайне необходима, так как биение режущих кромок оказывает большое влияние на нормальную работу зенкеров и особенно зенкеров, оснащенных твердым сплавом.

**Допуск на диаметр** зенкеров устанавливается в зависимости от назначения зенкера и допуска на обработанное отверстие. По назначению, величине и расположению допуска на диаметр отверстия различают: **зенкер № 1** – для обработки отверстий **под развертывание** и **зенкер № 2** – для **окончательной обработки** отверстий. У зенкера **№2** поле допуска на диаметр зенкера перекрывается полем допуска на отверстие ( $\delta A$ ), т.е. оба отклонения имеют знаки «+». При этом поле допуска на изготовление зенкера  $\delta_1 \approx 0,25\delta A$ , а верхнее отклонение (**+В.О.**) берется с учетом возможной разбивки отверстия **В.О.=+(0,3...0,4)\delta A**.

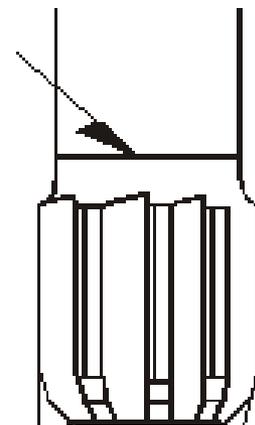
**Сборные зенкеры** оснащают ножами, закрепляемыми в корпусе из конструкционной стали, который обычно крепится на оправке отверстием с конусностью **1:30** и торцевой шпонкой. Режущие ножи зенкеров изготавливают из быстрорежущей стали Р6М5 или с напайными пластинами из твердых сплавов марок ВК8, Т15К6 и др. Корпус зенкера снабжен **клиновидными пазами** с углом  $5...7^\circ$ , в которые устанавливаются ножи с рифлениями на их опорных поверхностях.

После износа зенкера возможно **регулирование** его диаметра за счет перестановки пластин по рифлениям. Недостатком такой конструкции является **невозможность регулирования вылета пластин вдоль оси зенкера**. Чтобы исправить этот недостаток, зенкеры **с опорной стороны** дополнительно **снабжают клиньями**. При этом ножи и клинья вставляются в плоские пазы, благодаря чему оказывается возможным **двойное регулирование**: по **диаметру** и **вдоль оси**. Однако конструкция такого зенкера несколько усложняется.



**Развертки** – это осевые многолезвийные режущие инструменты, применяемые для чистовой обработки отверстий. **Точность отверстий** после развертывания составляет  **$IT8...IT6$** , а шероховатость поверхности –  **$Ra1,25...0,32$  мкм**. При этом наилучшие результаты достигаются в случае **двухкратного** развертывания, когда первая развертка снимает  $2/3$  припуска, а вторая – оставшуюся  $1/3$ . Такие же показатели можно получить и при шлифовании, однако после развертывания качество обработанной поверхности выше, так как на шлифованной поверхности остаются частицы абразива, которые приводят к ускоренному износу сопрягаемых деталей.

В отличие от зенкеров, развертки имеют **большее число зубьев** ( $z = 6...14$ ) и, как следствие, лучшее направление в отверстиях. Они снимают значительно **меньший припуск** ( $t = 0,15...0,50$  мм), чем при зенкерообразовании. С целью достижения минимальной шероховатости поверхности развертки при обработке сталей работают на **низких** скоростях резания ( $v = 4...12$  м/мин), т.е. **до области появления нароста**.



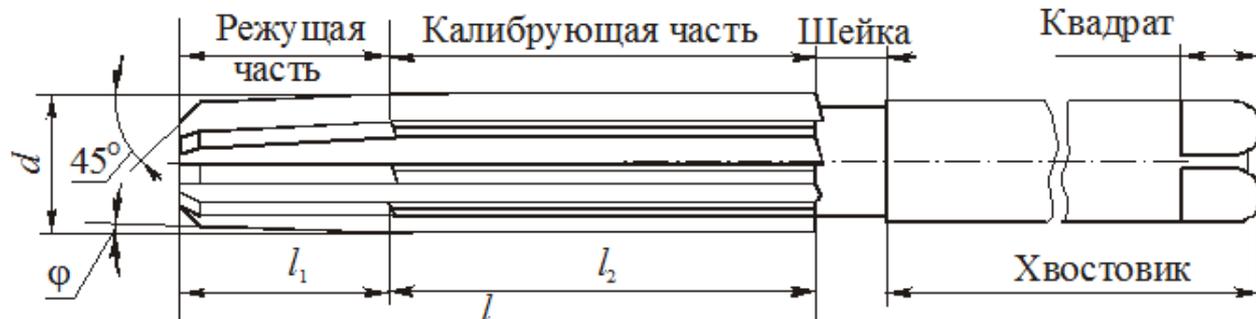
Тем не менее благодаря большому числу зубьев **производительность** при развертывании достаточно **высока**, так как **машинное время**  $t_m$  уменьшается **за счет увеличения числа зубьев**:  $t_m = L_o / s_z \cdot z \cdot n$ , где  $L_o$  – длина обрабатываемого отверстия, мм;  $s_z$  – подача на зуб, мм;  $z$  – число зубьев;  $n$  – частота вращения развертки (заготовки), мин<sup>-1</sup>. Для получения высокой точности отверстий развертки изготавливают с **более жесткими допусками**, чем зенкеры, а **отверстия под развертывание** получают сверлением, зенкерованием или растачиванием. **Развертывание непосредственно после сверления** используют только **при обработке отверстий небольших диаметров (менее 6 мм)**. **Малый диаметр отверстия**, а значит и малая жесткость, **не позволяют зенкеру на предыдущей обработке улучшить расположение оси отверстия после зенкерования**.

Развертки классифицируют по следующим признакам:

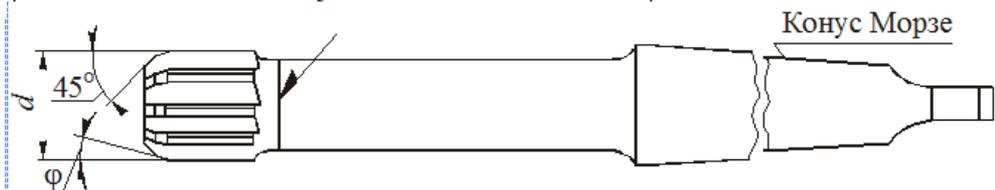
- а) **вид привода** – ручные и машинные; б) **способ крепления** – хвостовые и насадные;
- в) **вид обрабатываемого отверстия** – цилиндрические и конические;
- г) **вид режущего материала** – быстрорежущие, твердосплавные и алмазные;
- д) **конструкция** – цельные и сборные (со вставными ножами).

Ручными развертками обрабатывают отверстия путем вращения инструмента вручную воротком, в который вставляется квадрат цилиндрического хвостовика. Эти развертки ( $d=3\dots 40$  мм) изготавливают из инструментальной стали марки **9ХС**. Для лучшего направления развертки в отверстия у нее затачивают **большой длины заборный конус** и **калибрующую часть**. В остальном конструкция ручных разверток не отличается от машинных. **Рабочая часть** цилиндрических разверток состоит из **режущей** и **калибрующей** частей. На левом торце снимается **фаска** под углом  $\varphi = 45^\circ$  для облегчения вхождения инструмента в отверстие и предохраняет **режущие** кромки от повреждения. Далее следует **заборный конус** с углом в плане  $\varphi$  с зубьями, которые снимают припуск на обработку. **Фаска** и **заборный конус** составляют **режущую часть** развертки.

а – ручная развёртка;



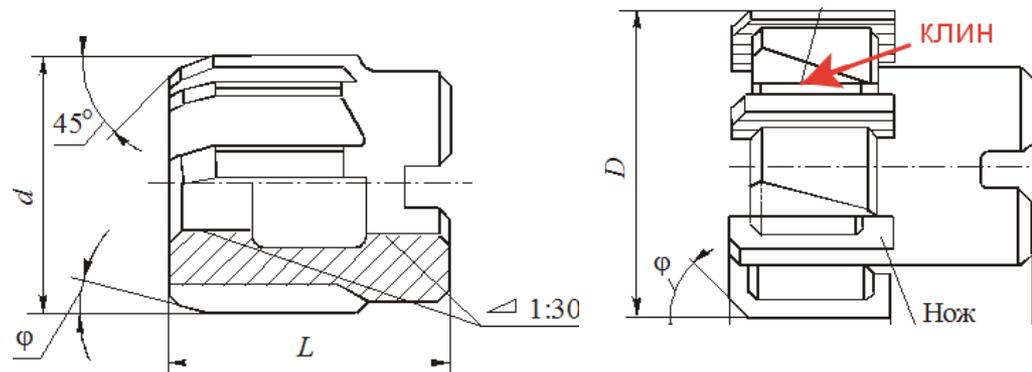
б – машинная развёртка;



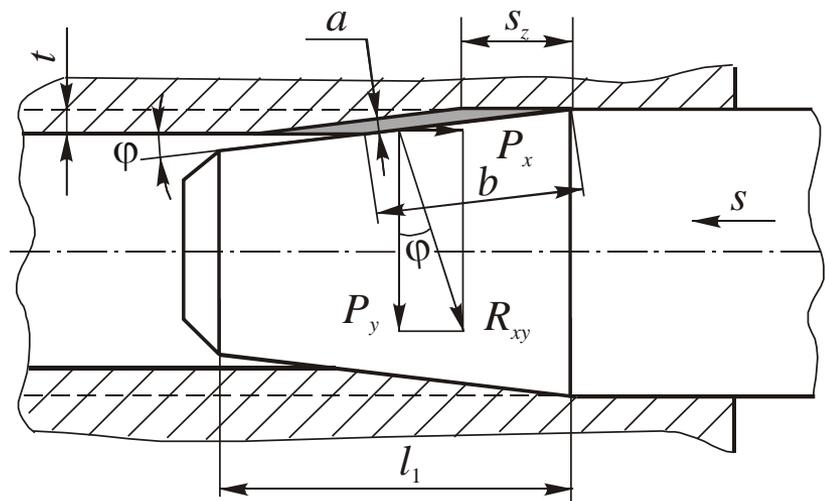
**Угол в плане  $\varphi$**  заборного конуса оказывает большое влияние на условия работы развертки, так как он определяет соотношение между шириной  $b$  и толщиной  $t$  слоя, срезаемого каждым зубом:  $b=t/\sin\varphi$ ,  $a=s_z \cdot \sin\varphi$ . С **уменьшением** угла  $\varphi$  сила подачи  $P_x$  **уменьшается** и обеспечиваются плавный вход и выход развертки из отверстия. По этим причинам у **ручных** разверток угол  $\varphi=1...2^\circ$ . У **машинных** разверток при обработке сталей  $\varphi=12...15^\circ$ , чугуна  $\varphi=3...5^\circ$ , а при обработке **глухих отверстий  $\varphi = 45^\circ$** .

Длина **заборного конуса** развертки  $l_1 \approx 1,3 \cdot t \cdot \text{ctg}\varphi$ .

**Калибрующая** часть до половины её длины  $l_2$  цилиндрическая, а на **остальной части** имеет **небольшую обратную конусность** (0,01-0,06/100 мм) для уменьшения разбивки отверстия при выходе из него развёртки.



$v$  – развертка насадная;  $v$  – развертка сборная



Радиальная  $P_y$  и осевая  $P_x$  составляющие силы резания и параметры сечения срезаемого слоя

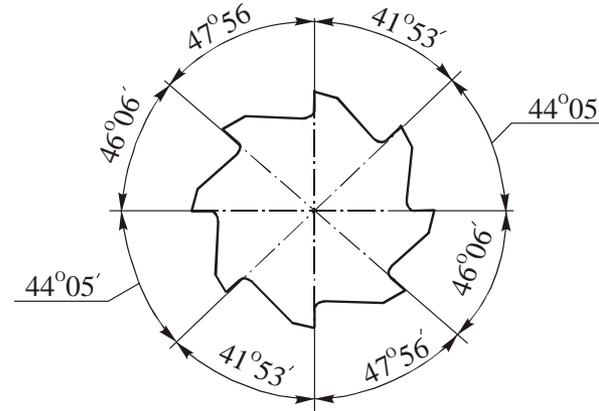


Если длина калибрующей части мала (особенно у машинных развёрток), то **обратную конусность** иногда делают сразу за заборным конусом, не оставляя цилиндрического участка. Общая длина рабочей части разверток равна: у ручных разверток  $l=(4...10) \cdot d$ , у машинных  $l=(0,75...2) \cdot d$ .

**Радиальное биение** зубьев разверток относительно их оси не более **0,01...0,02 мм** и замеряется в начале калибрующей части.

**Число зубьев** разверток выбирается в зависимости от диаметра  $d$  инструмента (обычно 6-10) и должно быть **чётным** для облегчения измерения диаметра. У сборных разверток число зубьев уменьшается.

Для **снижения огранки** и шероховатости поверхности обработанного отверстия **шаг зубьев** по наружной окружности развертки **переменный**. Для удобства измерения диаметра **накрест** расположенные углы **берут равными**, чтобы режущие кромки противоположных зубьев лежали в **диаметральной плоскости**.



**Стружечные канавки** у разверток чаще всего **прямые**. Зубья изготавливают с **передним углом**  $\gamma = 0^\circ$ . При обработке **вязких материалов** во избежание налипов стружки и вырывов на обработанной поверхности зубья затачивают с положительными углами  $\gamma = 5...10^\circ$ .

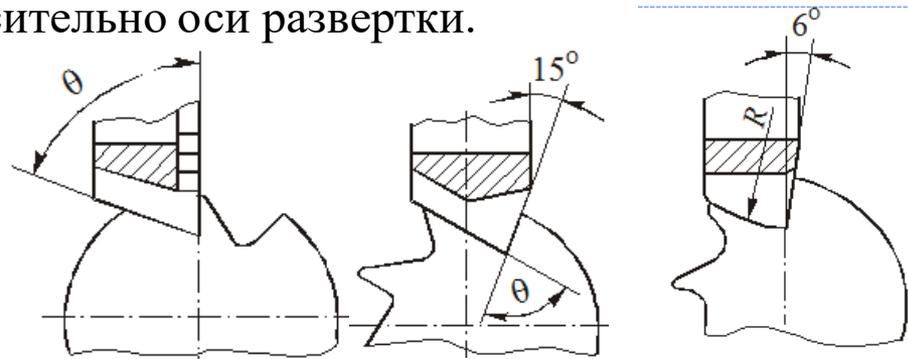
**Задний угол**, равный  $\alpha = 5...12^\circ$ , получают заточкой задних поверхностей развертки по плоскости. Причем, в отличие от других видов инструментов, меньшее значение этого угла рекомендуется брать при чистовой обработке, а большее – при черновой.

Зубья на заборном конусе затачивают до остра, а на калибрующей части у них оставляют узкие цилиндрические направляющие ленточки шириной  $0,08 \dots 0,40$  мм для  $d = 3 \dots 50$  мм. Их тщательно **доводят**, благодаря чему обеспечивается **выглаживание** микронеровностей обработанной поверхности и предотвращается налипание мелкой стружки, ухудшающей шероховатость поверхности отверстий и снижающей стойкость разверток.

**Профиль канавок** между зубьями разверток формируется одно- или двухугловыми фрезами с углом  $\theta = 65 \dots 110^\circ$ . Для средних и крупных разверток с целью лучшего размещения стружки в канавках применяется профиль с вогнутой спинкой.

**Неравномерность углового шага** между зубьями обеспечивается путем **изменения глубины канавок при фрезеровании**, что достигается специальной настройкой станка. У сборных разверток неравномерность углового шага зубьев создается за счет небольшого изменения направления пазов под ножи относительно оси развертки.

Для обработки отверстий **с продольными пазами** делаются **винтовые канавки с углом наклона  $\omega$** , равным: при обработке сталей  $\omega = 12 \dots 20^\circ$ , чугунов –  $\omega = 7 \dots 8^\circ$ , легких сплавов –  $\omega = 30 \dots 45^\circ$ .



Во избежание самозатягивания и заедания развертки в отверстиях **направление винтовых канавок** развёртки должно быть **обратным направлению её вращения**. При этом **шероховатость** обработанной поверхности **уменьшается**, а усилие подачи возрастает. У ручных разверток допускается **совпадение направления** винтовых канавок с направлением вращения, так как они работают с малой подачей.

Из-за малого припуска на обработку отверстия ( $2z = 0,3 \dots 0,9$  мм) рабочий **не должен пытаться исправить положение оси предварительно обработанного отверстия** с помощью развёртки, поэтому требование к её положению очень высокое. Крепление разверток на станке должно обеспечивать **совпадение осей развертки, кондукторной втулки и обрабатываемого отверстия**. При жестком креплении развертки в шпинделе станка все погрешности вращения (биение, разбивка и т.п.) переносятся на деталь. Лучшие результаты достигаются при креплении разверток в **плавающие патроны**. Наибольшую точность обеспечивают патроны, допускающие не только **качание развертки** в двух плоскостях, но и **смещение**, параллельное оси вращения заготовки. Для получения особо точных размеров и высокой прямолинейности оси отверстий применяют принудительное направление разверток с помощью гладких **цилиндрических направляющих**, устанавливаемых впереди или сзади их рабочей части, и их диаметры должны быть больше диаметров разверток.

**Допуски на диаметр развертки** должны быть очень малыми, примерно в **3 раза меньшими, чем допуски на обрабатываемое отверстие**.

При назначении допусков на диаметр развертки необходимо стремиться к тому, чтобы:

- 1) обеспечить размер отверстия детали в пределах допуска  $\delta_A$ ;
- 2) допуск на изготовление развертки  $\delta_r$  должен быть **не очень маленьким**, иначе резко возрастает стоимость ее изготовления;
- 3) для повышения стойкости развертки необходимо предусмотреть **допуск на износ (переточку)  $\delta_{и}$  развертки**;
- 4) учитывать возможность появления **разбивки отверстия, которая может быть положительной или отрицательной**.

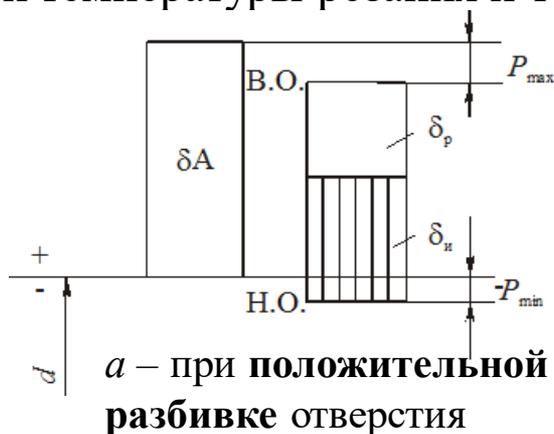
При **положительной разбивке** диаметр отверстия после вывода развертки становится **больше её диаметра**. Основные причины такой разбивки: 1) несовпадение осей вращения развертки и обрабатываемого отверстия; 2) биение режущих кромок; 3) нарост и мелкая стружка на направляющих ленточках и др.

**Отрицательная разбивка** проявляется **в уменьшении диаметра** отверстия после вывода развертки. Она встречается реже и имеет место **при обработке тонкостенных заготовок, развертывании отверстий в цветных металлах** вследствие упругих деформаций поверхностей отверстий, а также при работе **твердосплавных разверток по закаленным сталям** из-за высокой температуры резания и **термических деформаций детали**.

Расположения полей допусков на диаметр развертки и отверстия:

*a* – при положительной разбивке отверстия; *b* – при отрицательной разбивке отверстия.

*P* – допуск на разбивку.



В ремонтном деле применяются цилиндрические **ручные развертки, регулируемые по диаметру за счёт упругой деформации** калибрующей части. **Насадные сборные развёртки** можно регулировать по диаметру за счет перестановки ножей по рифлениям. Более тонкую регулировку можно осуществить путем перемещения ножей с рифлениями вдоль пазов, наклоненных под углом  $5^\circ$  к оси развертки.

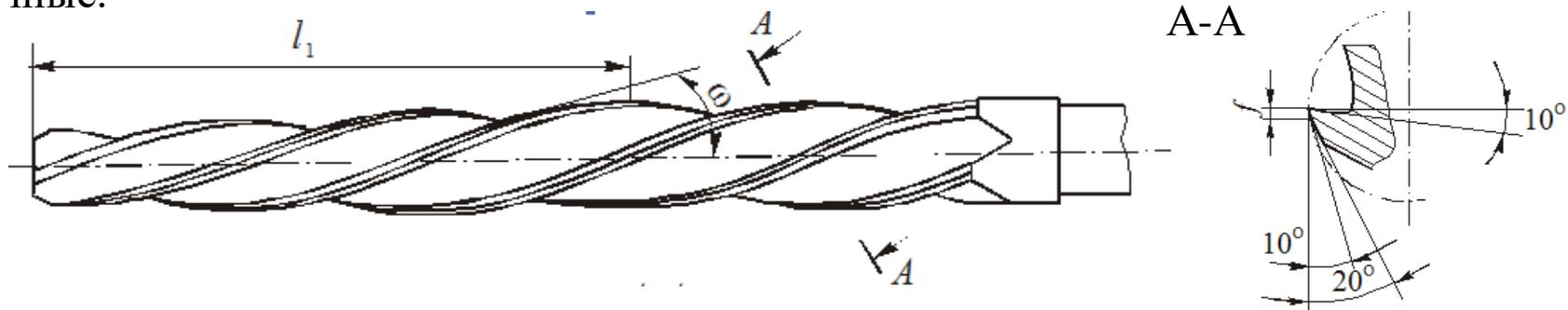
**Регулировка цилиндрической ручной развертки по диаметру:** в корпусе 3 развертки, изготовленном из стали 9ХС, имеется отверстие, состоящее из конической и цилиндрической частей, в которое помещается шарик 2, передвигаемый регулировочным винтом 1 вдоль оси. **Между зубьями по впадине сделаны продольные прорезы.** По мере перемещения шарика винтом за счет упругих деформаций стенок развертки **увеличивается диаметр калибрующей части развертки.**

Величина  $\Delta$  регулирования диаметра небольшая и берется в зависимости от диаметра развертки, например, для  $d=10\dots20$  мм  $\Delta=0,25$  мм, для  $d=20\dots30$  мм  $\rightarrow \Delta=0,4$  мм, для  $d=30\dots50$  мм  $\Delta=0,5$  мм.



**Развертки с кольцевой заточкой** нашли широкое применение **в тяжелом машиностроении** благодаря высокой производительности и надежности в работе. **Режущая часть** таких разверток **не имеет заборного конуса**, а состоит из трех участков. В начале находится **направляющий конус**, снимающими припуск, как зенкер. Затем следуют второй и третий участки, выполненные в виде **кольцевых поясков** шириной  $b = 2\dots4$  мм и диаметром на  $0,2\dots0,4$  мм меньшим, чем диаметр калибрующей части. **Главные режущие кромки**, снимающие припуск, расположены **на торцах уступов под углом  $\phi = 90^\circ$**  к оси и имеют **нулевой задний угол**. Калибрующая часть – цилиндрическая, шлифуется по направляющим ленточкам шириной  $f$  **без обратного конуса** за одну установку. Число зубьев уменьшено, за счет чего увеличен объем стружечных канавок. Стружечные **канавки прямые**, но для обработки прерывистых поверхностей применяют винтовые канавки с направлением, обратным вращению развертки.

