

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

---

---

# ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ГЕОМЕТРИИ ФРЕЗ

---

---

САМАРА 1995

Составитель В.Д.С м о л и н

УДК 621.9.02

Изучение конструкции и геометрии фрез: Метод. указания к лаб. работе/  
Самар. гос. аэрокосм. ун-т: Сост. В.Д.С м о л и н. Самара, 1995.  
18 с.

Методические указания знакомят студентов с назначением и типами фрез, содержат краткие сведения о конструкции и геометрии режущего инструмента, знакомят с практическими навыками замера основных конструктивных элементов цилиндрической фрезы различными измерительными инструментами, с методикой расчета некоторых параметров фрезы.

Предназначены для студентов потока 2-III<sub>1</sub>. Выполнены на кафедре резания, станков и режущих инструментов.

Рецензент доц. А.В.Т а р а с о в

## В В Е Д Е Н И Е

Фрезерование является одним из высокопроизводительных и распространенных методов обработки металлов резанием. Оно осуществляется при помощи инструмента, называемого фрезой. Фреза—это лезвийный инструмент (рис.1) для обработки с вращательным главным движением резания и хотя бы с одним движением подачи, направление которого не совпадает с осью вращения [1]. Каждый зуб фрезы представляет собой по существу резец, вращающийся вокруг оси фрезы. В зависимости от направления вращения фрезы и направления подачи различают встречное и попутное фрезерование. При попутном фрезеровании (векторы  $\vec{V}$  и  $\vec{V}_s$  в зоне резания совпадают) обработанная поверхность чище, погрешность обработки меньше и процесс резания экономичнее.

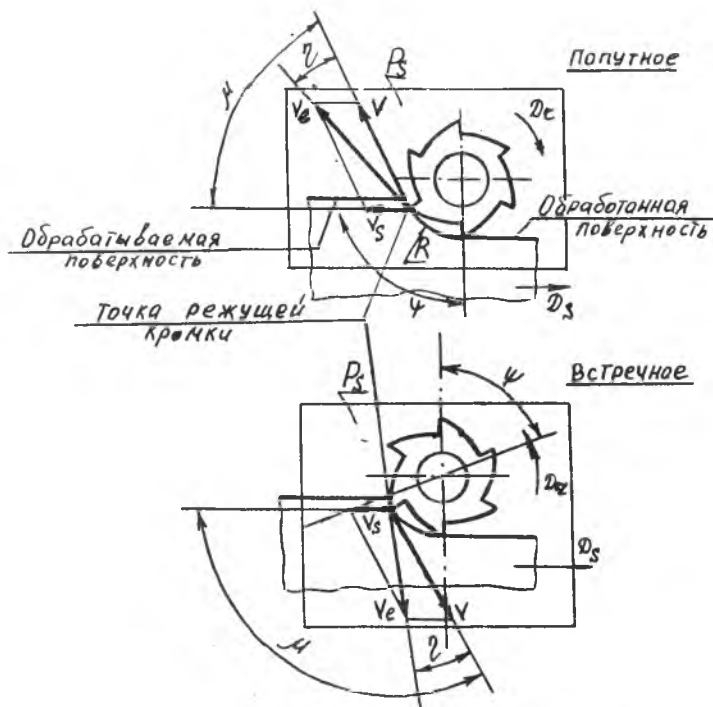
Наиболее широкое применение в металлообработке получили следующие типы фрез (рис.2): цилиндрические и торцевые (а,б) для обработки плоскостей; дисковые, отрезные и прорезные (в,г,д) для фрезерования пазов, уступов и разрезки заготовок; концевые (е,ж) для обработки уступов, плоскостей и фрезерования пазов; угловые (з) для фрезерования канавок углового профиля; фасонные (и,к) для изготовления различных фасонных поверхностей. Фрезы делаются цельными, составными, сборными с режущей частью из быстрорежущих сталей или твердого сплава.