**Котельные развертки** применяют при подготовке отверстий под заклепки в двух или более соединяемых листах. Они получили широкое распространение в котло-, корабле- и авиастроении, а также при изготовлении мостовых конструкций. Котельные развертки работают **в тяжелых условиях**, так как из-за неизбежных **несовпадений осей отверстий** в пакетах листов приходится удалять **большой припуск** – до **1...2 мм на сторону**, т.е. почти как при **зенкеровании**. При этом обрабатываемые материалы, как правило, вязкие и пластичные.



Для лучшего направления разверток в отверстия, снижения осевых усилий и уменьшения шероховатости поверхности используются **винтовые зубья с углом  $\omega = 25...30^\circ$**  с направлением, обратным вращению инструмента. Котельные развертки имеют **малый угол заборного конуса**, равный  **$2\varphi = 3...5^\circ 30'$**  и, соответственно, большую длину режущей части, равную  $1/3...1/2$  длины рабочей части инструмента. Число **зубьев  $z = 4...6$**  при диаметре разверток  $d = 6...40$  мм. Передний угол зубьев в сечении, перпендикулярном к винтовым канавкам,  $\gamma = 12...15^\circ$ , задний угол  $\alpha = 10^\circ$ . **Зубья на калибрующей части** имеют узкие направляющие **ленточки шириной  $f = 0,2...0,3$  мм с обратной конусностью  $0,05...0,07$  мм на 100 мм длины**. Котельные развертки изготавливают как ручные с цилиндрическим хвостовиком, так и машинные с коническим хвостовиком, устанавливаемые на радиально-сверлильных станках или на пневматических дрелях.

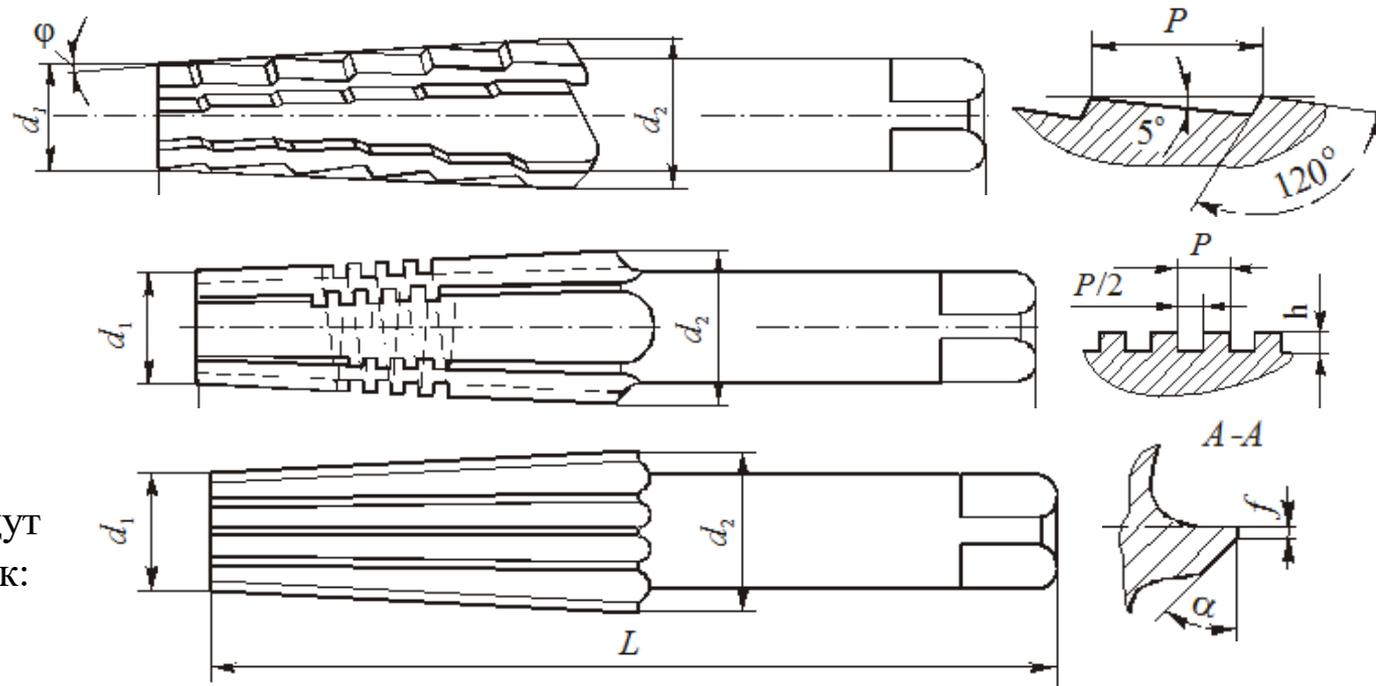
**Конические развёртки** применяют для получения точных конических отверстий под штифты (конусность 1:50), конусы Морзе и метрические, посадочные отверстия насадных зенкеров и разверток (конусность 1:30) и др. Конические отверстия формируют **комплексом развёрток** либо из цилиндрических, полученных сверлением, либо из конических отверстий, полученных расточкой при обработке очень крутых конусов, например с конусностью 7:24.

**Длина режущих кромок**, снимающих припуск, **большая** и равна длине **образующей конуса**, а толщина срезаемого слоя определяется **перепадом диаметров**, поэтому условия работы **тяжёлые**.

Поэтому **обработку** при конусности **больше 1:20** ведут **комплексом** из **3-х развёрток**: сначала **ступенчатой цилиндрической**,

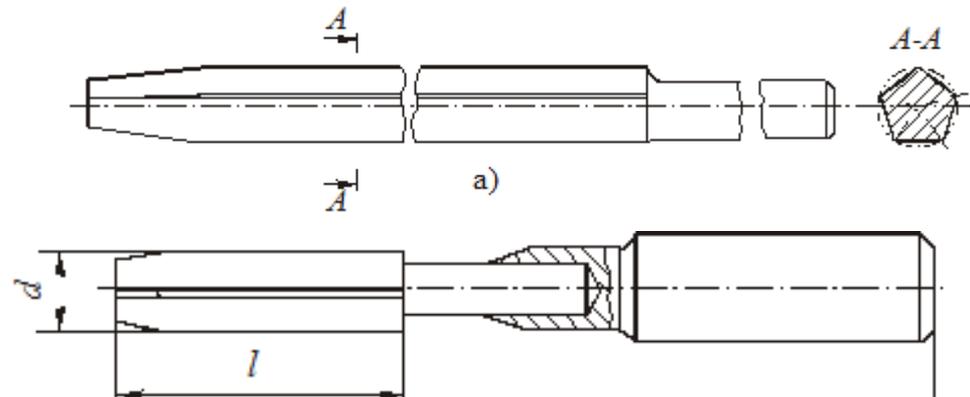
затем **конической с кольцевыми канавками**, в конце – **конической гладкой**.

Требования к **точности конических отверстий** высоки, так как от нее часто зависят прочность и герметичность соединяемых деталей, величина передаваемого крутящего момента и др. У конических разверток **отсутствует** разделение на режущую и калибрующую части. При обработке отверстий с **конусностью большей 1:20** обрабатываются **только с помощью комплекта разверток**.

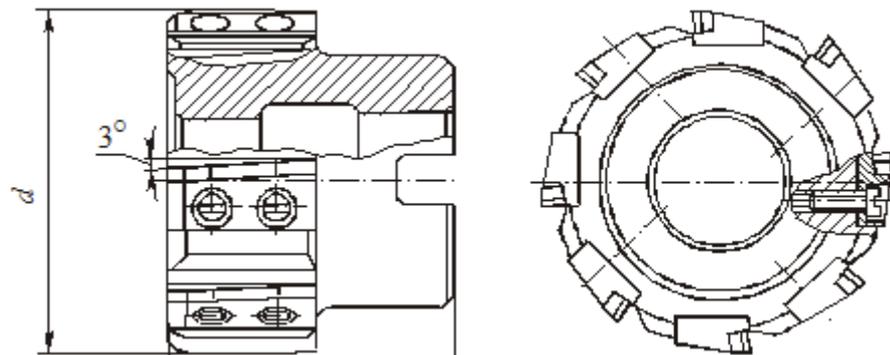
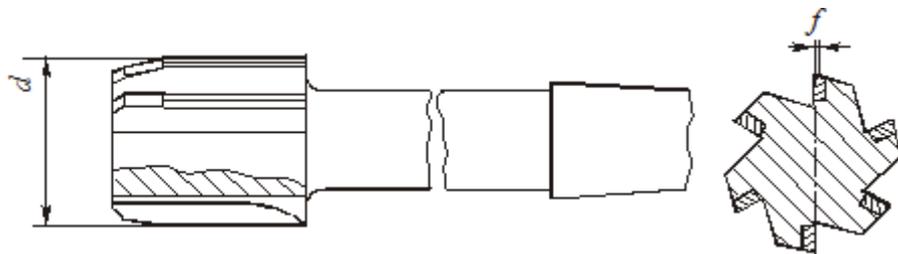


**Развертки твердосплавные.** Условия резания при развертывании благоприятны для применения твердых сплавов, так как для этих инструментов характерны малые нагрузки на режущие зубья, устойчивое положение в отверстии и высокая жесткость. Применение **твердых сплавов** благодаря их высокой износостойкости **в несколько раз повышает стойкость разверток**, особенно при обработке отверстий в **труднообрабатываемых сталях и высокопрочных чугунах**. Однако реализовать возможность повышения скорости резания в несколько раз при использовании твердосплавных разверток не удастся из-за **возникновения вибраций**, ухудшающих качество обработанной поверхности. Только в конструкциях **разверток одностороннего резания** с использованием **внутреннего напорного охлаждения** и с работой хвостовика на **растяжение** удалось при обработке конструкционных сталей достичь скоростей резания  $v = 120$  м/мин. Три варианта: 1) изготовление рабочей части **целиком из твердых сплавов**, полученных методом прессования или из пластифицированных заготовок с последующим их спеканием; 2) **пайка стандартных пластин непосредственно на корпус** развертки или **на ножи в сборных** развертках; 3) **механическое крепление пластин** на корпусе развертки.

Диаметром до 3 мм изготавливают **целиком из твердого сплава** в виде трех-, четырех- или **пятигранника**; диаметрами **3...12** мм с цельной твердосплавной рабочей частью и со **стальным хвостовиком**, соединенным пайкой.

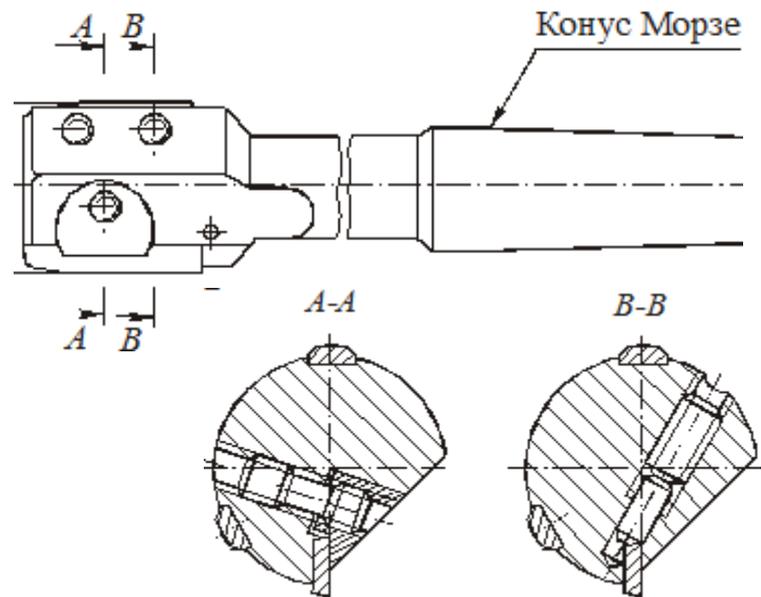


Концевая развертка с **твердосплавными пластинками**, напаянными на корпус, и с пластинами, **напаянными на ножи**, закрепленные винтами на корпусе инструмента. Такие развертки диаметрами 150...300 мм можно регулировать по диаметру с помощью подкладок под ножи. При развертывании температура резания невелика, поэтому вместо пайки стали использовать высокопрочные клеи, что значительно упрощает процесс изготовления разверток и обеспечивает повышение стойкости твердосплавных пластин за счет отсутствия термических напряжений.



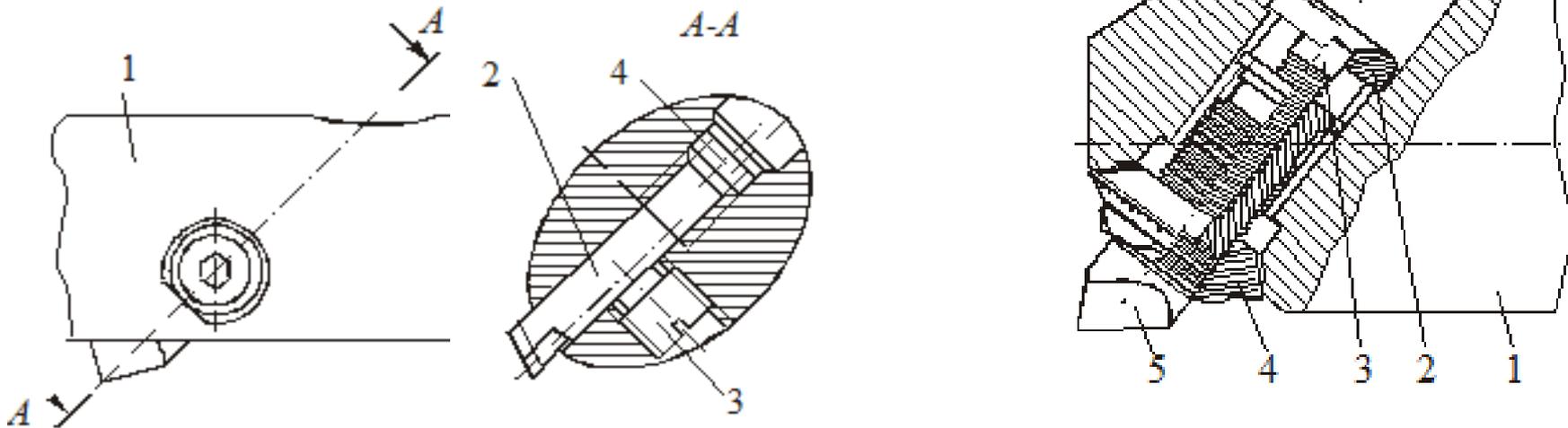
Развертки **одностороннего резания** изготавливают **с одним** или **несколькими ножами** и опорными пластинами в диапазоне диаметров 8...100 мм, и применяются для развертывания **неглубоких отверстий**.

Режущие пластины у них могут быть регулируемы по диаметру с использованием разных способов механического крепления.



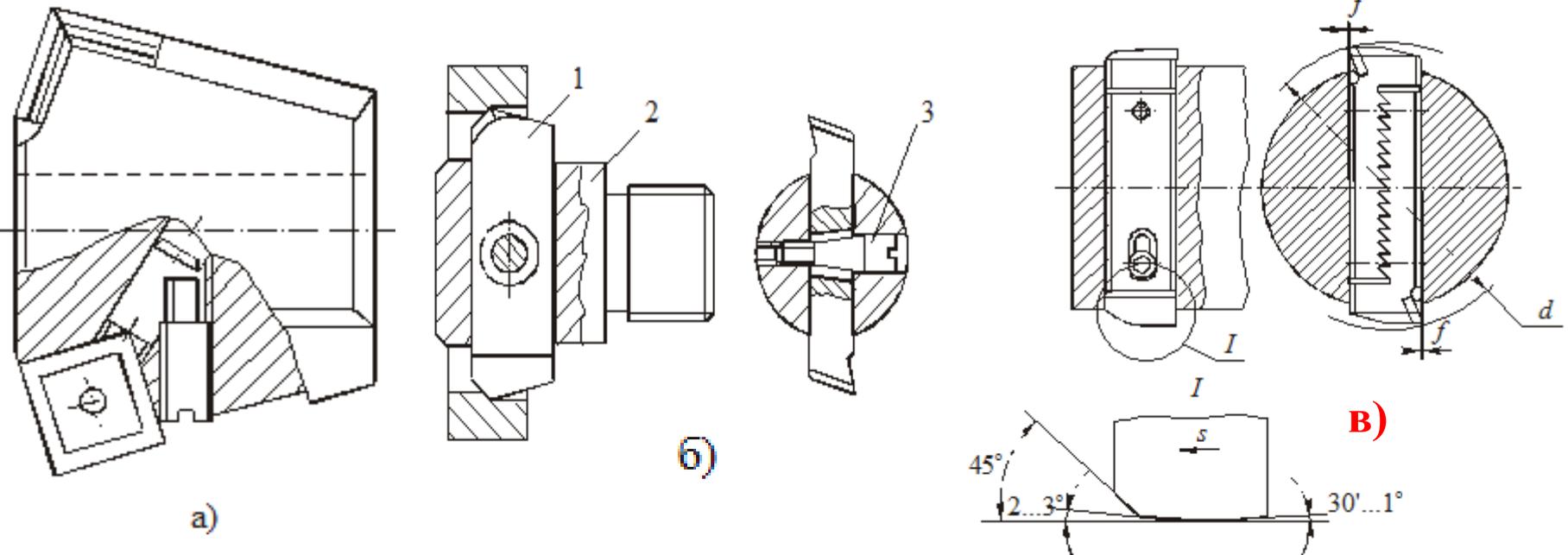
**Расточные инструменты** применяются для увеличения диаметров отверстий и являются широко универсальными инструментами, так как, в отличие от зенкеров, разверток и других инструментов, **допускают настройку в радиальном направлении**. Обрабатывают отверстия диаметром 1...1000 мм и более с точностью  $IT\ 5...IT\ 6$  и шероховатостью  $Ra\ 0,8...1,6$  мкм. В механообработке нашли применение следующие типы расточных инструментов: 1) стержневые резцы; 2) двухсторонние пластинчатые резцы-блоки; 3) расточные головки для обработки неглубоких отверстий; 4) расточные головки для обработки глубоких отверстий.

Стержневые резцы имеют одну режущую кромку из быстрорежущей стали или в виде СМП из твердого сплава или СМТ. Державки в поперечном сечении имеют круглую, квадратную или прямоугольную формы. Наиболее простой и распространенный способ закрепления резца с державкой квадратной или круглой форм. Здесь резец 2 закреплен винтом 3 в оправке 1. Вылет резца регулируется винтом



Для растачивания **точных отверстий** диаметром более 20 мм с **микрорегулированием:** за 1 деление гайки 4 с **шагом 0,5 мм** ход резца на **0,01 мм**

**Двухсторонние пластинчатые резцы-блоки** применяют для предварительного и окончательного растачивания отверстий диаметром **более 25 мм**. По сравнению с однолезвийными инструментами они обладают **большой производительностью**, обеспечивают **большую точность** и **низкую шероховатость** поверхности отверстий. Резцы-блоки целиком из быстрорежущей стали, или оснащают пластинами из твердого сплава сборными и регулируемые по диаметру. Крепление пластинчатых расточных резцов в оправках либо осуществляется **неподвижно**  $d = 50 \dots 150$  мм (рис. **а**), либо допускают «**плавание**» по одной оси: **двухлезвийные блоки** (рис. **б, в**). Выпадению резца-блока *1* из борштанги *2* препятствует винт *3*, входящий с зазором в отверстие, выполненное в корпусе резца-блока. Известны конструкции четырех и более лезвийных блоков, «плавающих» с помощью крестовины по двум взаимно перпендикулярным осям *4*. «Плавающее» крепление резцов-блоков  $d = 25 \dots 600$  мм применяется для компенсации углового и линейного несовпадения осей обрабатываемых отверстий и инструмента.

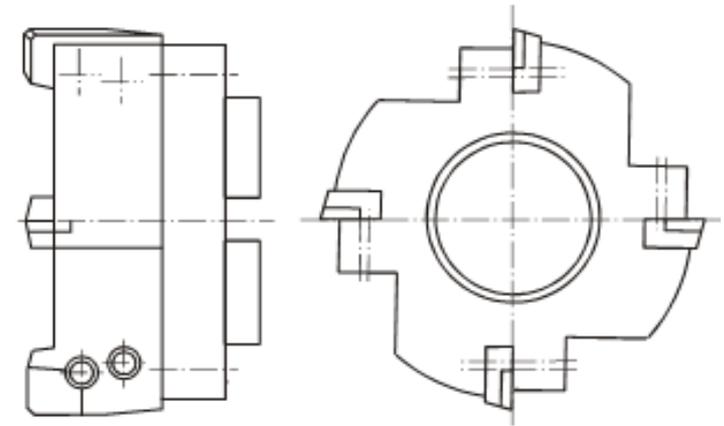
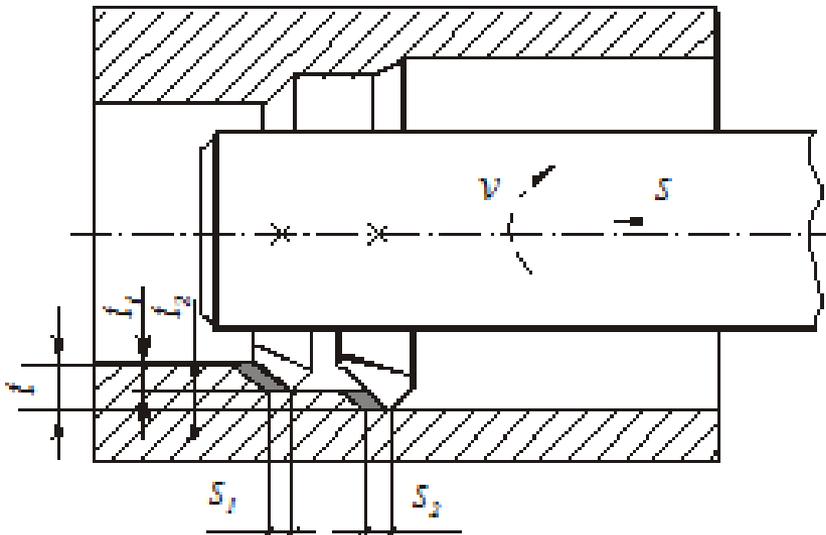


**Расточные головки** для обработки **неглубоких отверстий** имеют несколько режущих кромок ( $d = 120 \dots 300$  мм,  $z = 4 \dots 8$ ). Они жестко крепятся в оправке и применяются для **предварительной обработки** отверстий.

При конструировании многокромочных расточных головок нашли применение **две схемы** резания: 1) **деления глубины резания**; 2) **деления подачи**.

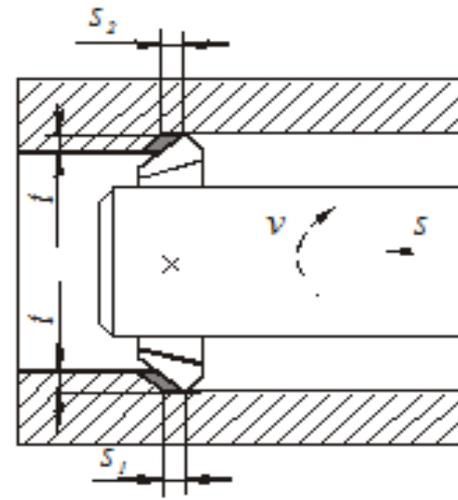
При **схеме деления глубины резания** заданная **глубина**  $t$  последовательно срезается **каждым резцом** головки:

$$t = t_1 + t_2 + \dots + t_n$$

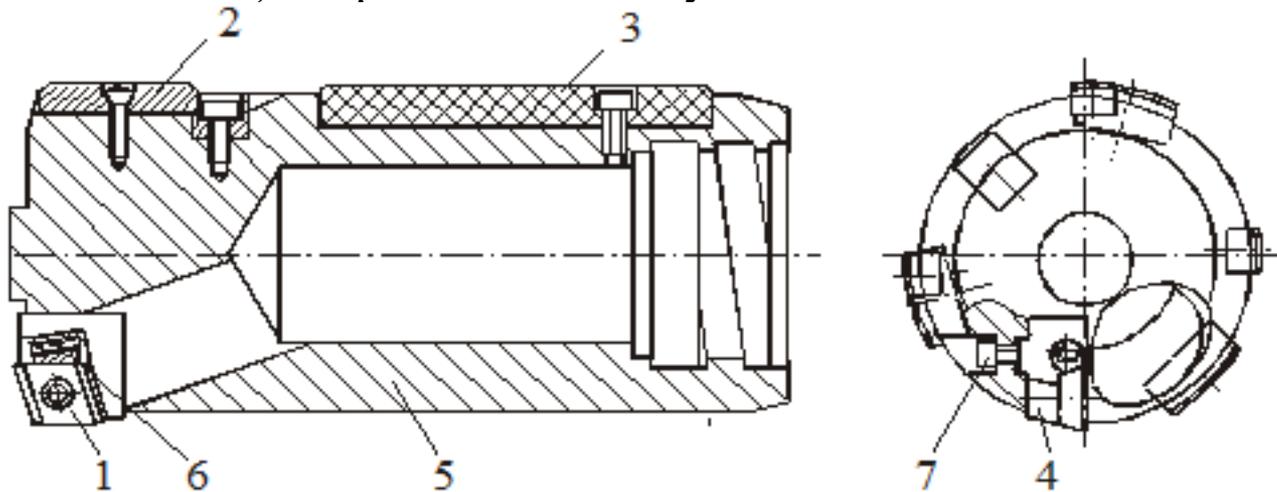


При **схеме деления подачи** каждая режущая кромка головки снимает **полную глубину резания**  $t$ , а подача  $s$  на один оборот инструмента или заготовки равна сумме подач, приходящихся на каждый зуб, смещённые вдоль оси

$$s = s_{z_1} + s_{z_2} + \dots + s_{z_n}$$



**Расточные головки для обработки глубоких отверстий** относятся к инструментам **одностороннего резания** с определенностью базирования для растачивания глубоких отверстий диаметром 45...250 мм. Режущий элемент головки выполнен в виде кассеты 4 с продольной шпонкой, входящей в соответствующий паз на корпусе 5 головки. Кассета крепится в корпусе винтом 7. На ней с помощью клина 6 закреплена твердосплавная пластина 1 ромбической формы, которая имеет две режущие кромки. Настройка головки на диаметр производится путем смены направляющих 2 и регулировки вылета кассеты. В процессе обработки три твердосплавные направляющие 2 под действием радиальных составляющих сил резания и трения прижимаются к поверхности обработанного отверстия, обеспечивая тем самым поперечную устойчивость инструмента. Три пластмассовые (из полиамида) направляющие 3 служат для гашения колебаний расточной головки.

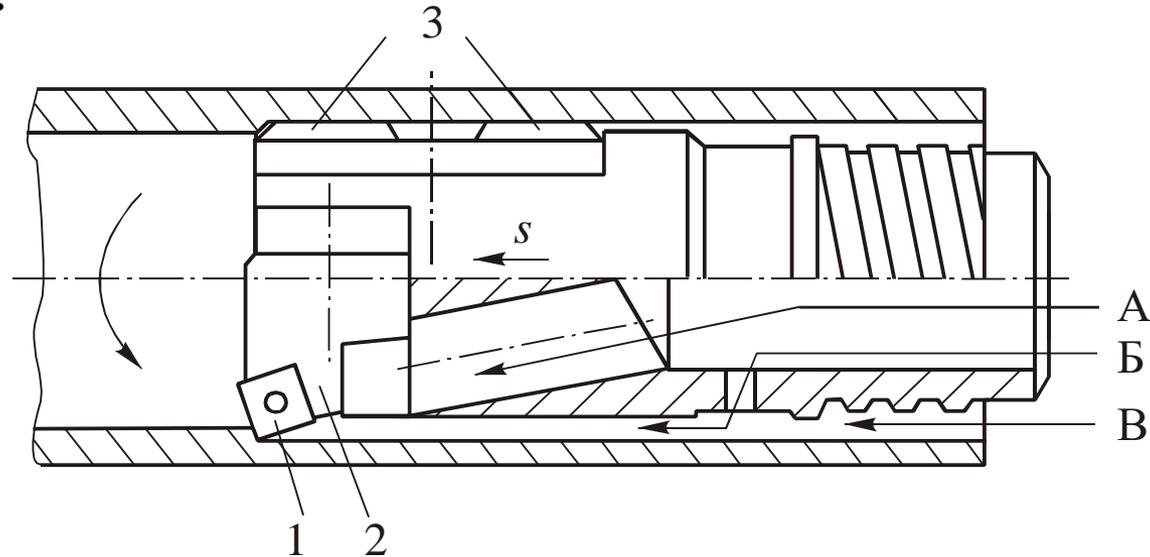


Расточная головка фирмы «Votek» (Германия) для обработки глубоких отверстий: 1 – твердосплавная режущая пластина; 2 – твердосплавная направляющая; 3 – пластмассовая направляющая; 4 – кассета; 5 – корпус головки; 6 – клин; 7 – винт

Расточная головка фирмы «Sandvik Coromant» (Швеция) для растачивания гильз пневмо- и гидроцилиндров под последующую раскатку. Такая головка может работать по трем вариантам:

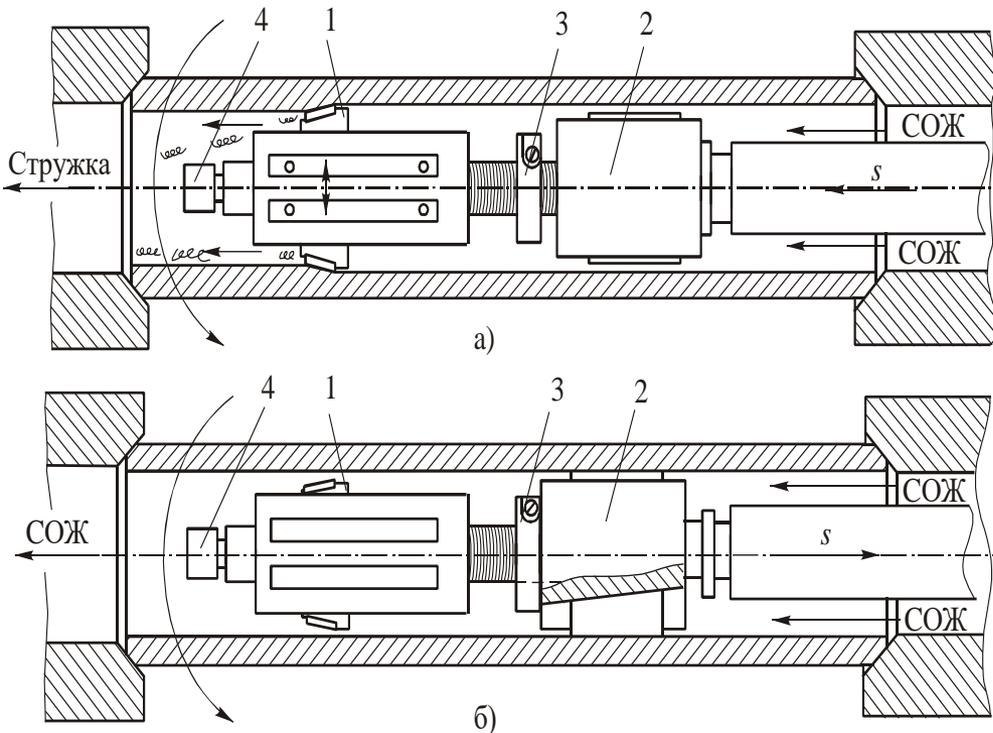
- 1) с внутренним подводом СОЖ и наружным отводом стружки (А). В варианте **А стружка отводится вперед**;
- 2) с внутренним подводом СОЖ и **внутренним отводом стружки** с помощью эжектора (Б);
- 3) с **наружным подводом СОЖ** и **внутренним отводом стружки** (В).

В вариантах **Б** и **В** – стружка отводится назад и поэтому в процессе обработки отверстие должно быть заглушено.



**Расточная головка** фирмы «**Sandvik Coromant**» (Швеция) для обработки гильз гидроцилиндров: А – с внутренним подводом СОЖ; Б – с эжекторным отводом стружки; В – с наружным подводом СОЖ; 1 – твердосплавная режущая пластина; 2 – кассета; 3 – твердосплавная направляющая

**Комбинированный режуще-деформирующий** инструмент фирмы «Sandvik Coromant» (Швеция) для растачивания гильз пневмо- и гидроцилиндров **под последующую раскатку** может работать по **трем** вариантам: При прямом ходе инструмента (рис. а) осуществляется **расточивание отверстия** плавающим двухлезвийным расточным блоком 1, оснащенным твердым сплавом. При этом обойма роликового раскатника 2 сдвинута вправо на некоторое расстояние от опорного кольца 3, а **ролики раскатника не касаются** поверхности обработанного отверстия.

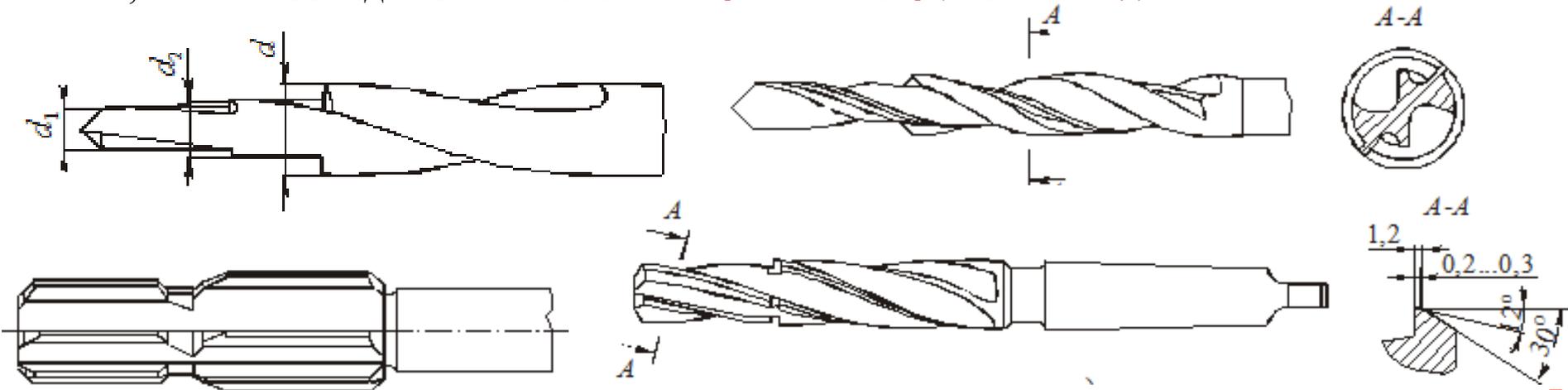


После окончания растачивания **резцы плавающего блока** (рис. б) 1 с помощью пневматического нажимного устройства 4 **утапливаются**. Затем **включается обратная подача** инструмента, **обойма раскатника 2 отодвигается влево** и **упирается в опорное кольцо 3**. **Ролики начинают пластически деформировать** поверхность обработанного отверстия. При этом **шероховатость** поверхности отверстия достигает  **$Ra=0,05...0,20$  мкм**, а ее **твердость в результате наклепа увеличивается на 50%**. Обработка ведется с использованием **СОЖ на масляной основе** с противозадирными присадками (P, S, Cl).

**Комбинированный** режуще-деформирующий инструмент фирмы «Sandvik Coromant» (Швеция) Схемы обработки гильзы гидроцилиндра комбинированным режуще-деформирующим инструментом: 1 – плавающий двухлезвийный расточный блок; 2 – роликовый раскатник; 3 – опорное кольцо; 4 – нажимное устройство

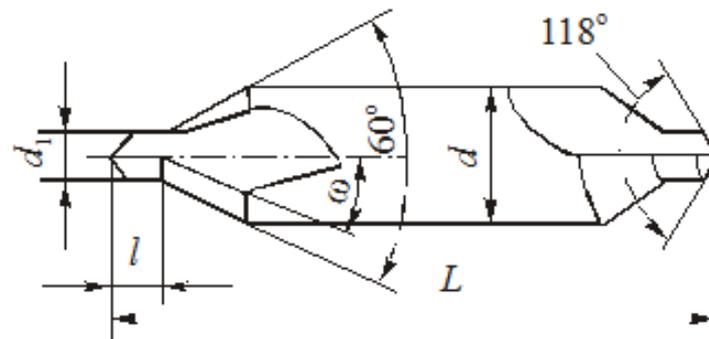
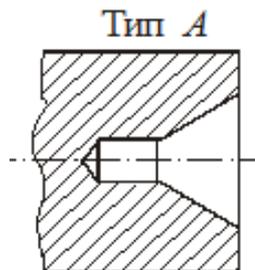
**Комбинированные** инструменты – это соединение **двух** и **более одностипных** или **разнотипных инструментов**, закрепленных на одном корпусе, которое позволяет за **один проход** совмещать **несколько операций** или **переходов**. Благодаря этому значительно сокращается машинное и вспомогательное время и **повышается производительность** процесса **обработки отверстий**. Эти инструменты применяются на сверлильных, револьверных, расточных, агрегатных станках, токарных автоматах, автоматических линиях и обрабатывающих центрах.

При обработке цилиндрических отверстий широко используются комбинированные инструменты, являющиеся соединениями инструментов разных типов: **сверло – зенкер**, **сверло – метчик**, **сверло – развертка**, **зенкер – развертка** и др. При обработке **ступенчатых отверстий** применяются соединения одностипных инструментов: **ступенчатые сверла**, **зенкеры**, **развертки** и др. При этом значительно **уменьшается отклонение от соосности ступеней** и повышается **точность размеров между торцами** обработанных поверхностей. **Число ступеней** в таких инструментах может достигать до **шести**, а число **объединенных элементарных инструментов – до пяти**.

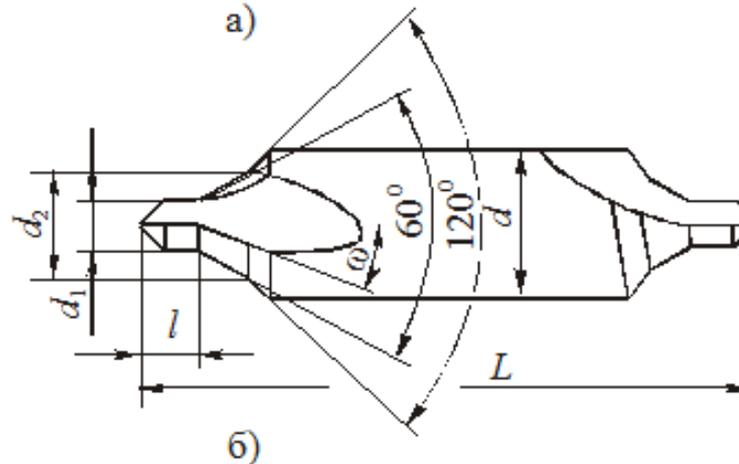
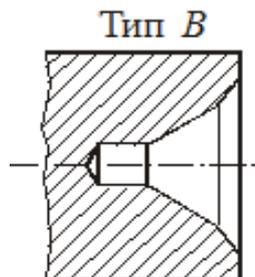


**Центровочные сверла-  
зенковки** и получаемые ими  
типы отверстий:

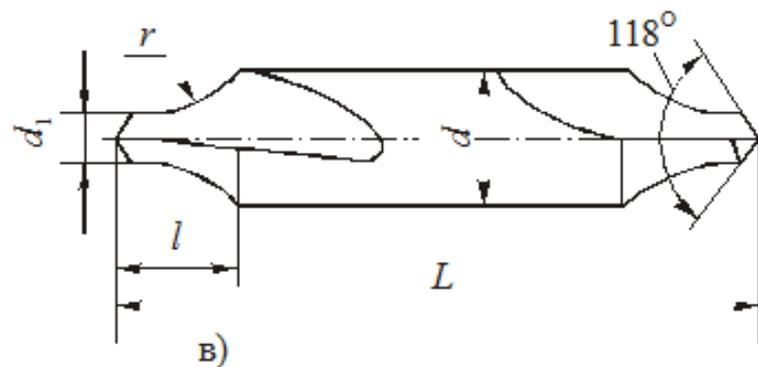
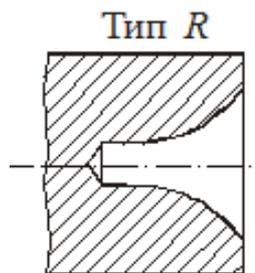
**а – без предохранительной  
фаски;**



**б – с предохранительной  
фаской;**



**в – радиусное**



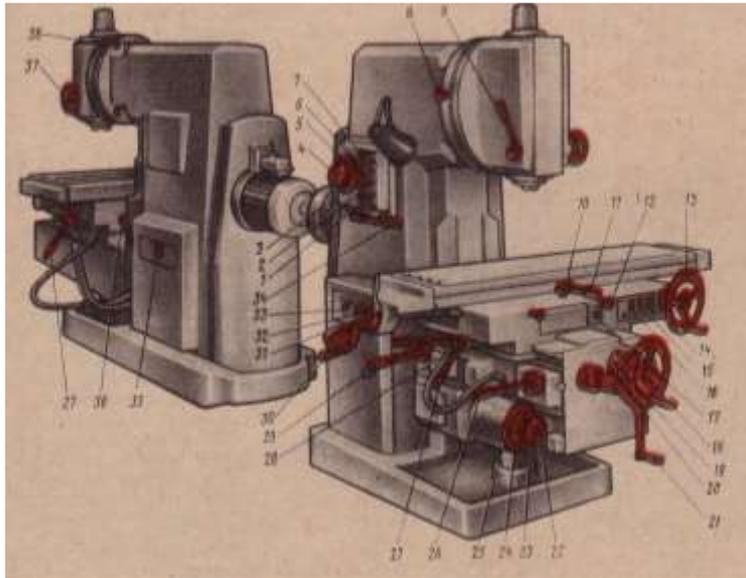
### Раздел 3. Фрезерование и фрезы (23/10/21)

**Фрезы** – это многозубые режущие инструменты, применяемые для обработки **плоскостей, пазов, фасонных поверхностей**, тел вращения, а также для **разрезки материалов**.

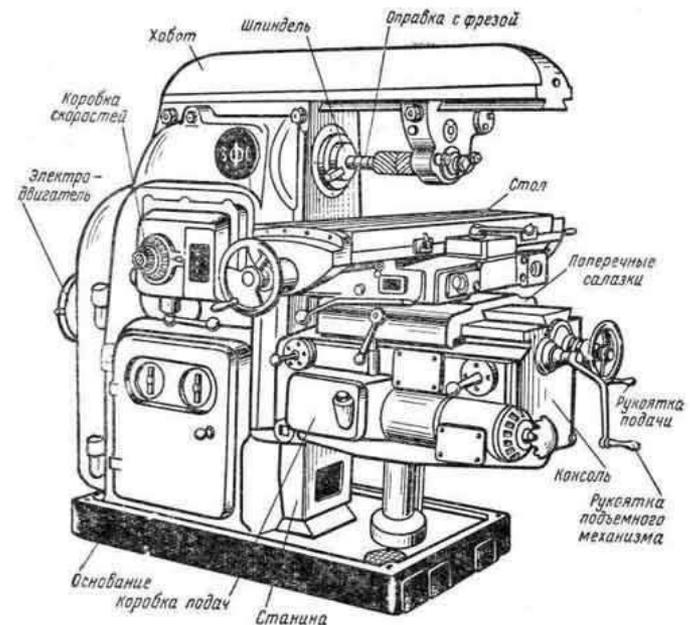
В процессе фрезерования в контакте с заготовкой, как правило, находится несколько зубьев, снимающих стружку переменной толщины. При этом благодаря большой суммарной активной длине режущих кромок обеспечивается **высокая производительность процесса фрезерования**.

Повышению производительности также способствует **высокая скорость** фрезерования, которая достигается за счет **периодического выхода зубьев из зоны резания, обеспечивающего охлаждение** и снятие тепловой напряженности в режущем клине.