Целью работы является изучение элементов конструкции и геометрии двух типов фрез, ознакомление с некоторыми вопросами их конструирования и эксплуатации, составление отчета.

### НАЗНАЧЕНИЕ, ТИПЫ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ФРЕЗ

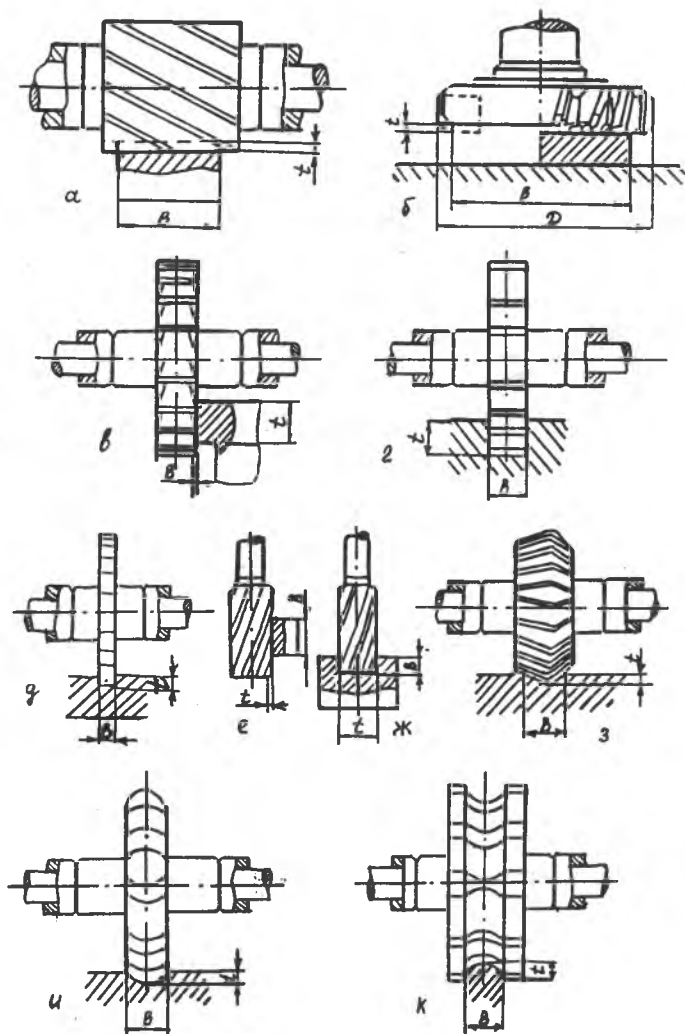
Многообразие операций, выполняемых на фрезерных станках, обусловило разнообразие типов, форм и размеров фрез. Для изготовления и контроля инструмента применяется инструментальная система координат

с началом в вершине лезвия, ориентированная относительно геометрических элементов режущего инструмента, принятых за базу [2]. Направление скорости главного движения резания ( $V$ ) принимается по касательной к траектории вращательного движения (рис.3). Основная плоскость  $P_{\text{вн}}^*$  проходит через рассматриваемую точку (I) режущей кромки (K) перпендикулярно  $\bar{V}$  в этой точке.

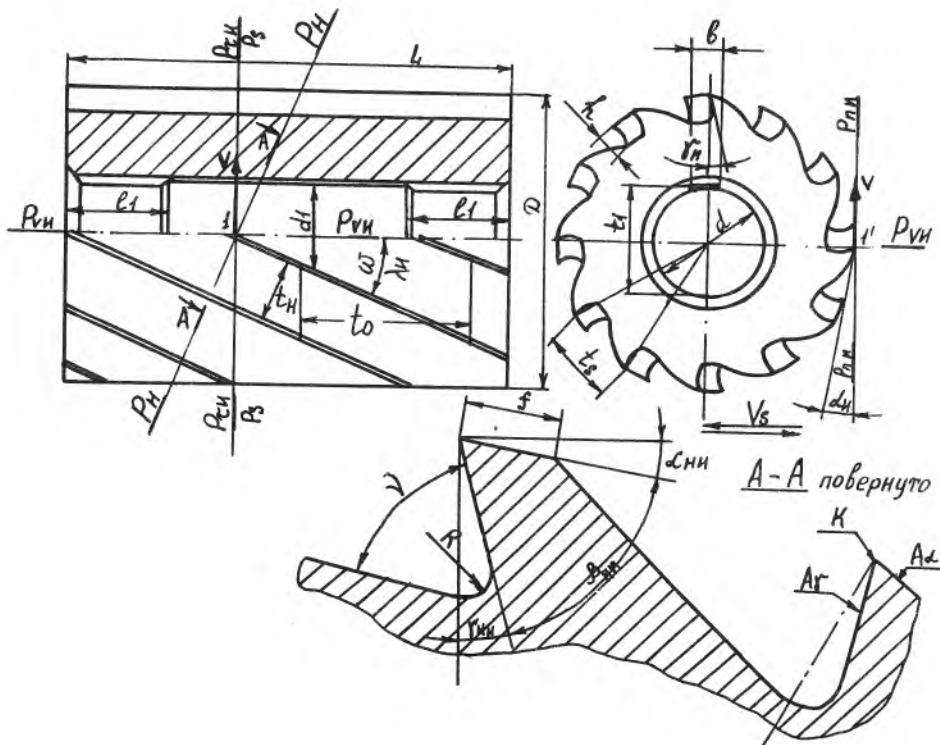


Р и с.1. Элементы движений в процессе резания при периферийном фрезеровании:  $V_e$  - направление скорости результирующего движения резания;  $V$  - направление скорости главного движения резания;  $P_s$  - рабочая плоскость;  $D_s$  - движение подачи;  $V_s$  - направление скорости движения подачи;  $D_v$  - главное движение резания;  $R$  - поверхность резания;  $\gamma$  - угол скорости резания;  $\mu$  - угол подачи

\* Иногда в технической литературе индекс "И" опускается, а в названии опускается термин "инструментальная", угол  $\gamma_{\text{ин}}$  обозначают  $\gamma$  или  $\gamma_{\text{н}}$ ;  $d_{\text{ин}} - d$ ;  $\gamma_{\text{ни}} - \gamma_{\text{н}}$ ;  $d_{\text{ни}} - d_{\text{н}}$ .



Р и с. 2. Наиболее распространенные типы фрез: а-цилиндрическая; б-торцовая; в, г-дисковые; д-отрезная или прорезная; е, ж-концевая; з-угловая; и, к-фасонные



Р и с.3. Конструкция и геометрия цилиндрической фрезы:  
 $D$  - диаметр фрезы;  $L$  - ширина фрезы;  $R$  - радиус впадины;  $f$  - ширина задней поверхности ( $A_d$ );  $\omega$  - угол наклона зубьев;  
 $\gamma$  - угол канавки;  $t_n$  - нормальный шаг;  $t_a$  - размер под шпонку;  
 $b$  - ширина шпоночного паза;  $t_s$  - окружной шаг;  $d$  - диаметр посадочного отверстия;  $l_1$  - длина посадочного отверстия;  $h$  - высота зуба;  $t_0$  - осевой шаг

Цилиндрические фрезы (рис.3) применяются на горизонтально-фрезерных станках при обработке плоскостей. Эти фрезы могут быть с прямыми ( $\omega=0$ ) и винтовыми ( $\omega \neq 0$ ) зубьями. В конструкции и геометрии цилиндрической фрезы имеется много общего с другими типами фрез. Геометрические параметры режущей части фрезы зависят от расположения

координатных плоскостей. Инструментальная плоскость резания ( $P_{\text{ин}}$ ) касательна к "К" в рассматриваемой точке и перпендикулярна  $P_V$ . Инструментальная главная секущая плоскость ( $P_{\text{тн}}$ ) перпендикулярна линии пересечения  $P_V$  и  $P_n$ . Рабочая плоскость ( $P_s$ ) содержит в себе векторы  $\vec{V}$  и  $\vec{V}_s$  (см. рис. 1). Нормальная секущая плоскость ( $P_n$ ) перпендикулярна режущей кромке в рассматриваемой точке.