Кинематика фрезерования проста: **фреза получает вращение** от главного привода, а **заготовка, закрепленная на столе станка, – движение подачи** от отдельного привода станка, кинематически не связанное с вращением фрезы. Движение подачи может быть **прямолинейным**, вращательным или винтовым, а режущие кромки фрезы – прямолинейными, наклонными к оси, винтовыми или фасонными. **Типы фрезерных станков – консольные вертикально-фрезерные и горизонтально-фрезерные, безконсольные.**



Консольный вертикально-фрезерный



Консольный горизонтально-фрезерный



Консольный **универсально** -фрезерный станок ФУ 251 с делительной головкой на столе

## Типы фрезерных станков

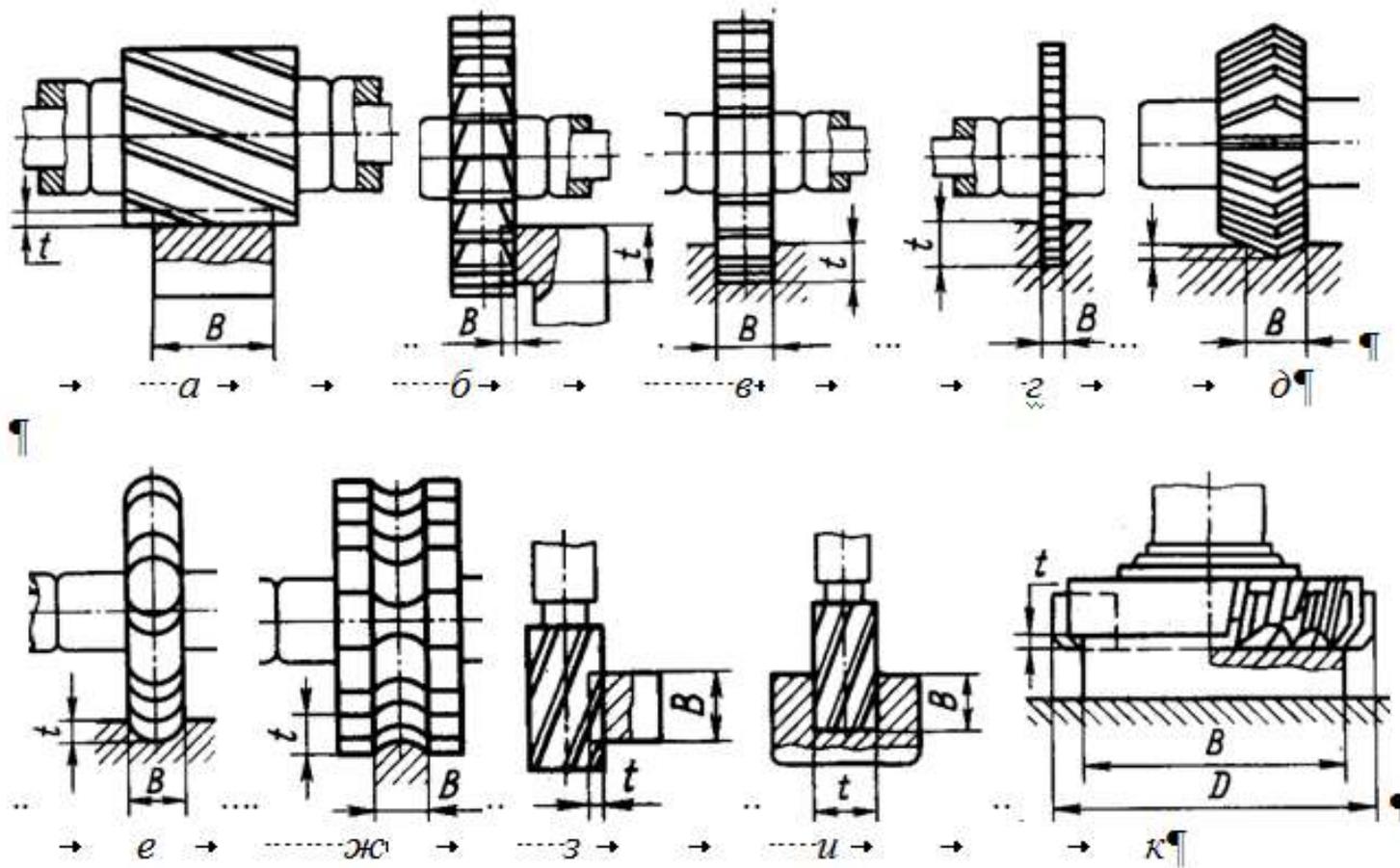


Консольный **вертикально-фрезерный** станок 6Л12, ЛССП (1 889 464 руб)

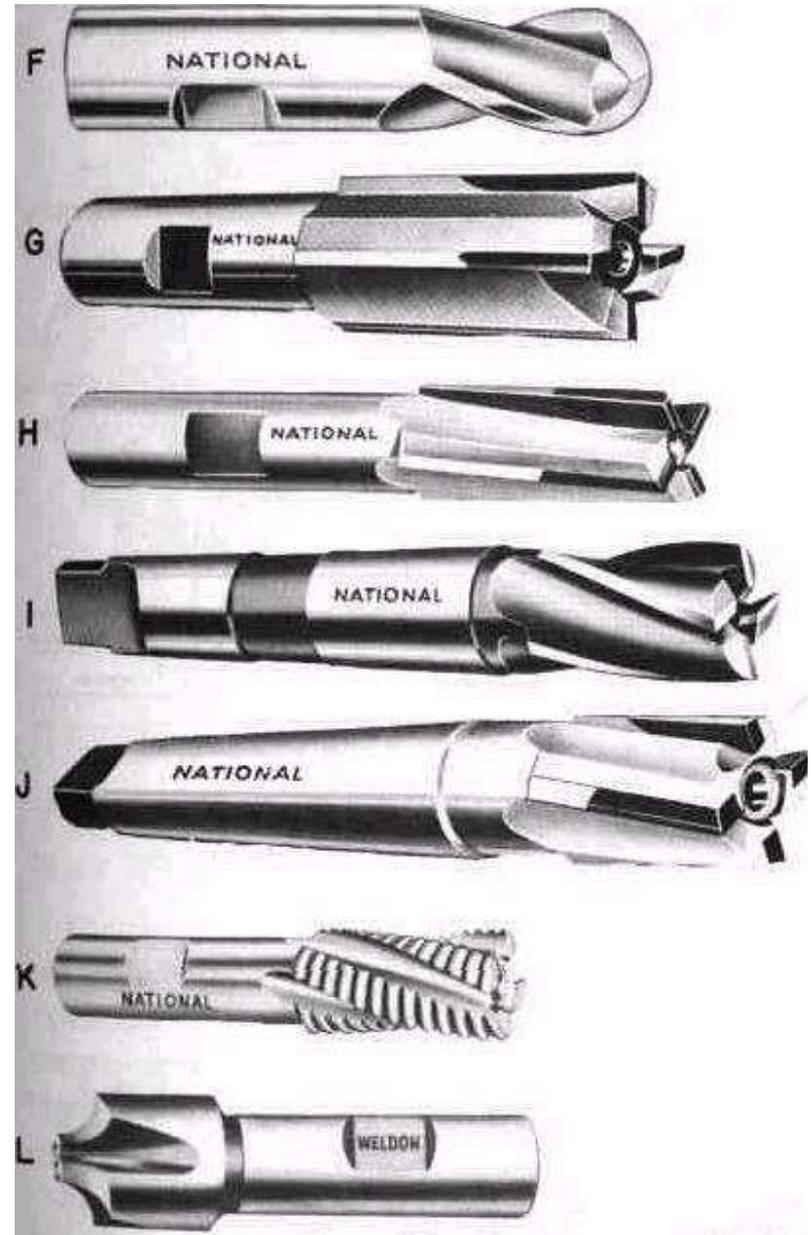
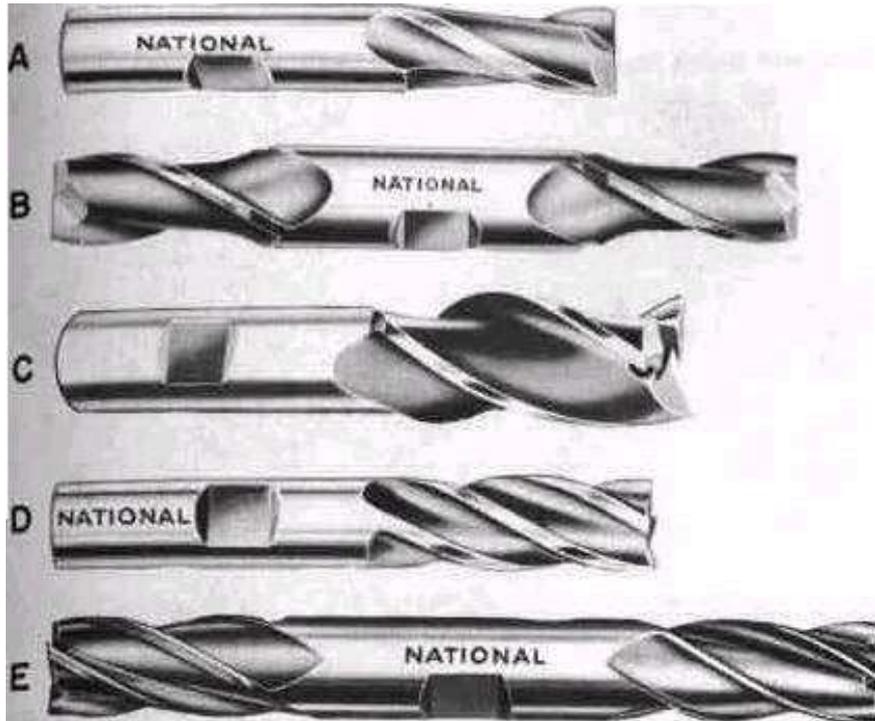


Вертикально-фрезерный **обрабатывающий центр** Haas VF-1 (от 64 022,74 USD)

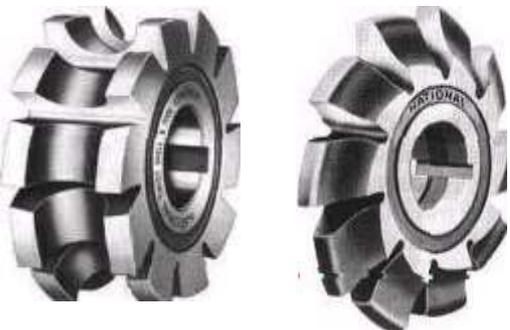
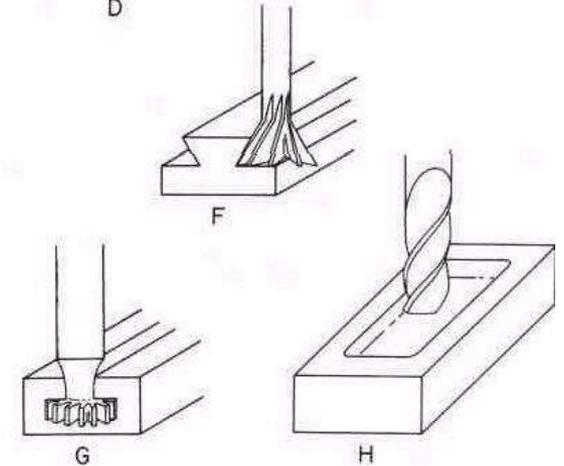
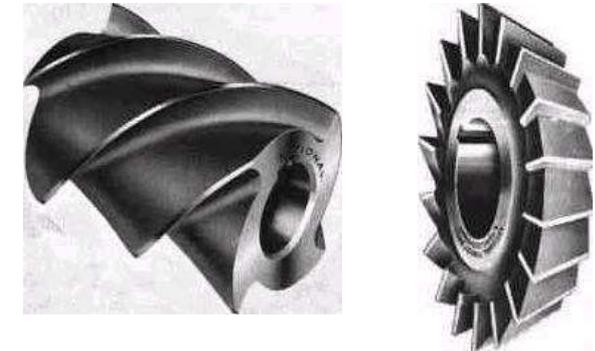
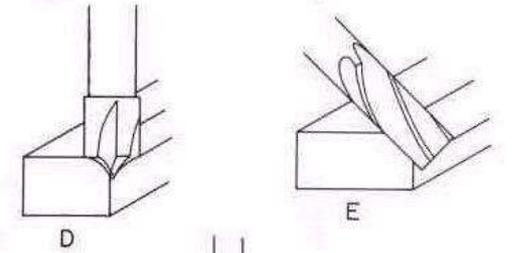
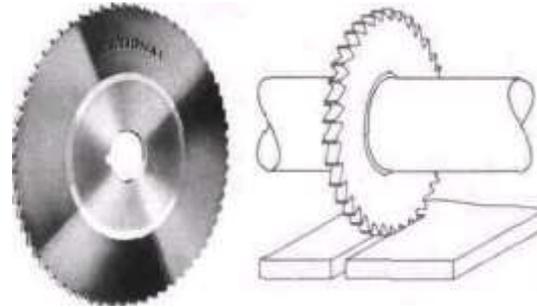
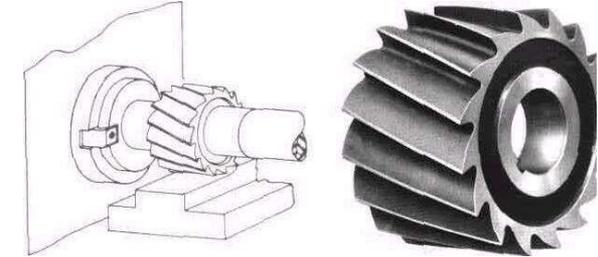
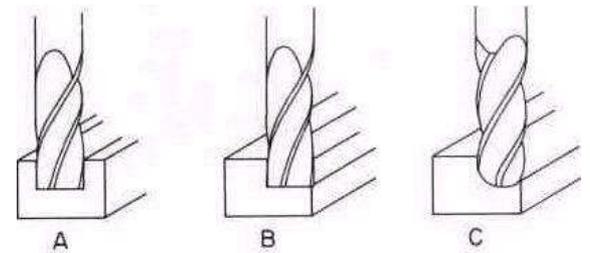
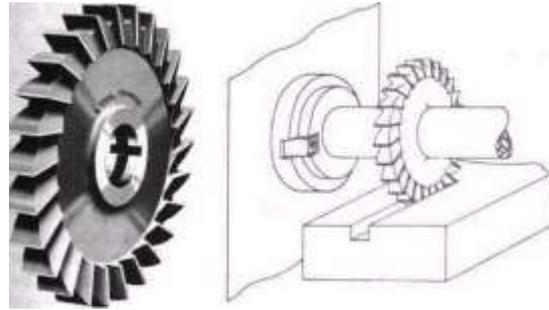
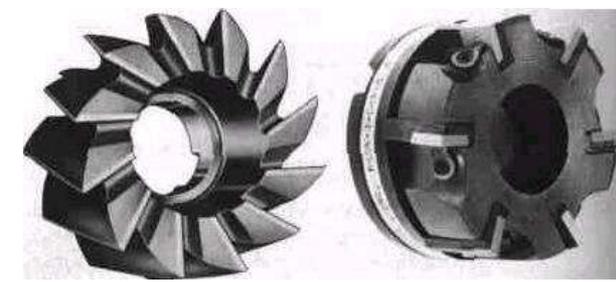
В зависимости от типа фрезерного станка используются соответствующие типы фрез:



**Типы фрез** и элементы срезаемого слоя металла: *a* – **цилиндрические**; *б* – **дисковые** трехсторонние; *в* – дисковые пазовые; *г* – дисковые прорезные и отрезные; *д* – дисковые угловые; *е* – дисковые фасонные с выпуклым профилем; *ж* – дисковые фасонные с вогнутым профилем; *з*, *и* – **концевые**; *к* – **торцовые**. *t* – глубина резания; *B* – ширина фрезерования; *D* – диаметр фрезы

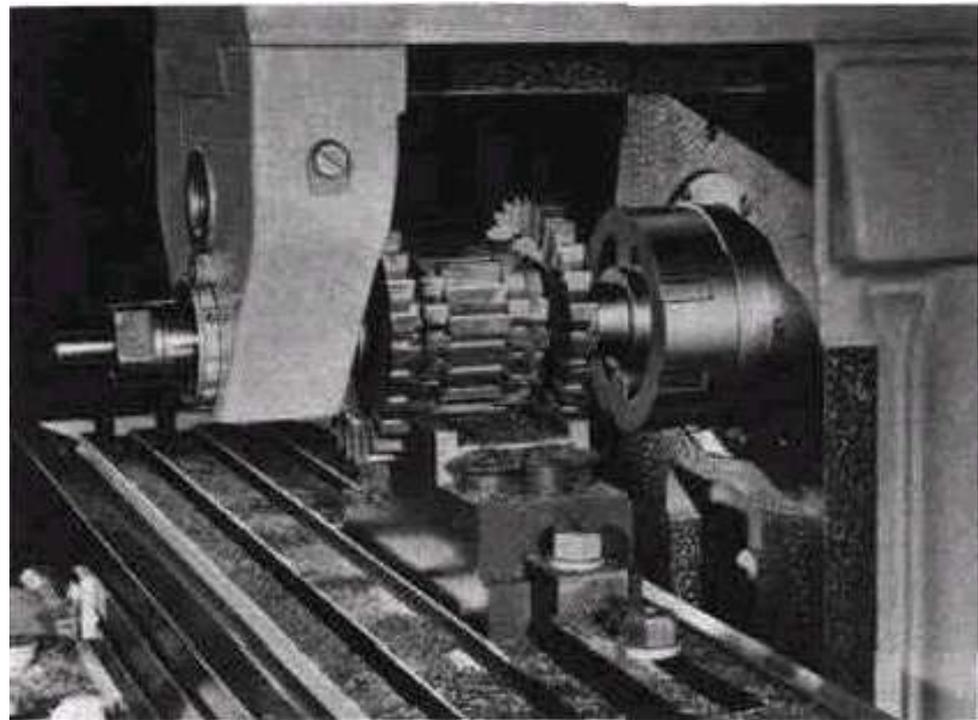


## Фрезы (продолжение)



Виды обработки, выполняемые концевыми фрезами: (А) фрезерование шпоночных пазов и канавок, (В) уступов, (С) выпуклых радиусных и фасочных поверхностей, (D) вогнутых радиусных, (E) наклонных поверхностей, (F) «ласточкин хвост», (G) Т-образные пазы, (H) фрезерование карманов.

# Фрезы (продолжение)



Так как **фреза** получает **вращение  $n$**  (об/мин) от главного привода, а **заготовка**, закрепленная на столе станка, – **движение подачи  $s_M$**  (мм/мин) от **отдельного привода** станка, кинематически не связанное с вращением фрезы, то подача назначается в два этапа. Сначала по справочнику назначается **подача на зуб  $s_z$**  (мм/зуб), а затем по **числу зубьев фрезы  $z$**  (шт), **глубине резания  $t$**  (мм) и **ширине фрезерования  $B$**  (мм) рассчитывается **скорости резания  $v$**  (м/мин). После этого **рассчитывается частота вращения шпинделя** (фрезы)  $n = 1000 \cdot v / \pi \cdot d_{\text{фр}}$  (об/мин), **которая устанавливается на станке**. После этого **рассчитывается минутная подача  $s_M = s_z \cdot z \cdot n$**  (мм/мин), которая и **устанавливается на станке**. В наибольшей степени на шероховатость обработанной поверхности влияет подача на зуб  $s_z$  (мм/зуб). Поскольку на фрезерном станке устанавливается минутная подача  $s_M$ , то **при увеличении скорости резания  $v$**  (м/мин), а значит и увеличении частоты вращения шпинделя  $n = 1000 \cdot v / \pi \cdot d_{\text{фр}}$  (об/мин), **необходимо увеличивать минутную подачу  $s_M$** , чтобы величина подачи на зуб  $s_z$  оставалась неизменной, а производительность увеличилась.

Геометрические элементы режущей части цилиндрической фрезы: 1 – режущая кромка; 2 – передняя поверхность; 3 – задняя поверхность; 4 – ленточка; 5 – обработанная поверхность заготовки

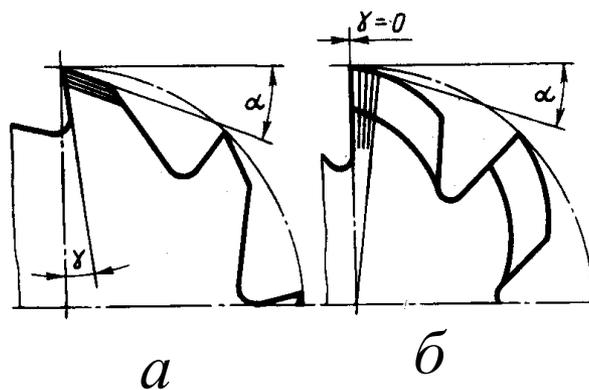
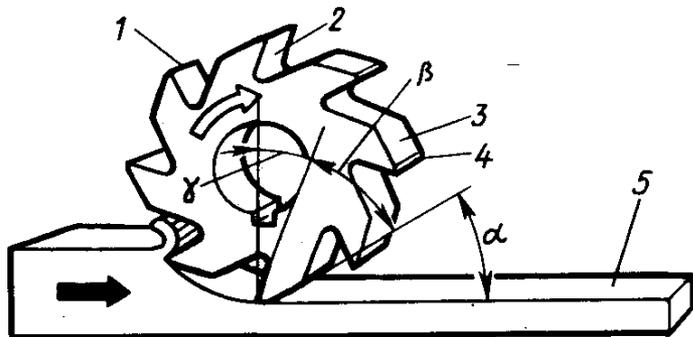
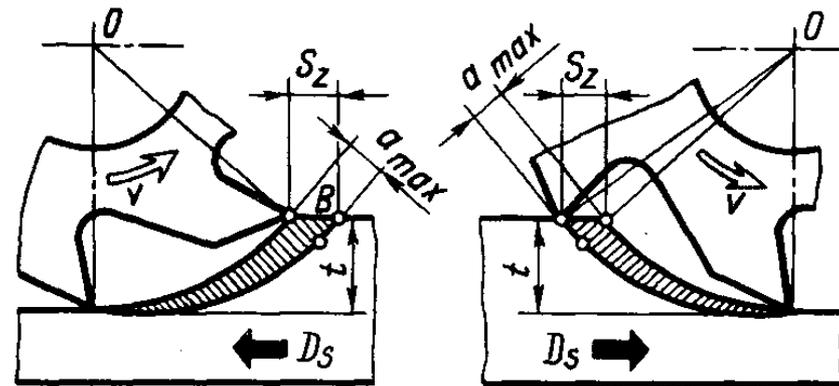


Схема заточки фрез:

**$a$**  – острозаточенных (заточка по задней поверхности);  
 **$б$**  – затылованных (заточка по передней поверхности)

### Схемы фрезерования

Фрезерование может быть осуществлено двумя способами (по двум схемам): **встречное фрезерование**, когда направление подачи направлено против направления вращения фрезы (скорости резания) (рис. а), и **попутное фрезерование**, когда направления движения подачи и вращения фрезы совпадают (рис. б).



а – **встречное** фрезерование;

б – попутное фрезерование

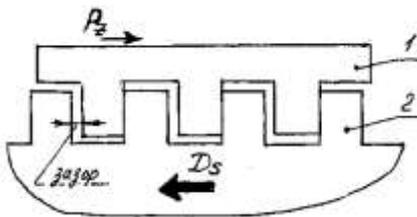


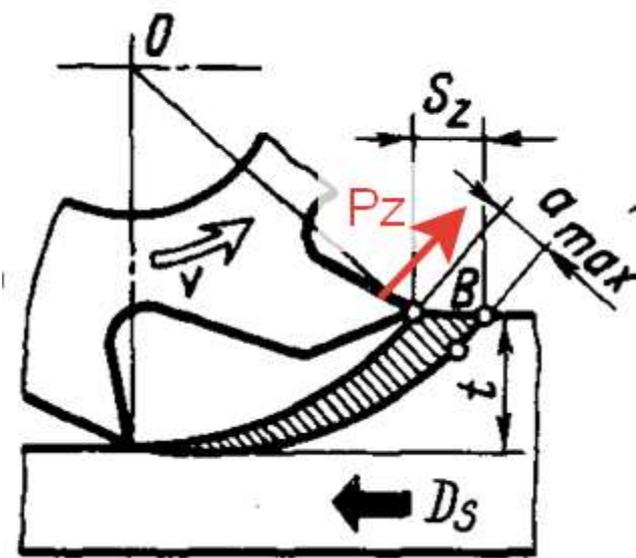
Схема выборки зазора в винтовой передаче при **встречном** фрезеровании;  
1 – гайка стола;  
2 – ходовой винт

### Достоинства **встречного** фрезерования

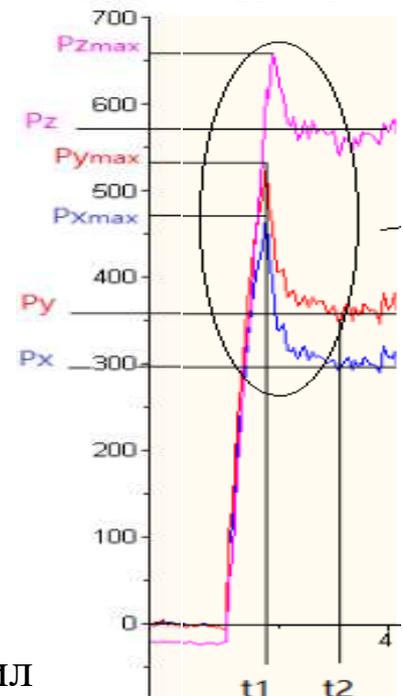
- 1) Нагрузка на зуб фрезы возрастает постепенно: от нуля при врезании (т.к. толщина среза  $a_i = a_{нач} = 0$  мм) до максимума (т.к.  $a_i = a_{max}$ ) на выходе из контакта;
- 2) Зубья фрезы работают из-под «корки», выламывая её снизу, начинают **врезаться в уже обработанную** чистую поверхность, что уменьшает износ при фрезеровании поковок с поверхностью, покрытой окалиной и наклёпанным слоем, а также литых заготовок;
- 3) Составляющая сила резания  $P_z$  направлена против движения подачи  $D_s$ , поэтому при этой схеме **зазоры** между боковыми поверхностями резьбы ходового винта и гайкой стола **всегда выбраны**, что, в отличие от попутного фрезерования, позволяет избежать рывков, т.е. резкого перемещения стола с гайкой в направлении действия силы резания при врезании очередного зуба.