К основным элементам лезвия относятся [2]:  $A_T$  - передняя поверхность лезвия, контактирующая в процессе резания со срезаемым слоем и стружкой;  $A_d$  - главная задняя поверхность лезвия, контактирующая в процессе резания с поверхностями заготовки и примыкающая к главной режущей кромке (К); инструментальный главный передний угол ( $\gamma_n^*$ ) находится в инструментальной главной секущей плоскости  $P_{\text{тн}}$  между основной плоскостью  $P_{\text{вн}}$  и плоскостью, касательной к передней поверхности  $A_T$  в рассматриваемой точке "К"; инструментальный главный задний угол  $\lambda_n^*$  измеряется в  $P_{\text{тн}}$  между  $P_{\text{ин}}$  и плоскостью, касательной к  $A_d$  в рассматриваемой точке "К".

Угол в плане  $\varphi$  находится в основной плоскости между  $P_n$  и  $P_s$  (для точки "1"  $\varphi=90^\circ$ ); в плоскости  $P_n$  измеряются углы  $\gamma_{\text{нн}}$ ,  $\lambda_{\text{нн}}$ ,  $\beta_{\text{нн}}$ ; инструментальный угол наклона кромки  $\lambda_n$  измеряется в  $P_{\text{ин}}$  между  $P_V$  и касательной к "К" (для точки "1"  $\lambda_n=\omega$ ).

Окружной (торцовый) шаг между зубьями

$$t_s = \pi D / Z, \quad (1)$$

где  $Z$  - число зубьев фрезы.

Осевой шаг

$$t_o = t_s \cdot \text{ctg} \omega. \quad (2)$$

Нормальный шаг

$$t_n = t_o \cdot \sin \omega. \quad (3)$$

Углы в плоскостях  $P_{\text{тн}}$  и  $P_n$  связаны зависимостями:

$$\text{tg} \gamma_{\text{нн}} = \text{tg} \gamma_n \cdot \cos \omega, \quad (4)$$

$$\text{tg} \lambda_{\text{нн}} = \text{tg} \lambda_n / \cos \omega. \quad (5)$$

Винтовые фрезы по сравнению с прямозубыми обеспечивают более равномерное фрезерование и повышенную стойкость, и поэтому находят в промышленности большее применение. Обычно для фрез с мелким зубом  $Z=10-18$ , а угол  $\omega=30-35^\circ$ . Для фрез с крупным зубом  $Z=6-12$ ,  $\omega=40^\circ$ .

При выборе числа зубьев необходимым условием является одновременное участие в работе не менее трех зубьев, что обеспечивает приемлемые ударные нагрузки, т.е.

$$\frac{Z\psi}{360} + \frac{BZta\omega}{\pi D} \geq 3, \quad (6)$$

где  $\psi$  - угол контакта фрезы с поверхностью резания;

$B$  - ширина фрезерования (см.рис.1).

Шероховатость  $A_r$  и  $A_z$ ,  $R_z \leq 16$ , поверхности посадочного отверстия  $d$  и опорных торцов  $R_a \leq 1,25$ . Радиальное биение режущих кромок зубьев относительно оси отверстия не должно превышать 0,04мм для двух смежных зубьев и 0,08мм для диаметрально расположенных.

Торцовые фрезы (рис.4) применяются при обработке плоскостей преимущественно на вертикально-фрезерных станках. Торцовые фрезы более массивные и имеют более жесткое крепление по сравнению с цилиндрическими, что дает возможность более удобно размещать и надежно закреплять режущие зубья. Режущие пластины на сборных торцовых фрезах закрепляются на корпусе фрезы, либо на державках или подкладках. Зубья по диаметру могут располагаться равномерно и неравномерно. Торцовое фрезерование обеспечивает большую производительность, чем цилиндрическое.