**Недостатки встречного фрезерования:**

- 1) на этапе окончания работы зуба фрезы составляющая сила резания  $P_z$  стремится **оторвать заготовку** от стола станка ( $P_z$  будет направлена вправо и немного вверх, см. рис. а), что при больших сечениях среза приводит к дрожанию (вибрации) и ухудшению шероховатости обработанной поверхности, требуется надёжное закрепление заготовки;
- 2) при врезании режущая кромка зуба начинает работу с **нулевой толщиной среза**, что увеличивает составляющие силы резания **до появления стружки** (рис. б), увеличивает трение по задней поверхности и приводит к повышенному износу по задней поверхности. Но при обработке заготовки с «коркой» этот износ всё таки не такой интенсивный по сравнению с врезанием в «корку»;
- 3) врезание с нулевой толщиной среза приводит к затиранию поверхности, увеличивает наклёп и шероховатость обработанной поверхности;
- 4) к **окончанию работы зуба толщина среза максимальна**  $a_{max}$ , что приводит к **резкому снятию нагрузки на зуб** при выходе из контакта с заготовкой, что увеличивает вероятность выкрашивания режущей кромки.



а – **встречное** фрезерование



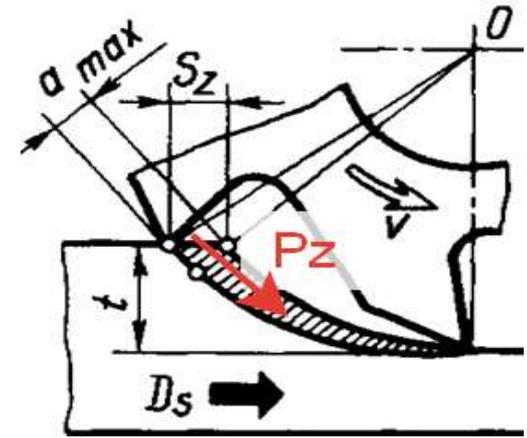
б – увеличение сил резания при врезании

**Достоинства попутного** фрезерования:

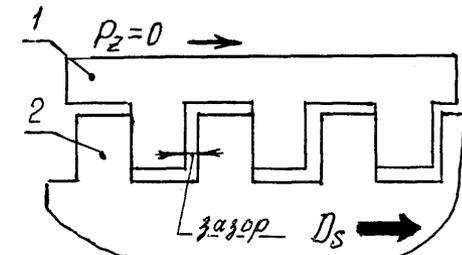
- 1) при попутном фрезеровании заготовка **прижимается** к столу силой  $P_z$ , требуется небольшая сила для прижатия заготовки к столу;
- 2) каждый зуб фрезы начинает **врезаться с максимальной толщиной среза**, **нет подмятия слоя металла** под режущую кромку, поэтому при предварительно обработанной и чистой поверхности износ по задней поверхности уменьшается;
- 3) при выходе из контакта с заготовкой толщина среза равна нулю ( $a_{\text{конечн}} = 0$  мм), что уменьшает шероховатость обработанной поверхности и вероятность выкрашивания режущей кромки из-за плавного уменьшения нагрузки до нуля, увеличивает точность обработки.

**Недостатки попутного** фрезерования:

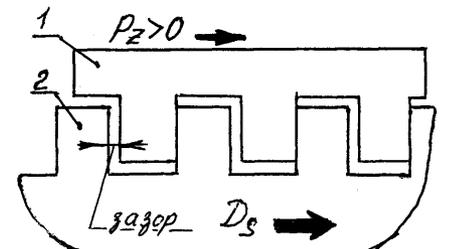
- 1) при наличии на заготовке окалины (корки) зуб ударяется о неё, что приводит к быстрому разрушению режущей кромки.
- 2) составляющая сила резания  $P_z$  направлена по направлению движения подачи, поэтому **если контакта зуба фрезы с заготовкой нет**, то **появляется зазор** между боковыми поверхностями резьбы ходового винта и гайкой стола из-за люфта (рис. **а**, **зазор слева от витка винта**). Когда зуб начинает врезаться, то от появившейся силы  $P_z$  стол дёргается в направлении действия этой силы, и зазор исчезает (рис. **б**, **зазор уже справа от витка винта**).



**попутное** фрезерование



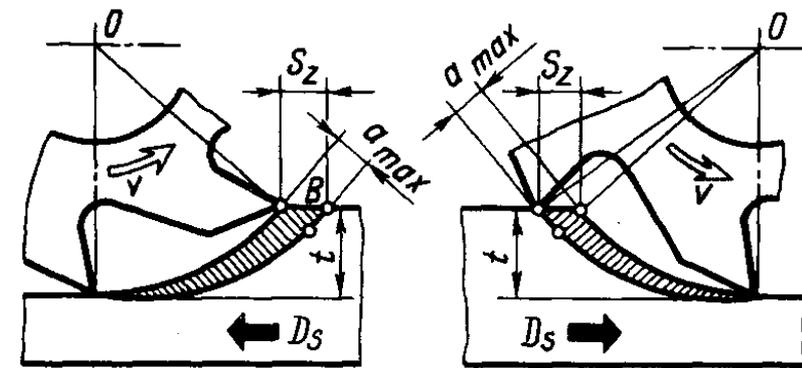
**а** - зазор **слева** от витка винта



**б** - зазор **справа** от витка винта

Схема резкой выборки зазора в винтовой передаче при **попутном** фрезеровании; **65**  
 1 – гайка стола; 2 – ходовой винт

**Встречное** фрезерование применяется при **черновой** обработке, а **попутное** – при **чистовой**, но обязательно при наличии без зазорного соединения по боковой поверхности ходового винта и гайки стола.



**а** – **встречное** фрезерование;

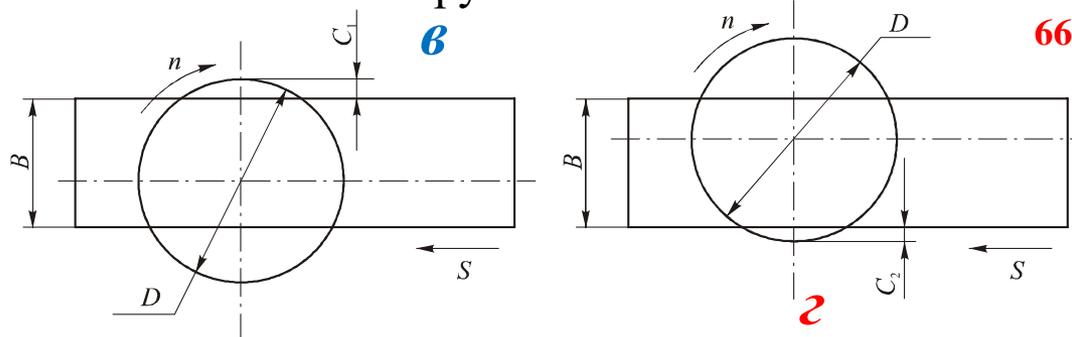
**б** – **попутное** фрезерование

При **торцовом** фрезеровании для достижения производительных режимов резания диаметр фрезы  $D$  должен быть больше ширины фрезерования  $B$ , т.е.

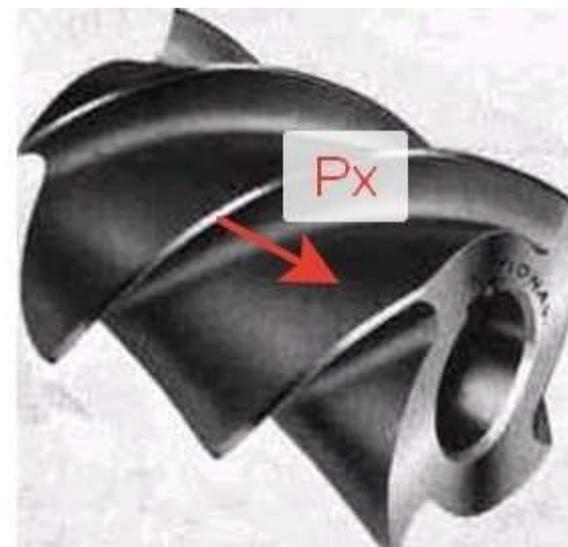
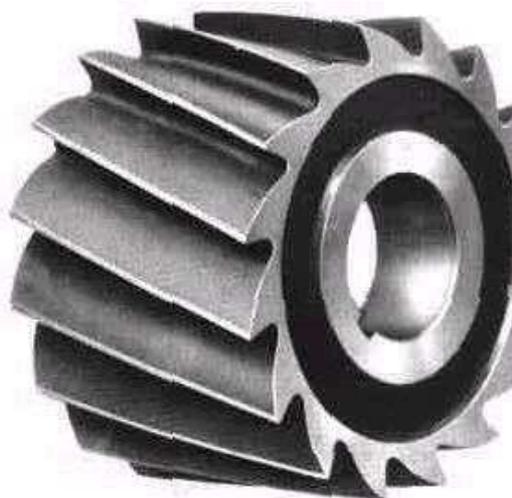
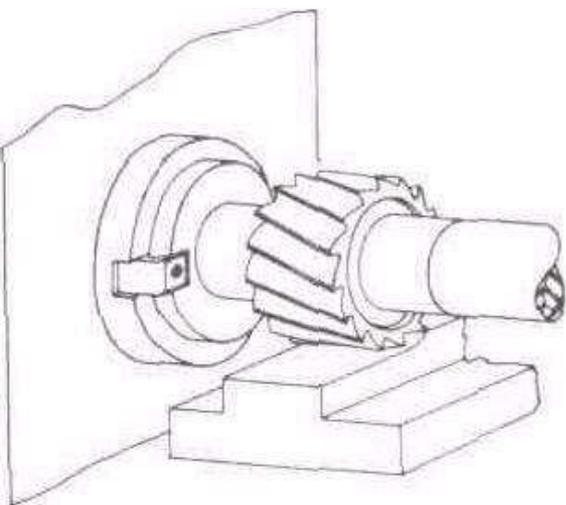
$D = (1,25...1,5) \times B$ , а при обработке заготовок обязательным является их **несимметричное расположение** относительно фрезы: для заготовок из **конструкционных углеродистых и легированных сталей** – сдвиг их **в направлении врезания зуба фрезы** (рис. **в**) ( $C_1=2-4$  мм), чем обеспечивается начало резания при малой толщине срезаемого слоя; для заготовок из **жаропрочных и коррозионно-стойких сталей** – сдвиг заготовки **в сторону выхода зуба фрезы из резания** (рис. **г**), чем обеспечивается выход зуба из резания с минимально возможной толщиной срезаемого слоя ( $C_2=2-4$  мм). Несоблюдение указанных правил приводит к значительному снижению стойкости инструмента.

Рис. **в** – при торцовом фрезеровании констр. стали ( $C_1=2-4$  мм);

**г** – при торцовом фрезеровании **жаропрочных и коррозионно-стойких сталей** ( $C_2=2-4$  мм)



Для уменьшения неравномерности фрезерования используется большое количество зубьев, а у цилиндрических и концевых фрез дополнительно используется **косозубая** и **винтовая** форма стружечных канавок. Недостатки: 1) появляется составляющая  $P_x$  силы резания в осевом направлении; 2) увеличивается интенсивность износа из-за увеличения трения вдоль режущей кромки, что вызывает увеличение температуры резания.



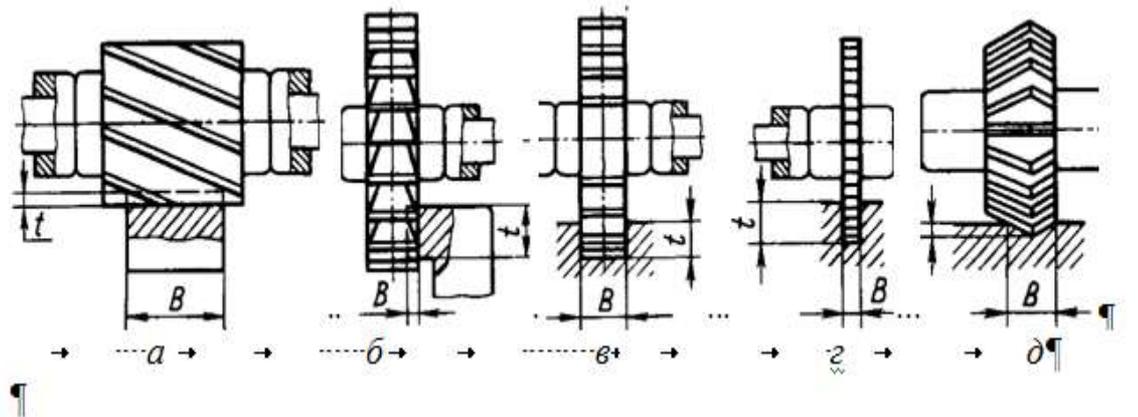
Глубина фрезерования  $t$  и ширина фрезерования  $B$  – понятия, связанные с размерами слоя заготовки, срезаемого при фрезеровании. **Во всех видах фрезерования, за исключением торцового,  $t$  определяет продолжительность контакта зуба фрезы с заготовкой;  $t$  измеряется в направлении, перпендикулярном к оси фрезы.**

**Ширина фрезерования  $B$  определяет длину лезвия зуба фрезы, участвующую в резании;  $B$  измеряется в направлении, параллельном оси фрезы.**

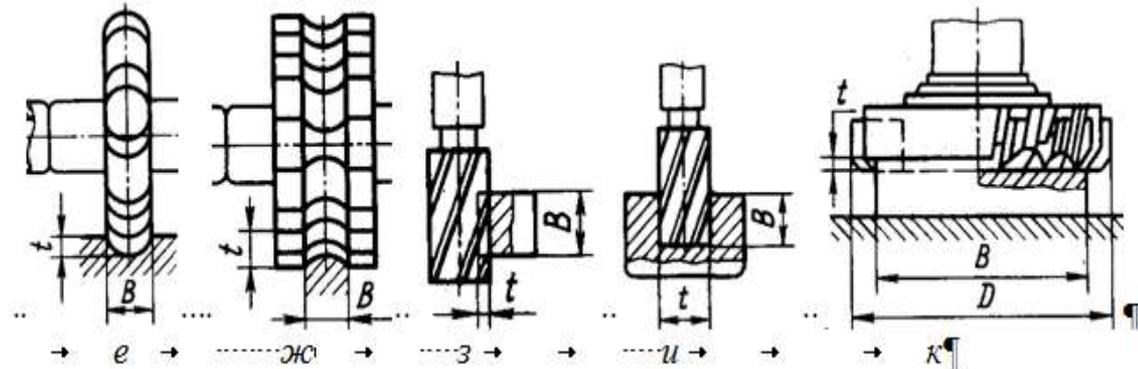
При **торцовом фрезеровании эти понятия меняются местами (рис. к).**

### Виды фрез

- a* – цилиндрические;
- б* – дисковые трехсторонние;
- в* – дисковые пазовые;
- г* – дисковые прорезные и отрезные;
- д* – дисковые угловые;



- e* – дисковые фасонные с выпуклым профилем;
- ж* – дисковые фасонные с вогнутым профилем;

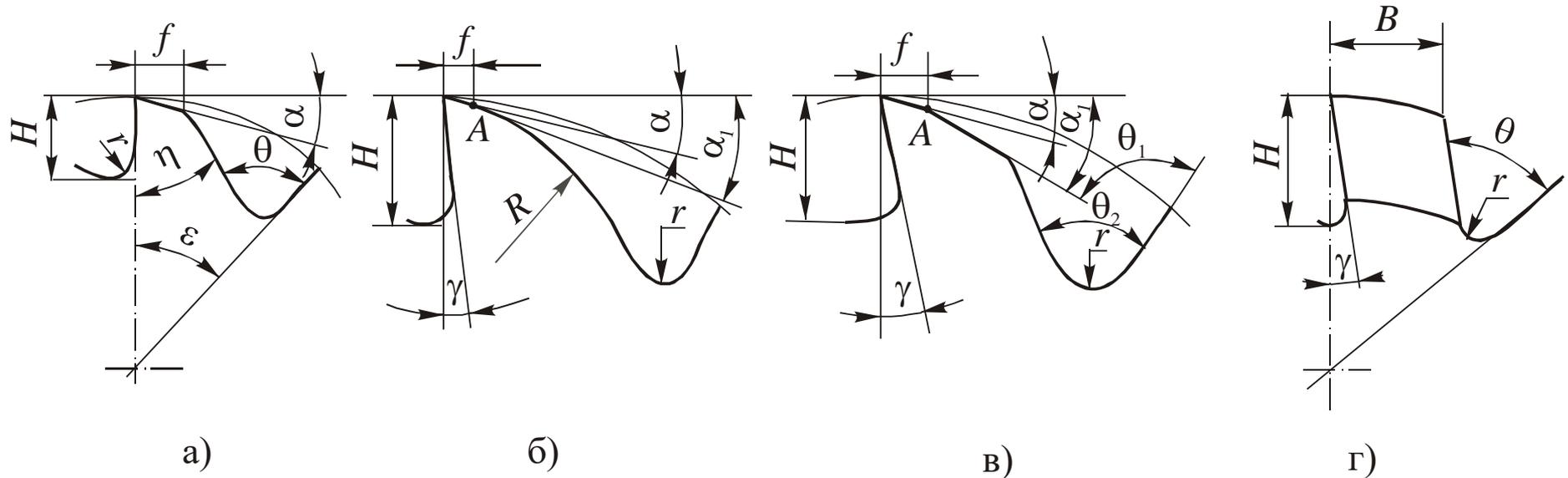


- з, и* – концевые;

**к** – торцовые.

**$t$  – глубина фрезерования;  $B$  – ширина фрезерования;  $D$  – диаметр фрезы**

По конструкции зубьев фрезы делятся на две большие группы: с **остроконечными** и с **затылованными** зубьями. Процесс фрезерования характеризуется снятием тонких стружек переменной толщины. **Переточка** остроконечных зубьев **по задней поверхности**, где в основном происходит износ при фрезеровании, позволяет уменьшить припуск на переточку, **увеличить срок службы фрезы**, уменьшить объем зубьев и главное – **увеличить их число  $z$** , от которого пропорционально зависит производительность процесса фрезерования ( $s_m = s_z \cdot z \cdot n$ ). **При увеличении числа зубьев фрезы снижается шероховатость обработанной поверхности и уменьшается неравномерность процесса резания.** На практике получили распространение три формы остроконечных зубьев: 1) трапецевидная, 2) параболическая; 3) усиленная.



**Формы зубьев** фрез: *а* – трапецевидная; *б* – параболическая; *в* – усиленная; *г* – затылованный зуб

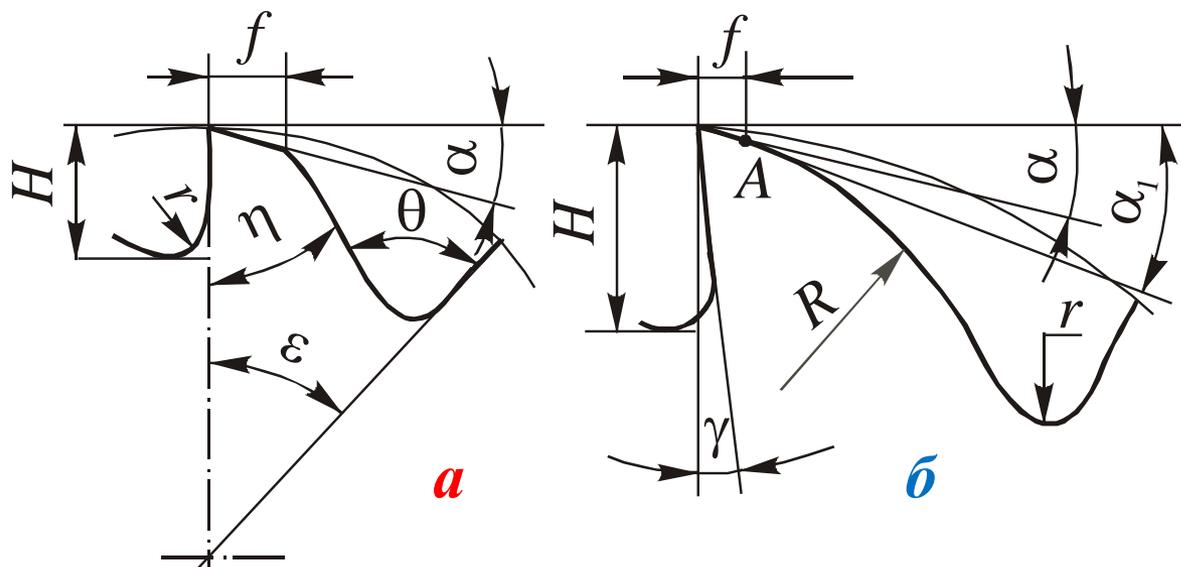
**Трапецевидная форма** (рис. **а**) наиболее простая в изготовлении, но при этом зуб несколько ослаблен, поэтому имеет небольшую высоту и малый объем стружечной канавки. По мере переточки зуба по задней грани (фаска  $f = 1 \dots 2$  мм) его высота уменьшается и он становится более прочным. Однако такая форма зубьев допускает **небольшое число переточек** и применяется на фрезе для **чистовой** обработки. При этом **число зубьев максимальное** из-за их малого объема. Канавки в таких фрезе изготавливают либо **фрезерованием**, либо вышлифовыванием эльборовыми или алмазными кругами в цельных заготовках на станках с ЧПУ.

**Параболическая форма** зуба (рис. **б**) обладает **наибольшей прочностью на изгиб**, так как спинка зуба, оформленная по параболе, обеспечивает равнопрочность во всех сечениях по высоте зуба. Недостатком этой формы является необходимость для **каждой высоты зуба** иметь свою **сложную фасонную канавочную фрезу**. Поэтому с целью упрощения профиля спинки таких фрез **параболу часто заменяют дугой окружности** радиусом  $R = (0,3 \dots 0,4)d$ .

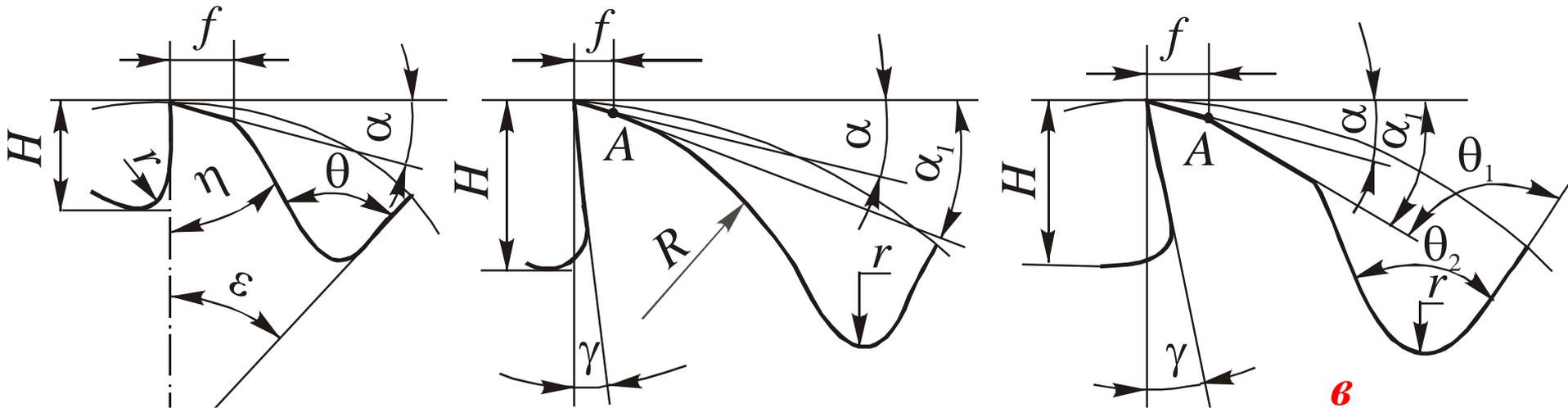
Формы зубьев:

**а** – трапецевидная;

**б** – параболическая



**Усиленная форма** зуба (рис. **в**) применяется для **тяжелых работ** вместо параболической формы. Такой зуб имеет ломаную спинку, а также увеличенную толщину и высоту. Получают эти зубья двойным фрезерованием угловыми фрезами с углами  $\theta_1 = 28...30^\circ$  и  $\theta_2$ . Хотя при этом число операций увеличивается вдвое, такие зубья **проще в изготовлении, чем параболические**. Они имеют **большой запас на переточку** и высокую прочность. При этом используются **стандартные канавочные фрезы** с прямолинейными режущими кромками. При переточке зубья затачиваются по задней поверхности под углом  $\alpha$  доостра с обязательным выхаживанием во избежание биения режущих кромок. Иногда оставляют **цилиндрические ленточки** шириной  $f_{\text{л}} = 0,02...0,03$  мм, которые упрощают **контроль биения зубьев** фрезы.