Обычно у торцовых фрез с мелким зубом  $Z = 2\sqrt{D}$ , у фрез с крупным зубом  $Z = 1,2\sqrt{D}$ .

Широкое распространение получили фрезы с вставными ножами. Геометрические параметры фрезы ( $\gamma, d, \varphi, \varphi_1, \varphi_0, f, \lambda$ ) образуются за счет заточки ножей и их наклонной установки в корпусе. Взаимосвязь углов ножа фрезы, расположенных в различных плоскостях, как у проходного резца:

$$\operatorname{tg} \gamma_{\text{нож}}^0 = \operatorname{tg} \gamma_n \sin \varphi + \operatorname{tg} \lambda_n \cos \varphi \quad (7)$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{\text{фрез}}^1 = \operatorname{tg} \gamma_n \cos \varphi - \operatorname{tg} \lambda_n \sin \varphi \quad (8)$$

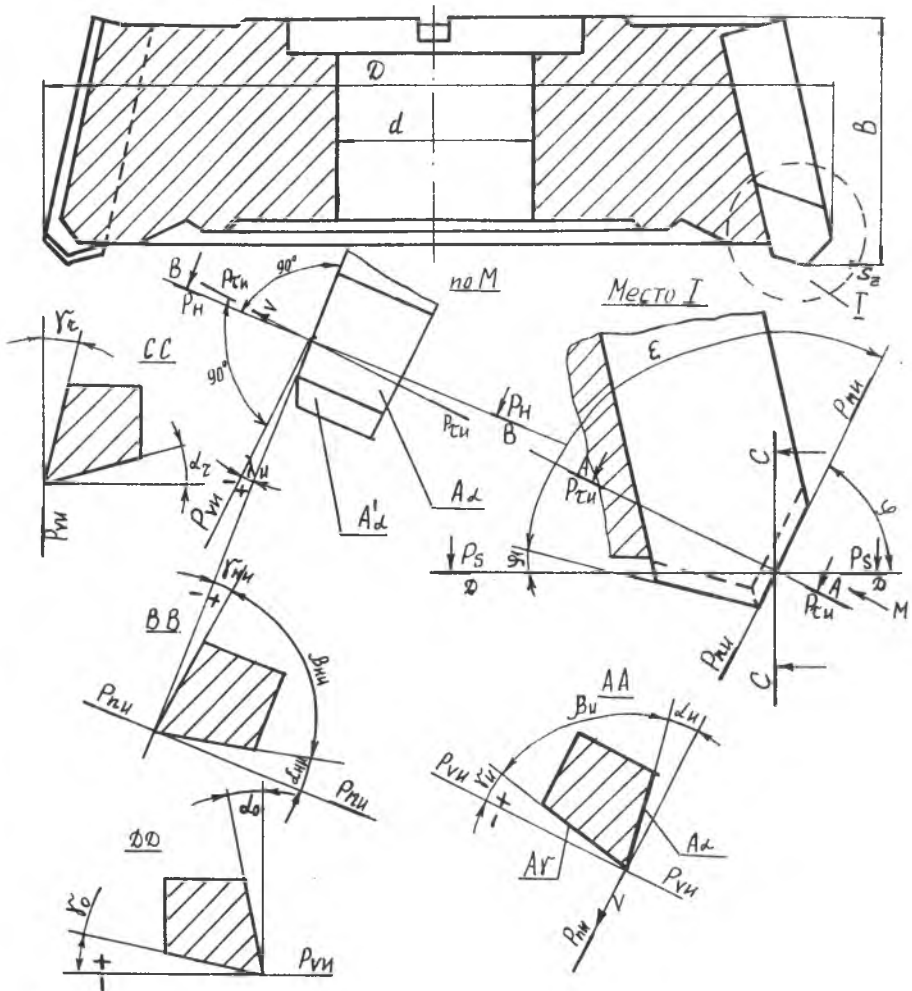
$$\operatorname{tg} \lambda_n = \operatorname{tg} \lambda_0 \sin \varphi - \operatorname{tg} \gamma_n \cos \varphi \quad (9)$$