Формы зубьев *a* – трапециевидная; *b* – параболическая; ***v*** – усиленная;

**Затылованный зуб** (рис. 2) внешне отличается **большой толщиной**, а главное – **формой задней поверхности**, которая выполняется на специальной операции, называемой **затылованием**, с целью создания задних углов во **всех точках** режущих кромок.

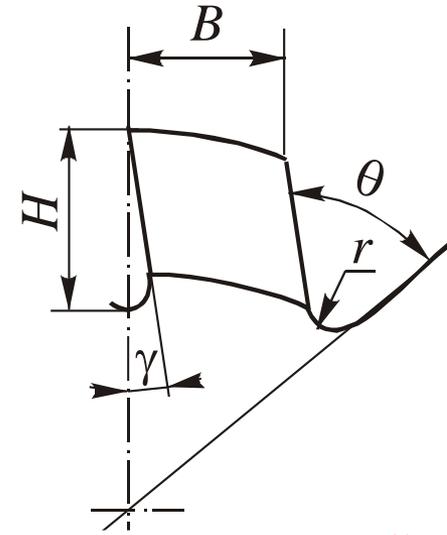
Достигается это за счет того, что радиальное сечение зуба, содержащее фасонный профиль, по мере поворота фрезы вокруг оси смещается в направлении к центру с помощью фасонного резца или шлифовального круга. Благодаря затылованию профиль режущей кромки зуба **при переточках по передней** поверхности во всех радиальных сечениях остается **неизменным**, поэтому используется при обработке **фасонных поверхностей**. Простая переточка по передней поверхности. Кроме того, зубья такой формы обладают **высокой прочностью**, а по мере переточки **объем канавок для размещения стружки увеличивается**, что благоприятно сказывается на работе фрезы. **Недостатки:**

1) **число зубьев** у затылованных фрез значительно **меньше**, чем у фрез с остроконечными зубьями. Это объясняется тем, что затылованные зубья имеют большую толщину, так как **при переточке по передней поверхности приходится снимать большой припуск**, чтобы избавиться от износа, который сосредоточен на **задней поверхности** зуба;

2) после переточки наблюдается **большое радиальное биение** зубьев, что приводит к увеличению шероховатости обработанной поверхности и снижению стойкости фрез;

3) у фрез с нешлифованным профилем зубьев после термообработки остаются **обезуглероженные участки на задней поверхности**, т.к. обрабатываются **до термообработки** и не шлифуются после неё. Это снижает их стойкость;

4) **остаточные термические напряжения** могут вызывать **искажение профиля** режущих кромок фрезы.



**2 – затылованный**  
зуб

## Порядок выбора и расчёта режимов резания при фрезеровании

Уточняется марка обрабатываемого материала, вид фрезерования, выбирается тип и размер фрезы, уточняется количество зубьев. Определяется глубина резания  $t$ , а для чернового фрезерования и наибольшая возможная глубина резания  $t$  и ширина фрезерования  $B$ , допустимая типом и размером фрезы, мощностью станка. После этого назначается подача. При фрезеровании различают *подачу* на один зуб  $s_z$ , подачу на один оборот фрезы  $s$  и подачу минутную  $s_M$ , мм/мин, которые находятся в следующем соотношении:  $s_M = s \times n = s_z \times z \times n$  (1)

где  $n$  – частота вращения фрезы, об/мин;  $z$  – количество зубьев фрезы.

Исходной величиной подачи при черновом фрезеровании является величина ее на один зуб  $s_z$ , при чистовом фрезеровании – на один оборот фрезы  $s$ , по которой для дальнейшего использования вычисляют величину подачи на один зуб  $s_z = s/z$ .

Рекомендуемые подачи для различных фрез и условий резания указаны в справочнике «Справочник технолога-машиностроителя» под редакцией Косиловой, т. 2, раздел «Общие сведения о выборе режимов резания», табл. 33 — 38. Рассчитывается скорость резания. *Скорость резания* – окружная скорость фрезы, м/мин,

Значения коэффициента  $C_v$  и показателей степени приведены в табл. 39, а периода стойкости  $T$  – в табл. 40.

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x s_z^y B^u z^p} K_v$$

Общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания  $K_v = K_{Mv} \times K_{nv} \times K_{uv}$ , где  $K_{Mv}$  – коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала (см. табл. 1 - 4);  $K_{nv}$  – коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки (см. табл. 5);  $K_{uv}$  – коэффициент, учитывающий материал инструмента (см. табл. 6).

## Порядок выбора и расчёта режимов резания при фрезеровании

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x s_z^y B^u z^p} K_v$$

После расчёта скорости резания, м/мин,

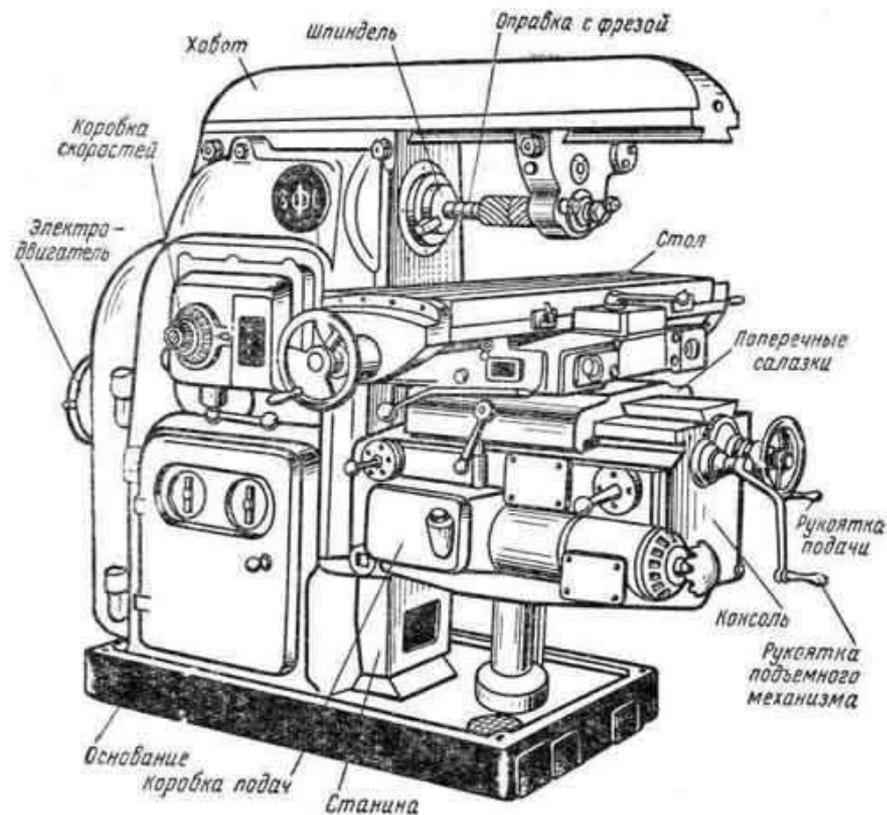
рассчитывается частота вращения фрезы  $n_{расч} = 1000 \cdot v / \pi \cdot D$ , об/мин.

По паспорту станка определяется ближайшая наименьшая частота вращения шпинделя,  $n_{пасп}$ , которая и принимается для установки на станке.

Рассчитывается минутная подача  $s_M$ :  $s_M = s_{об} \times n = s_z \times z \times n$

По паспорту станка определяется ближайшая наименьшая подача,  $s_{M пасп}$ , которая и принимается для установки на станке.

**Особенности конструкций фрез, оснащенных твердым сплавом (с.184)**



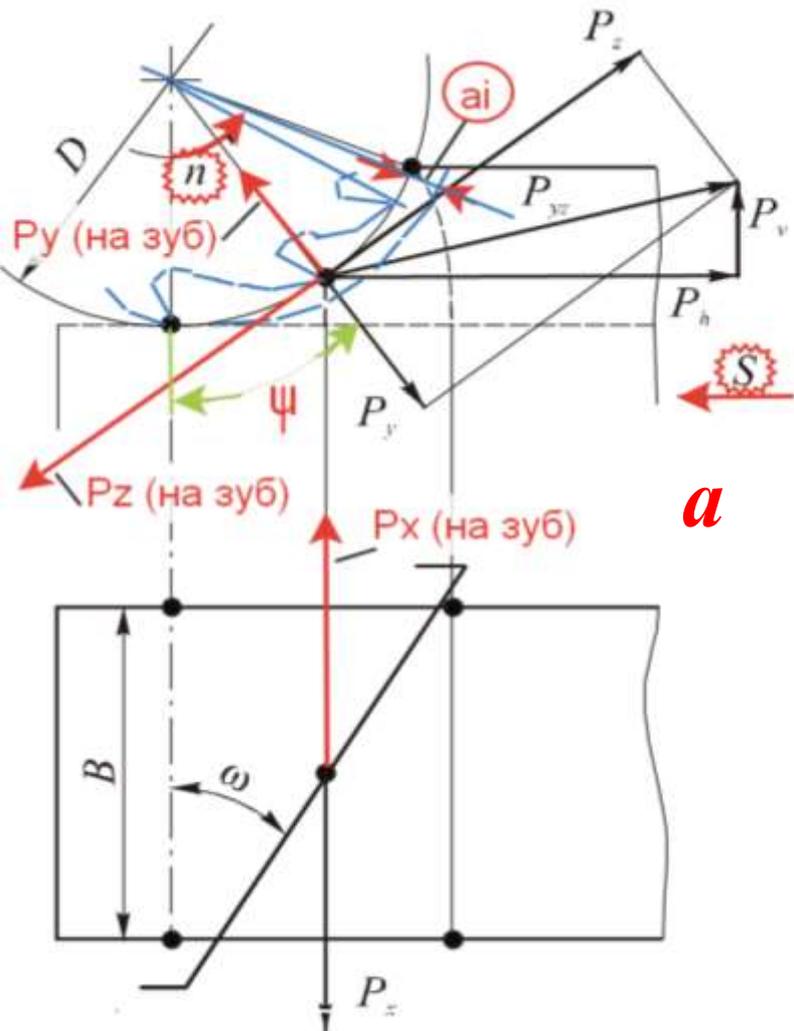
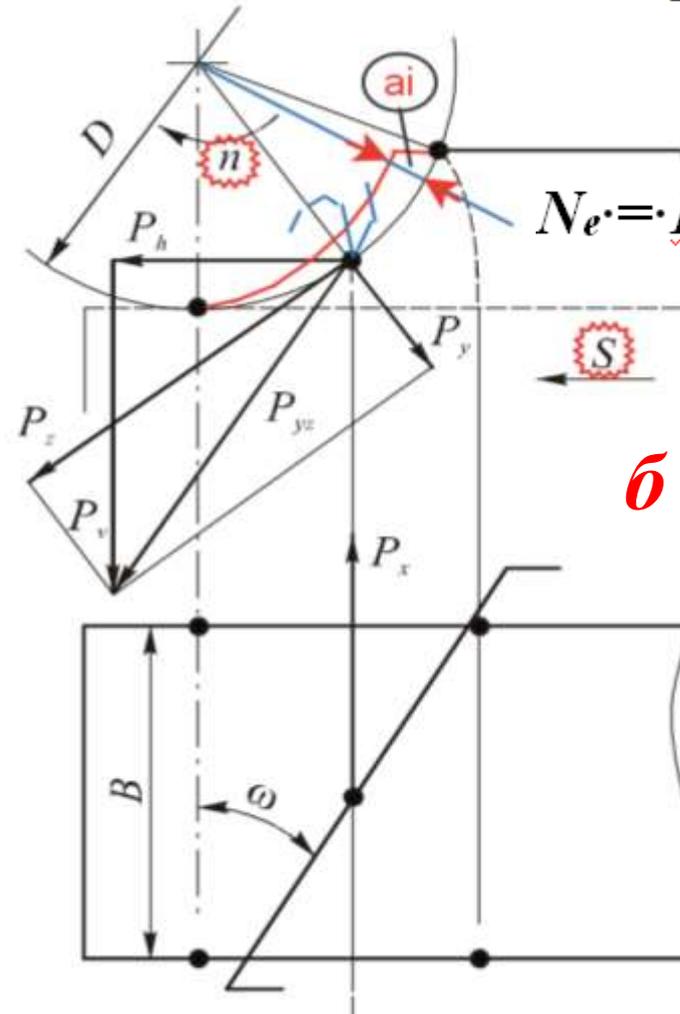
Расчёт составляющих  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_h$ ,  $P_v$ ,  $P_x$  силы резания

Фрезерование	$P_h/P_z$	$P_v/P_z$	$P_y/P_z$	$P_x/P_z$
--------------	-----------	-----------	-----------	-----------

$$P_z = \frac{10C_p t^x s_z^y B^u z}{D^q n^w} \times K_{Mp}$$

$$M = \frac{P_z \times D}{2 \times 1000}$$

$$Ne = P_z \times v / (1020 \cdot 60)$$

**a****b**

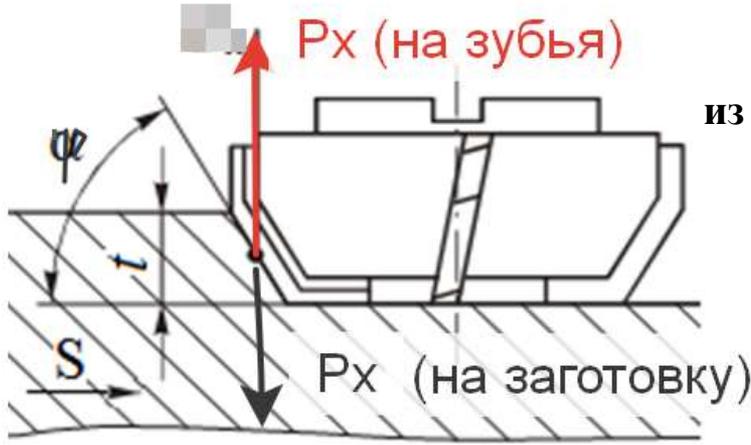
$$a_i = s_z \cdot \sin \psi;$$

$$a_{\max} \approx s_z \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{t}{d}}$$

Составляющие силы резания при фрезеровании цилиндрической фрезой: **a** - при **встречном** фрезеровании (против подачи); **b** — **попутном** (в направлении подачи)

# Направление составляющих $P_z, P_y, P_h, P_v, P_x$ силы резания

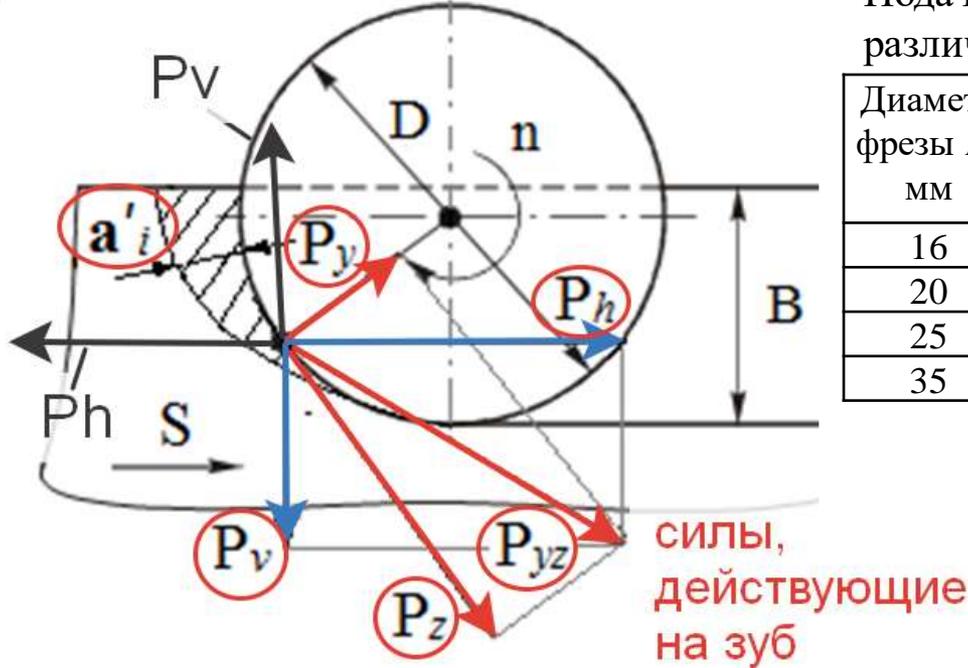
Подачи при **черновом** фрезеровании **торцовыми, цилиндрическими** и **дисковыми** фрезами с пластинами из **твердого сплава** (при  $B > 30$  мм подачу уменьшить на 30%)



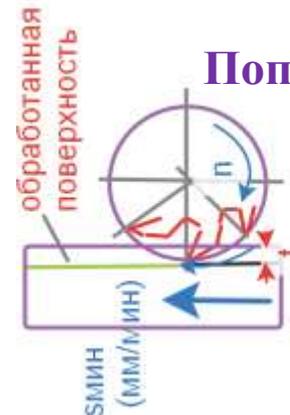
Мощность станка, кВт	Сталь	
	Подача на зуб фрезы $s_z$ , мм (мм/зуб), при	
	T15K6	T5K10
5 - 10	0,09 - 0,18	0,12 - 0,18
Св. 10	0,12 - 0,18	0,16 - 0,24

Подача при фрезеровании **стальных** заготовок различными фрезами из **быстрорежущей** стали

Диаметр фрезы $D$ , мм	Тип фрезы	Подача на зуб $s_z$ , мм, при глубине фрезерования $t$ , мм		
		3	5	6
16	<b>Концевые</b>	0,08 - 0,05	0,06 - 0,05	—
20		0,10 - 0,06	0,07 - 0,04	—
25		0,12 - 0,07	0,09 - 0,05	0,08 - 0,04
35		0,16 - 0,10	0,12 - 0,07	0,10 - 0,05