$$\operatorname{tg} \gamma_n = \operatorname{tg} \gamma_0 \cos \varphi + \operatorname{tg} \lambda_0 \sin \varphi \quad (10)$$

$$\operatorname{tg} \lambda_n = \operatorname{tg} \gamma_0 \sin \varphi - \operatorname{tg} \lambda_0 \cos \varphi \quad (11)$$

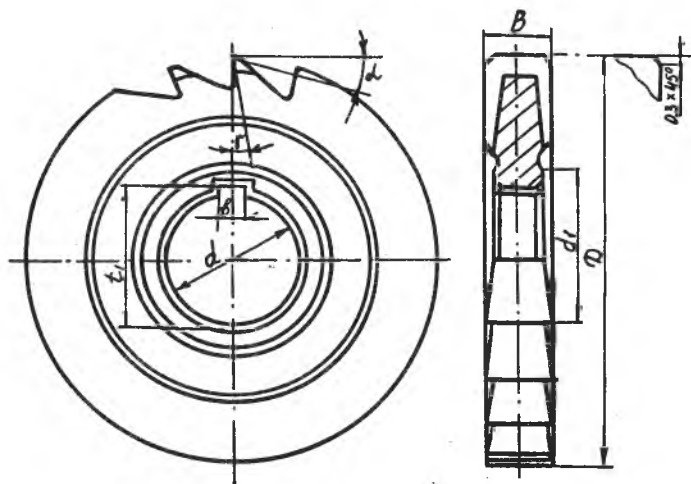
В зависимости (11) знак "минус" принимается для  $\lambda > 0$ . Твердость рабочей части фрез из быстрорежущей стали HRC<sub>5</sub> 62...65. Шероховатость  $A_r$  и  $A_z$ ,  $R_z \leq 0,32$ , посадочного отверстия и опорных торцов  $R_a \leq 0,80$ . Для фрез, изготавливаемых в централизованном порядке, передний угол  $\gamma$  устанавливается равным 16°. Радиальное биение зубьев относительно оси фрезы не должно превышать 0,04 для  $D \leq 63$  и 0,05 для  $D > 63$ . Биение опорных торцов относительно оси фрезы не должно превышать 0,02мм.





Р и с. 4. Углы торцевой фрезы со вставными зубьями:  $P_s$  - рабочая плоскость;  $A_n$  - передняя поверхность лезвия;  $A_d$  - задняя поверхность лезвия;  $A'_d$  - вспомогательная задняя поверхность;  $\gamma_n$  - инструментальный главный передний угол;  $\beta_n$  - инструментальный главный угол заострения;  $\lambda_n$  - инструментальный главный задний угол;  $\varphi$  - угол в плане;  $\varphi'$  - вспомогательный угол в плане;  $\gamma_{nh}$  - нормальный передний угол;  $\beta_{nh}$  - нормальный угол заострения;  $\alpha_{nh}$  - нормальный задний угол;  $\lambda_n$  - инструментальный угол наклона кромки;  $\gamma_z$  и  $\lambda_z$  - углы в плоскости продольного наклона [3];  $\gamma_0$  и  $\lambda_0$  - углы в плоскости поперечного наклона

Дисковые фрезы (рис.5) используются при фрезеровании уступов и канавок, отрезке заготовок. Они подразделяются на одно-, двух- и трехсторонние фрезы, соответственно с одной, двумя или тремя режущими кромками. Дисковые фрезы могут быть цельными и сборными, иметь прямые, наклонные и разнонаправленные зубья. Обычно они изготавливаются шириной 5-16мм, диаметром  $D=80-315$ мм и с числом зубьев  $Z=12-22$ .