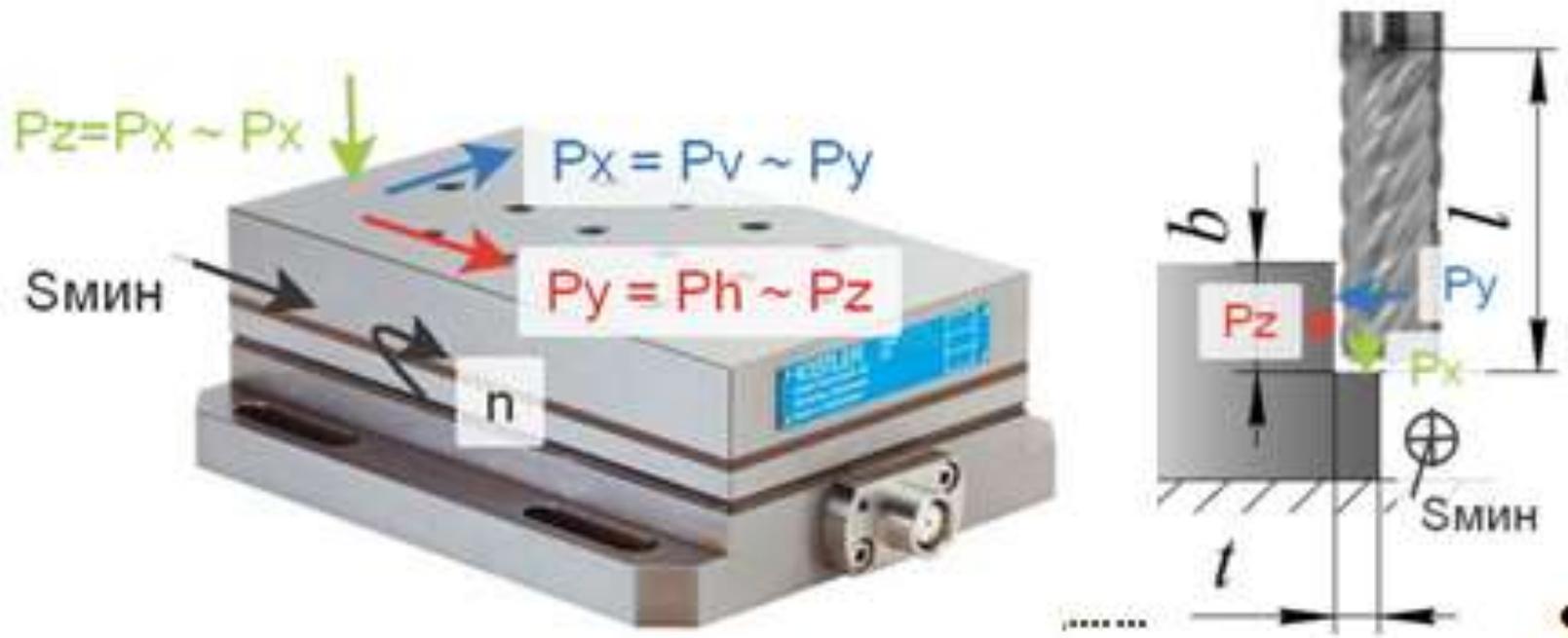
## Попутное фрезерование

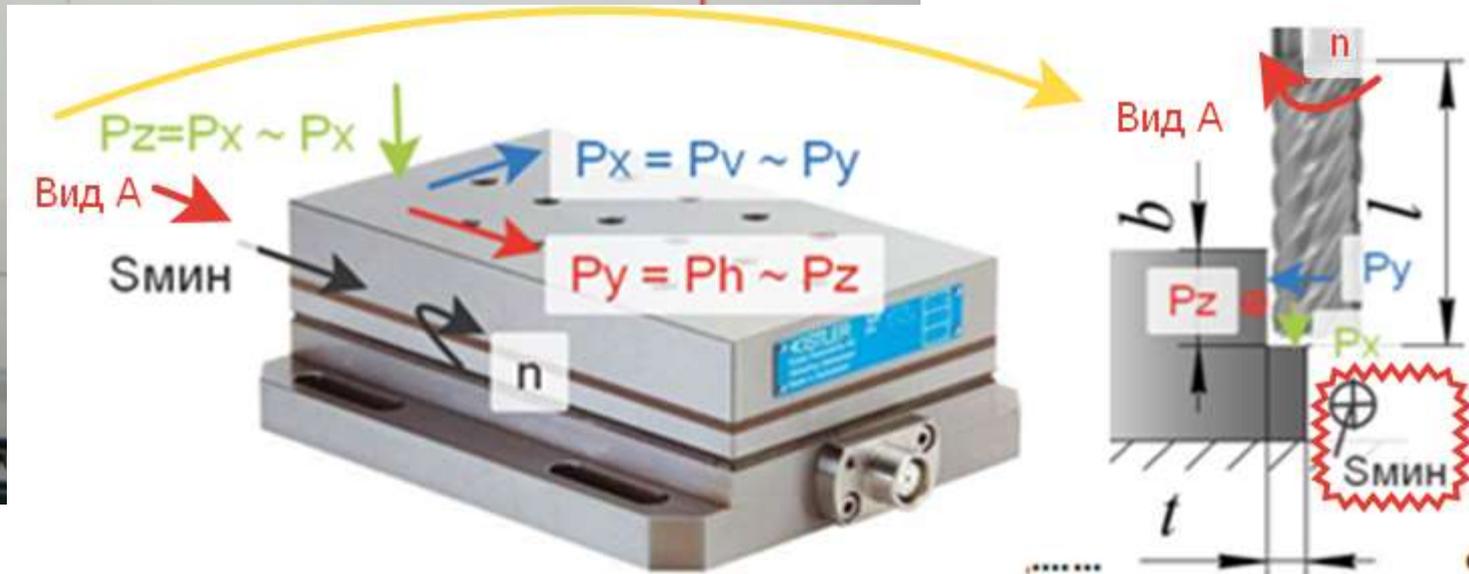
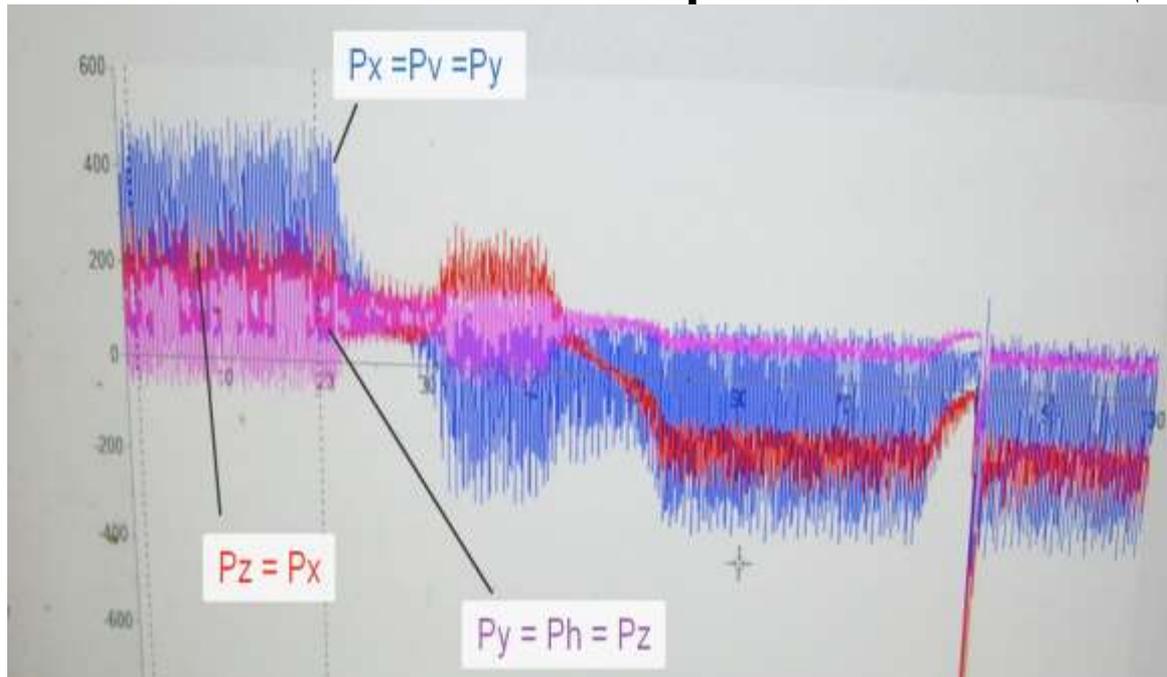


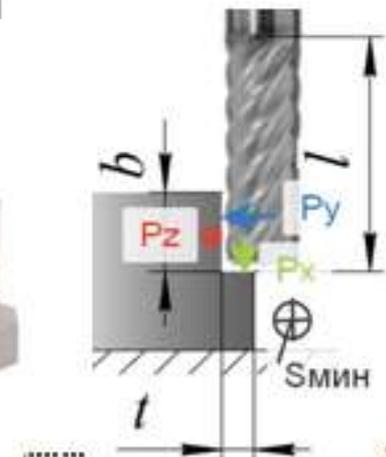
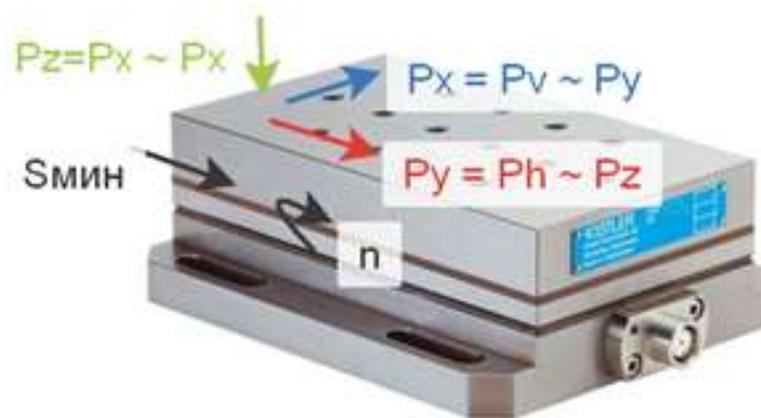
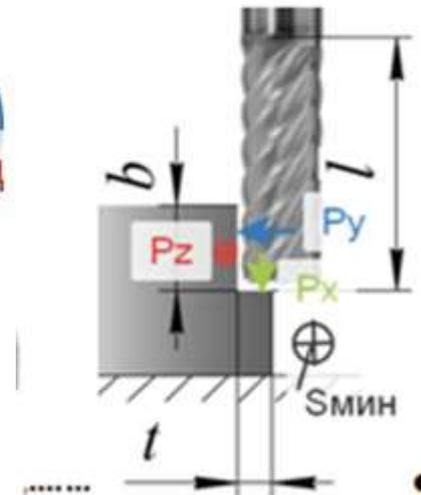
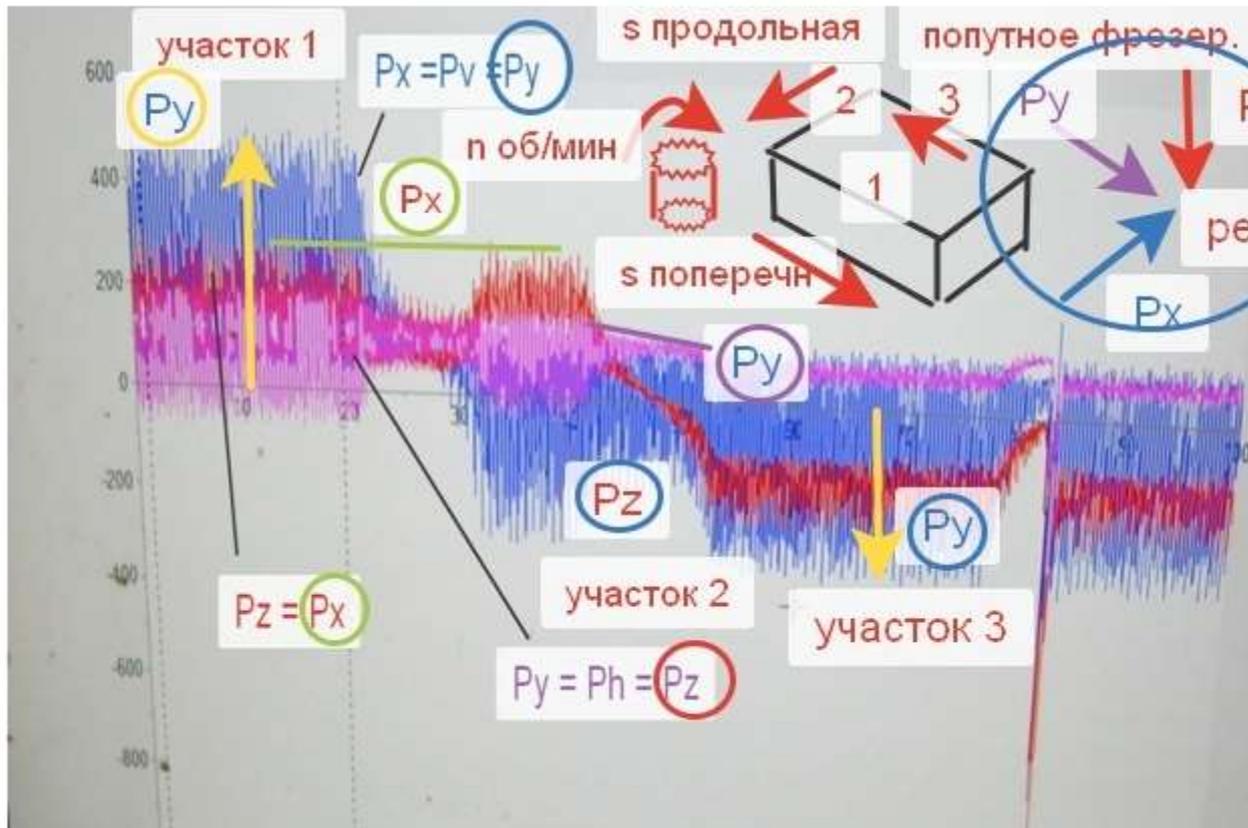
Составляющие силы резания при несимметричном **встречном** торцовом фрезеровании

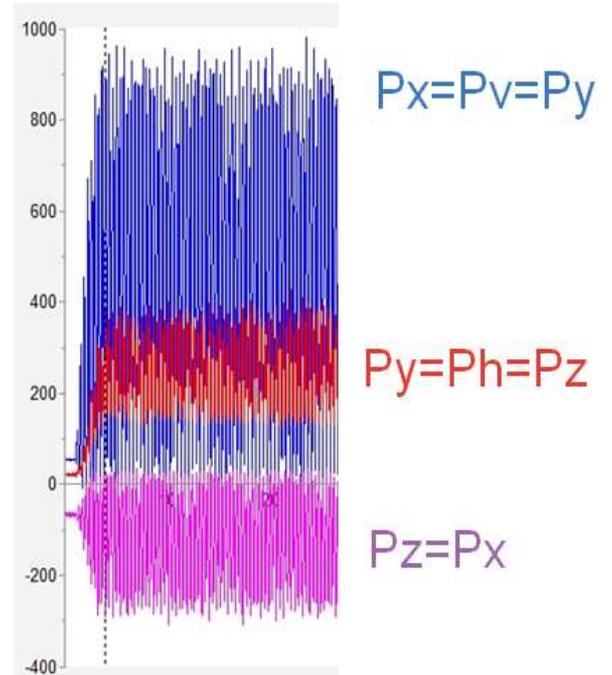
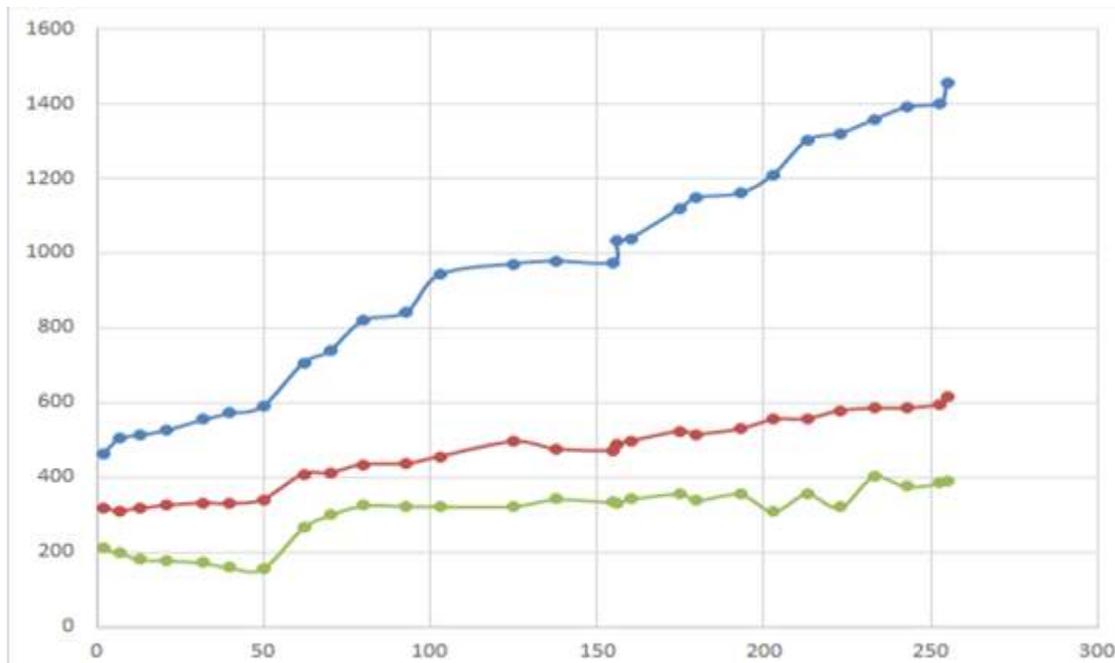
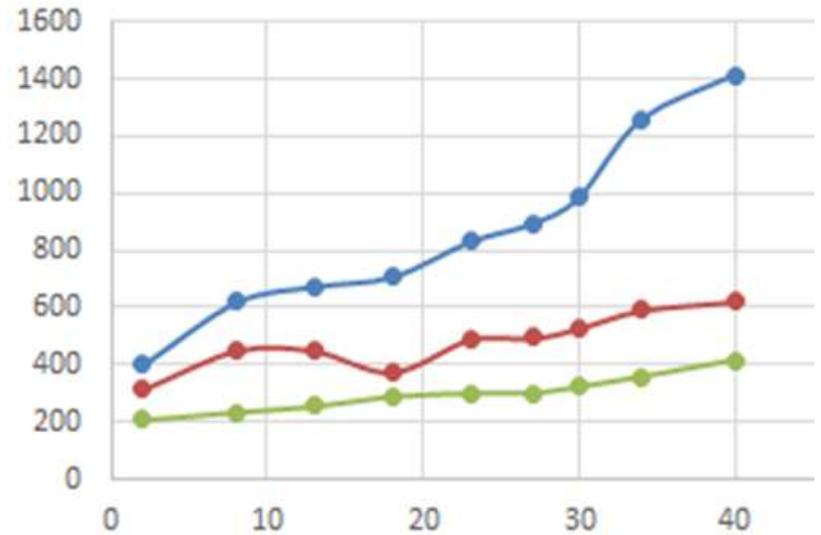
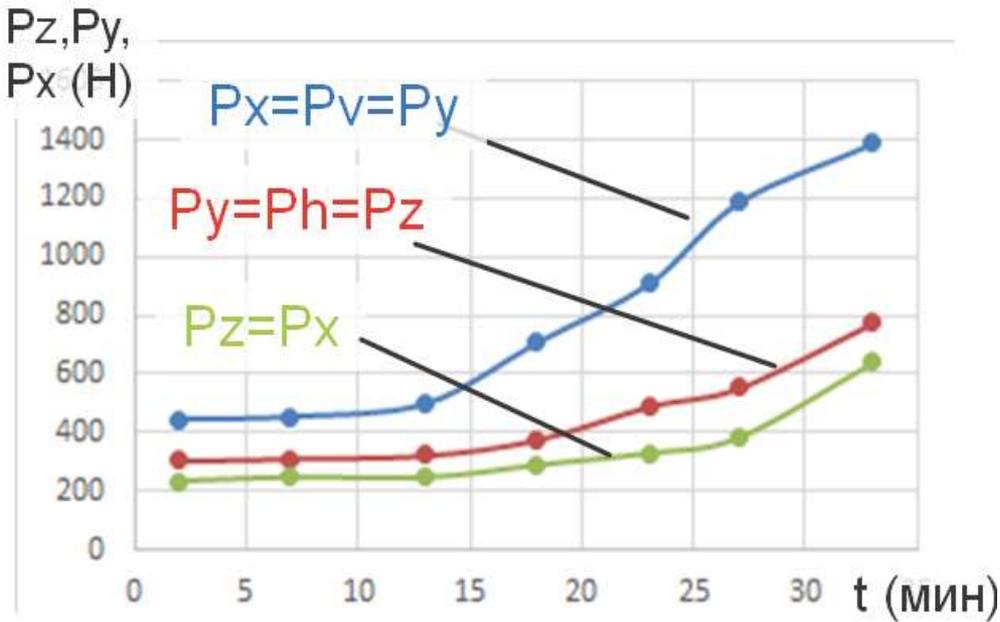
Общепринято символами  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$  обозначать составляющие силы резания, которые действуют на каждый зуб фрезы и поворачиваются вместе с фрезой относительно оси вращения шпинделя. При малой глубине резания  $t = 1$  мм эти направления соответствуют другой системе сил, действующими на заготовку со стороны зубьев фрезы (указаны третьими по порядку символами):  $P_z = P_x = P_x$ ,  $P_x = P_v = P_y$ ,  $P_y = P_h = P_z$ . Этими же цветами ( $P_z$  – зелёный,  $P_x$  – синий,  $P_y$  – красный) эти силы обозначаются на мониторе. Переходя к системе сил, действующих на заготовку со стороны фрезы, будут использоваться следующие приближения:  $P_x = P_z$ ,  $P_y \approx P_x$ ,  $P_z \approx P_y$ .

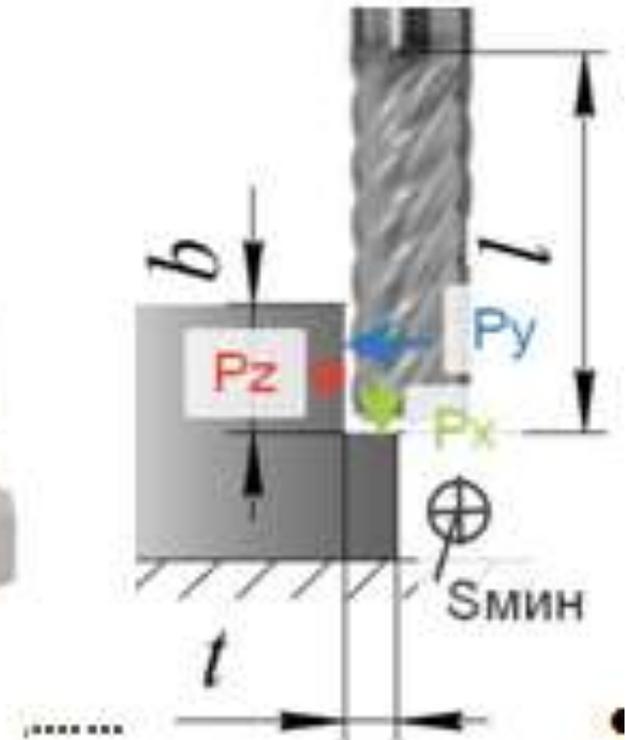
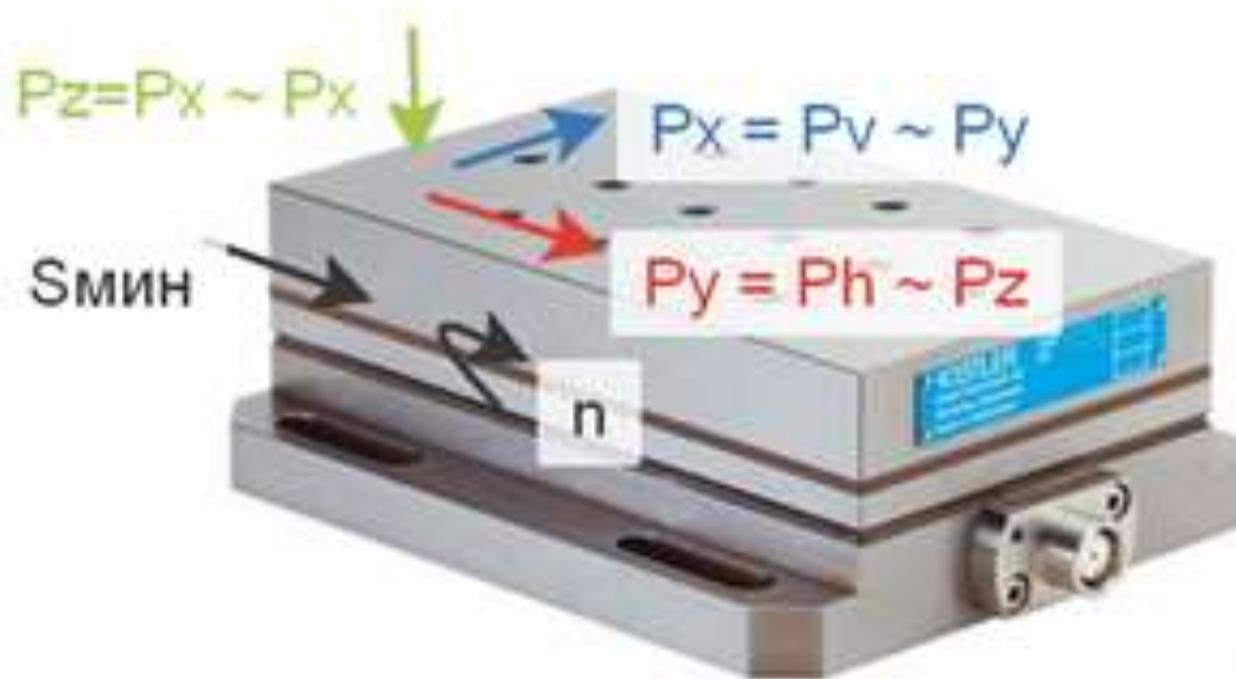
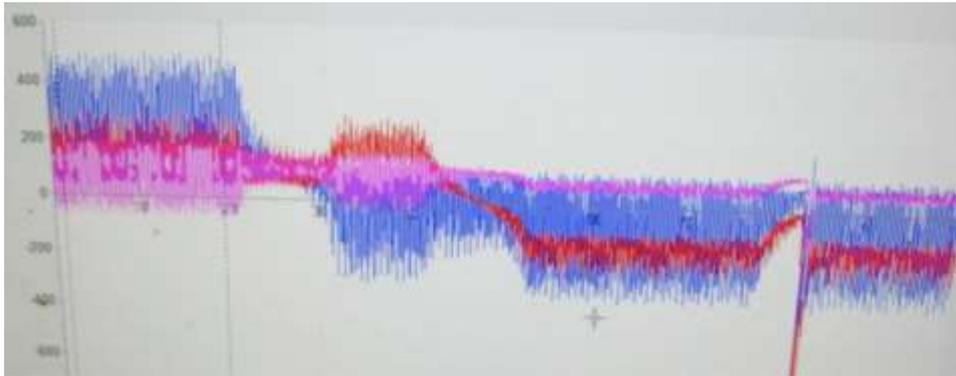
Таким образом, на фотографии монитора (отчёта Kistler, который исправить невозможно, т.к. его действия защиты в программу завода-изготовителя)  $P_z$  означает, что на самом деле это  $P_x$ ;  $P_x$  означает, что на самом деле это  $P_y$ ;  $P_y$  означает, что на самом деле это  $P_z$ . На графиках изменения сил в процессе фрезерования указаны действительные составляющие силы резания, действующие на заготовку со стороны фрезы.

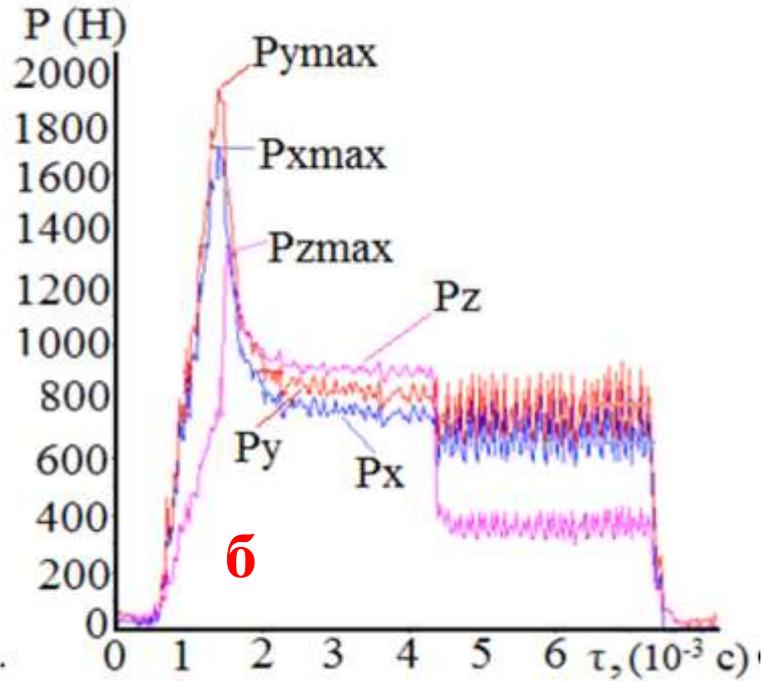
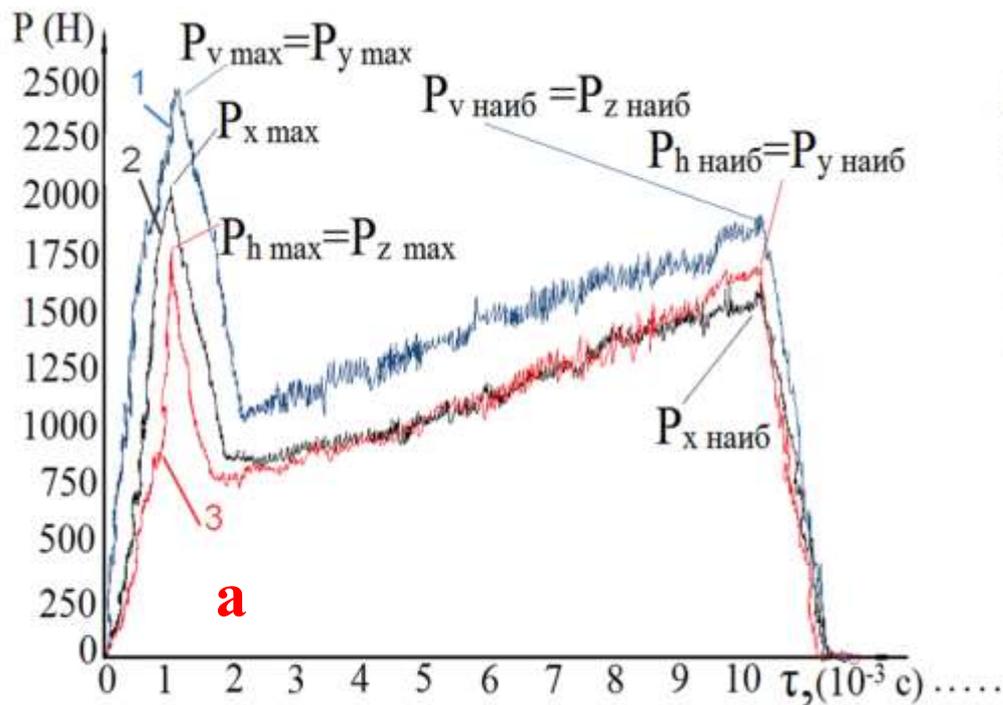










Фрезерование торцовой фрезой с  $\phi=45^\circ$  (а) и точение резцом с  $\phi=45^\circ$  (б)

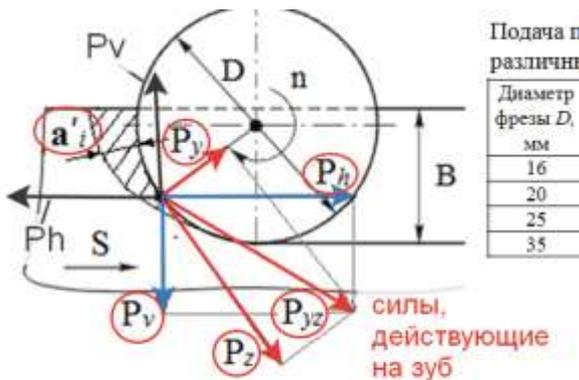
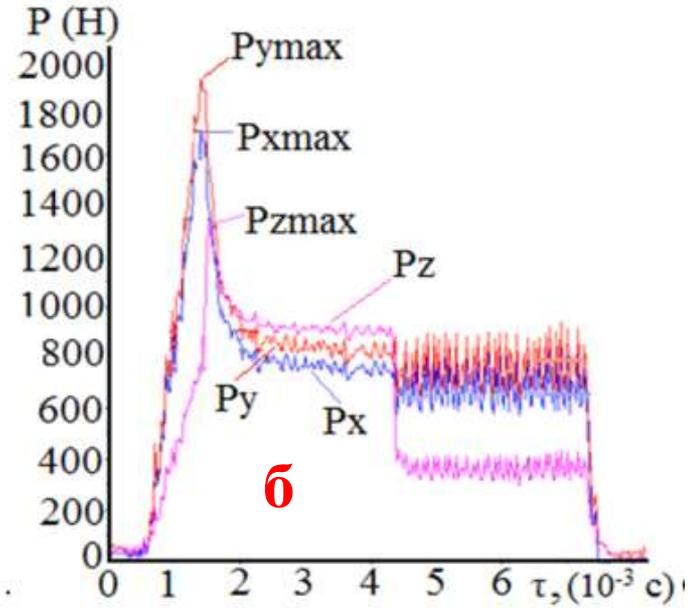
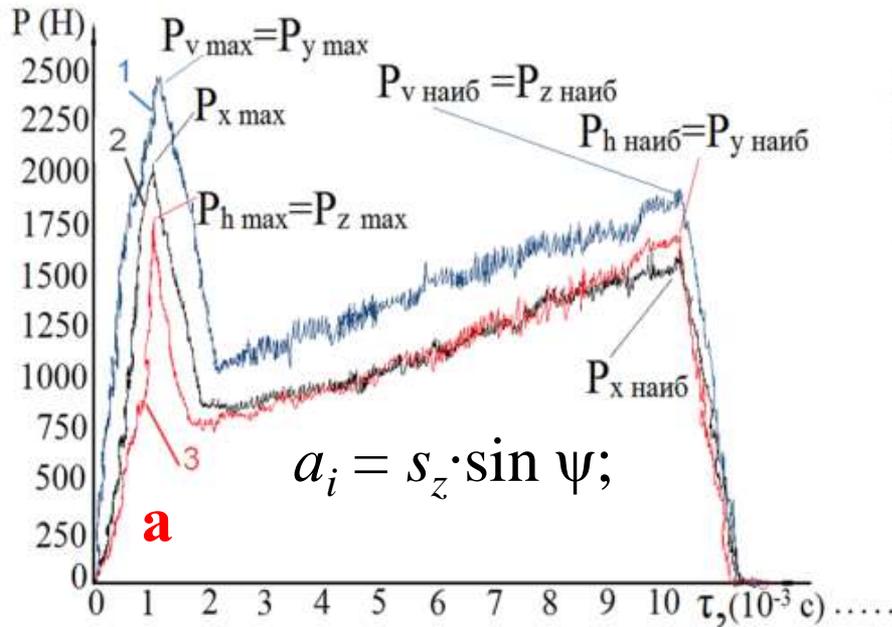
Изменение составляющих силы резания при обработке стали 40Х. Ордината – составляющие силы резания (Н), абсцисса – время обработки  $\tau$  (с).

**а** — при **торцовом фрезеровании** фрезой с одним зубом с углом наклона главной режущей кромки  $\phi = 45^\circ$ , **1** –  $P_v$ , **2** –  $P_x$ , **3** –  $P_h$ ;

**б** — при **точении** резцом **с врезанием в коническую поверхность**, оставленную после предыдущей обработки резцом с углом в плане  $\phi = 45^\circ$ ,  $s = 0,07$  мм/об,  $v = 120$  м/мин,  $t = 1,8$  мм

Фрезерование (продолжение) основная проблема измерения сил при фрезеровании – это **изменение направления действия сил  $P_z$  и  $P_y$  из-за поворота зуба фрезы** и их величины из-за изменения толщины среза  $a_i$

## Фрезерование торцевой фрезой с $\phi=45^\circ$ (а) и точение резцом с $\phi=45^\circ$ (б)



Составляющие силы резания при несимметричном встречном торцевом фрезеровании



## Особенности конструкций фрез, оснащенных твердым сплавом (с.184)

Конструкции фрез и условия их работы позволяют широко использовать для их оснащения высокопроизводительные **твердые сплавы**, минералокерамику и СТМ, которые, однако, обладают пониженной прочностью на изгиб и хрупкостью. Широкому применению твердых сплавов способствуют следующие достоинства процесса фрезерования: 1) благоприятная форма стружки, имеющая малые толщину и длину, обеспечивающая ее хорошую транспортабельность; 2) прерывистость процесса резания, снижающая тепловое напряжение режущих элементов; 3) высокие жесткость и виброустойчивость.

Основное применение		Дополнительное применение	
■	Чистовая	□	Чистовая
■■	Получистовая	□□	Получистовая
■■■	Черновая	□□□	Черновая

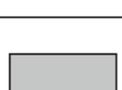
Группа	Материал
P	Углеродистая, конструкционная, легированная сталь
M	Нержавеющая сталь
K	Чугун
N	Алюминий и другие цветные металлы
S	Жаропрочные сплавы
S	Титан и титановые сплавы
H	Закалённые стали

**PUJA-40W40-R5WN06** – фреза плунжерная, чистовая, с углом 10°, возможность осевого плунжерения, Ø40, концевая креплением «Weldon» Ø40, правая, 3 зуба, с пластиной WN..0603..

**FUAL-63N22-R4ZO11/45** - фреза торцевая, черновая с углом 90°, с удлиненной режущей кромкой, Ø63, насадная с внутренним подводом СОЖ Ø22, правая, 4 зуба, с пластиной ZO..1104.., 45 суммарная длина режущей кромки.

## Фрезерование (продолжение)

уппа	
P	Углеродистая, конструкционная, легир
M	Нержавеющая сталь
K	Чугун
N	Алюминий и другие цветные металлы
S	Жаропрочные сплавы
S	Титан и титановые сплавы
H	Закалённые стали

Марка твердого сплава		P	M	K	N	S	S	H
<b>TP20AM</b>		■ ■ □□□	□ □□			□ □□		
Износостойкая основа из среднезернистого, легированного сплава с градиентной структурой + мультислойное PVD покрытие								
<b>TP25AM</b>		■ ■ ■ ■	□□ □□□			□□ □□□		
Основа из среднезернистого, легированного сплава с градиентной структурой + мультислойное PVD покрытие								
<b>TP40AM</b>		■ ■ ■ ■	□□□			□□□		
Прочная основа из среднезернистого, легированного сплава с градиентной структурой + мультислойное PVD покрытие								
<b>AP10TT</b>			■ ■ ■	■ ■ ■				□
Износостойкая основа из мелкозернистого сплава + мультислойное PVD покрытие								
<b>AP30XM</b>			■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■				
Прочная основа из мелкозернистого сплава + мультислойное PVD покрытие								
<b>AP10XM</b>			■ ■ ■	■ ■ ■		■		■
Износостойкая основа из мелкозернистого сплава + мультислойное PVD покрытие								
<b>BP35XM</b>				■ ■ ■ ■		■ ■		
Основа из среднезернистого сплава + мультислойное PVD покрытие								
<b>A10</b>					■ ■ ■	■ ■		
Износостойкий мелкозернистый сплав без покрытия								
<b>A30</b>					■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■		
Прочный мелкозернистый сплав без покрытия								

## Фрезерование (продолжение)

Группы обрабатываемого материала	Обозначение, вид, описание					
	Вид	Описание	Вид	Описание	Вид	Описание
<b>P</b>		<b>FP</b> острая режущая кромка, чистовая геометрия		<b>EP</b> скругленная режущая кромка, получистовая геометрия		<b>SP</b> упрочняющая фаска, черновая геометрия
<b>M</b>		<b>FM</b> острая режущая кромка, чистовая геометрия		<b>EM</b> скругленная режущая кромка, получистовая геометрия		<b>SM</b> упрочняющая фаска, черновая геометрия
<b>S</b>		<b>FM</b> острая режущая кромка, чистовая геометрия		<b>EM</b> скругленная режущая кромка, получистовая геометрия		<b>SM</b> упрочняющая фаска, черновая геометрия
<b>K</b>		<b>FK</b> острая режущая кромка, чистовая геометрия		<b>EK</b> скругленная режущая кромка, получистовая геометрия		<b>SK</b> упрочняющая фаска, черновая геометрия
<b>H</b>		<b>FK</b> острая режущая кромка, чистовая геометрия		<b>EK</b> скругленная режущая кромка, получистовая геометрия		<b>SK</b> упрочняющая фаска, черновая геометрия
<b>N</b>	<b>Полированная передняя поверхность</b>					
		<b>FN</b> острая режущая кромка, чистовая геометрия		<b>EN</b> скругленная режущая кромка, получистовая геометрия		

уппа	
<b>P</b>	Углеродистая, конструкционная, легированная
<b>M</b>	Нержавеющая сталь
<b>K</b>	Чугун
<b>N</b>	Алюминий и другие цветные металлы
<b>S</b>	Жаропрочные сплавы
<b>S</b>	Титан и титановые сплавы
<b>H</b>	Закалённые стали

## Фрезерование (продолжение)

F	R	A	S	—	80	N	27
F	H	B	X	—	160	N	40
P	U	J	A	—	40	W	40
F	U	A	L	—	63	N	22
1	2	3	4		5	6	7

1	Тип обработки	2	Вид обработки
F	Фрезерование плоскостей и уступов	U	Универсальная
T	фрезерование пазов и отрезка	F	Чистовая
C	Профильное фрезерование	R	Черновая
P	Плунжерная обработка	H	Обдирочная

3	Угол в плане							
Угол	90°	75°	60°	45°	91°	00°	15°	10°
Обозначение	A	B	E	D	G	R	K	J

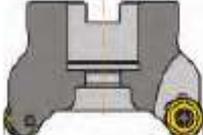
4	Применение	5	Диаметр фрезы
S	Стандартные (фрезы общего применения)		
L	Удлиненная режущая кромка		
D	Возможность сверления		
A	Возможность осевого плунжерения		
X	Обдирка		
C	Обработка цветных металлов		
H	Удлиненная серия		

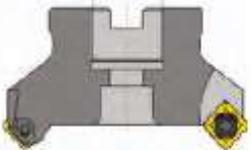
Примеры обозначения:  
**1-2-3-4 5-6-7 8-9-10-11-12**  
**PUJA-40W40-R5WN06** –  
 фреза **плунжерная**,  
**универсальная**, с углом  
 $\phi=10^\circ$ , с возможностью  
 осевого **плунжерования**,  
 $\text{ØD}$  фрезы **40** мм,  
 тип «**Weldon**»,  
**Øприсоединения 40** мм,  
**(8)-правая (wRite)**, **5** зубьев,  
 с пластиной **WN..0603...** ;

**FRAL-63N22-R4ZO11/45** –  
 фреза **торцевая**, **черновая**, с  
 углом  $\phi=90^\circ$ , с **удлиненной**  
**режущей кромкой**,  $\text{ØD}$  фрезы  
**63** мм, **насадная (N)**,  
**Øприсоединения 22** мм, с  
*внутренним подводом СОЖ*,  
**правая**, **4** зуба, с пластиной  
**ZO..1104...**, / суммарная длина  
 режущей кромки **45** мм.

## Фрезерование (продолжение)

—	R	6	ZP	15	-	-
—	R	12	SN	19	-	P
—	R	3	XD	13	-	-
—	R	4	ZA	11	/45	-
	8	9	10	11	12	13

6	Вид посадки		
A	W	N	
Цилиндр	«Weldon»	Насадная	
			

7	Диаметр посадки	
		

8	Направление обработки	
R	L	
Правое	Левое	
		

9	Количество зубьев
10	Форма пластины
11	Длина режущей кромки
12	Суммарная длина режущей кромки

13	Дополнительные сведения
P	Крепление токарных пластин, тип «P»
D	Крепление токарных пластин, тип «D»

Примеры обозначения:

**1-2-3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8-9-10-11-12**  
**P-U-J-A - 40-W-40 - R-5-WN06**

**PUJA-40W40-R5WN06** – фреза **плунжерная, универсальная**, с углом  $\phi=10^\circ$ , с возможностью осевого **плунжерования**, **ØD** фрезы **40** мм, тип «Weldon», **Øприсоединения 40** мм, (8)-**правая** (wRite), **5** зубьев, с пластиной **WN..0603...** ;

**FRAL-63N22-R4ZO11/45** – фреза **торцевая, черновая**, с углом  $\phi=90^\circ$ , с удлиненной режущей кромкой, **ØD** фрезы **63** мм, **насадная** (N), **Øприсоединения 22** мм, с *внутренним подводом СОЖ*, **правая, 4** зуба, с пластиной **ZO..1104...**, / суммарная длина режущей кромки **45** мм.

## Фрезерование (продолжение)

Вид фрезы											
Обозначение	FUDS		FRAS			FUGA					
Примечание	Однорядные										
Диаметр фрез	Угол в плане										
	45°		90°				91°				
25			*				*				
32	*		*				*				
40	*		*	*			*	*			
50	*	*	*	*	*		*	*	*	*	
63		*		*	*			*	*	*	
80		*		*	*			*	*	*	
100		*		*	*			*	*	*	
125		*		*	*			*	*	*	
160											
Пластина	Длина режущей кромки	13		11	15	11	15	11	15	15	
	Вид										
	Обозначение	SDHT 1305AD SDHW 1305AD		ZAHT 1104..R	ZPHT 1506...R	ZAHT 1104..R	ZPHT 1506..R	ZAHT 1104..R	ZPHT 1506..R	ZAHT 1104..R	ZPHT 1506..R
Стр.	190	191	193	199	194	200	195	201	196	202	

Примеры обозначения:

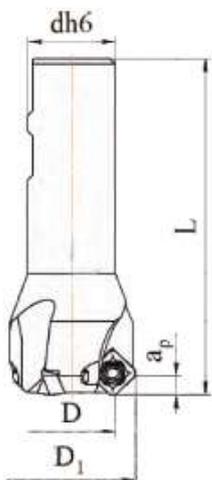
**1-2-3-4** – **5-6-7** – **8-9-10-11-12**  
**P-U-J-A** – **40-W-40** – **R-5-WN06**

**PUJA-40W40-R5WN06** – фреза **плунжерная, универсальная**, с углом  $\varphi=10^\circ$ , с возможностью осевого плунжерования,  $\varnothing D$  фрезы **40** мм, тип «Weldon», **Øприсоединения 40** мм, **(8)-правая** (wRite), **5** зубьев, с пластиной **WN..0603...** ;

**FRAL-63N22-R4ZO11/45** – фреза **торцевая, черновая**, с углом  $\varphi=90^\circ$ , с удлинённой режущей кромкой,  $\varnothing D$  фрезы **63** мм, **насадная (N)**, **Øприсоединения 22** мм, с внутренним подводом СОЖ, **правая, 4** зуба, с пластиной **ZO..1104...** , / суммарная длина режущей кромки **45** мм.



Обработка:  
пазов,  
плоскостей,  
уступов,  
фасок



Фрезерование (продолжение)

Примеры обозначения:

**1-2-3-4** – **5-6-7** – **8-9-10-11-12**  
**P-U-J-A** – **40-W-40** – **R-5-WN06**

**PUJA-40W40-R5WN06** – фреза  
**плунжерная, универсальная**, с  
углом  $\phi=10^\circ$ , с возможностью  
осевого плунжерования,  $\phi D$   
фрезы **40** мм, тип «Weldon»,  
**Ø** присоединения **40** мм, **(8)-**  
**правая** (wRite), **5** зубьев, с  
пластиной **WN..0603...** ;

Серия SD

45°

Концевые

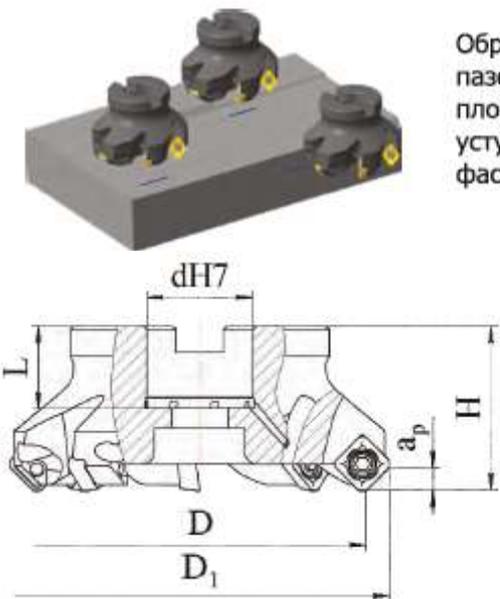
**FRAL-63N22-R4ZO11/45** – фреза  
**торцевая, черновая**, с углом  
 $\phi=90^\circ$ , с удлинённой режущей  
кромкой,  $\phi D$  фрезы **63** мм,  
**насадная (N)**, **Ø** присоединения  
**22** мм, с внутренним подводом  
**СОЖ**, **правая, 4** зуба, с пластиной  
**ZO..1104...**, / суммарная длина  
режущей кромки **45** мм.

Обозначение	D	D <sub>1</sub>	d	L*	a <sub>p</sub>	Z	Пластины
FUDS-32W32-R3SD13	32	46,5	32	125	6,8	3	SDHT 1305AD
FUDS-40W32-R4SD13	40	54,5	32	125	6,8	4	SDHW 1305AD

Комплект

Винт	Ключ
SM5×14	K20IP

## Серия SD



Обработка:  
пазов,  
плоскостей  
уступов,  
фасок

Насадные

45°



Примеры обозначения:

1-2-3-4 – 5-6-7 – 8-9-10-11-12

**FUDS-50N22-R4SD13** – фреза  
**торцевая, универсальная**, с  
углом  $\phi=45^\circ$ , стандартная,  $\varnothing D$   
фрезы **50** мм, **насадная (N)**,  
**Øприсоединения 22** мм, **правая**,  
**4 зуба**, с пластиной **SD..13...**, /  
суммарная длина режущей кромки  
----- мм.

Обозначение	D	D <sub>1</sub>	H	d	L	a <sub>p</sub>	Z	Пластины
FUDS-50N22-R4SD13	50	64,5	40	22	20	6,8	4	SDHT 1305AD SDHW 1305AD
FUDS-63N22-R5SD13	63	77,5	40	22	20	6,8	5	
FUDS-80N27-R6SD13	80	94,5	50	27	22	6,8	6	
FUDS-100N32-R8SD13	100	114,5	50	32	25	6,8	8	
FUDS-125N40-R10SD13	125	139,5	60	40	29	6,8	10	

# Схема службы управления механосборочным цехом