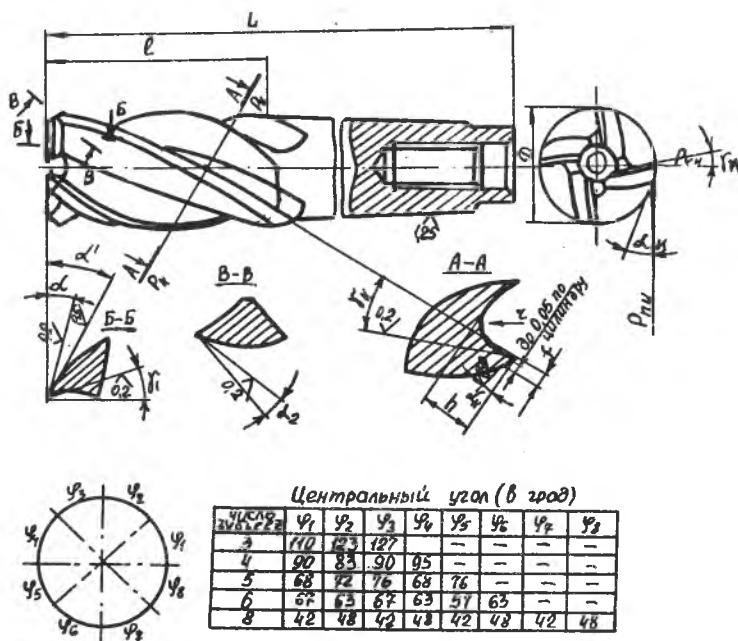
Р и с.5. Фреза дисковая трехсторонняя прямоугольная

Геометрические параметры зуба измеряются аналогично цилиндрической фрезе (см.рис.3).

Концевые фрезы (рис.6) применяются для обработки пазов и канавок в корпусных деталях, контурных выемок, уступов, взаимно перпендикулярных плоскостей. Они крепятся в шпинделе станка с помощью конического или цилиндрического хвостовика. У этих фрез основную работу резания выполняют главные режущие кромки, расположенные на цилиндрической поверхности, а вспомогательные торцовые кромки зачищают дно канавки.

Концевые фрезы выпускаются двух типов: с мелким зубом ( $Z \approx \sqrt{D}$ ,  $\omega = 30^\circ$ ) и с крупным зубом ( $Z \approx 0,6\sqrt{D}$ ,  $\omega = 45^\circ$ ). С целью уменьшения вибраций окружной шаг от зуба к зубу чаще всего делается переменным.

Так, если фреза имеет 3 зуба, то углы между зубьями не  $120^\circ$ , а  $110$ ,  $123$  и  $127^\circ$ . Геометрические параметры концевых фрез измеряются по аналогии с цилиндрическими (см.рис.3).



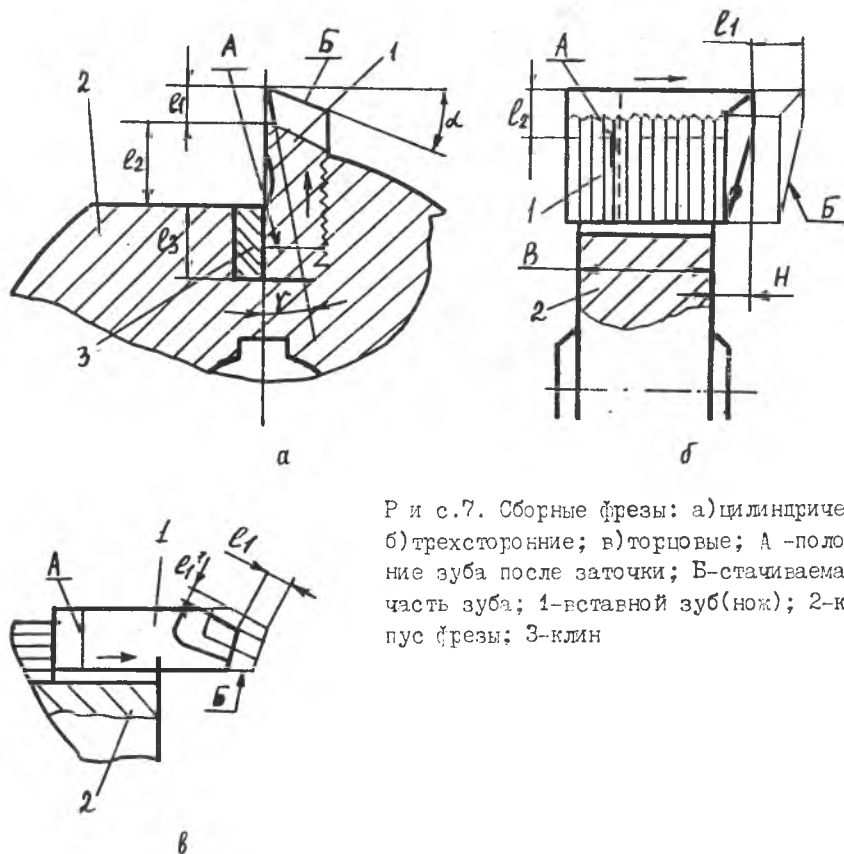
Р и с.6. Фрезы концевые с коническим хвостовиком

Цилиндрические фрезы диаметром более 100мм изготавливаются сборными (рис.7,а). Корпус фрезы 2 из стали 45X, вставные зубья из быстрорежущей стали или ВК8. Вставной зуб удерживается в гнезде корпуса с помощью клина 3 и рифлей. Для лучшего размещения стружки у сборных фрез увеличены размеры канавки перед зубьями, и угол наклона зуба ( $\omega$ ) может быть увеличен до  $40^\circ$ . Ножи за счет их переставки на шаг рифлений имеют возможность изменять вылет в радиальном направлении. Величина допустимого стачивания по цилиндру  $l_1=0,3\sqrt{l_3}$ , где  $l_3$ —глубина паза под нож.

Трехсторонние фрезы (рис.7,б) с креплением ножей в пазах с радиальным уклоном и радиальными рифлениями позволяют изменять величину

вылета ножей в осевом направлении ( $H$ ), что обеспечивает сохранение заданной ширины фрезы после ее переточек. При этом величина допустимого стачивания по торцу  $l_1 = (0,3 \dots 0,5)B$ .

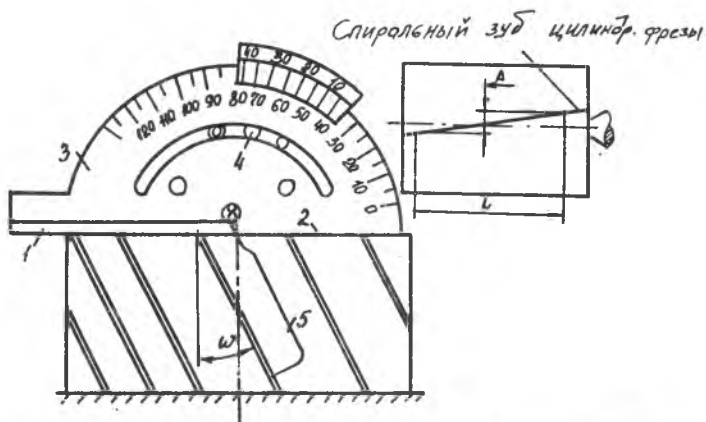
Торцовые сборные фрезы чаще имеют ножи, оснащенные твердосплавными пластинками (рис.7, в). Величина допустимого стачивания у этих инструментов  $l_1$  зависит от размеров твердосплавной пластины. Для торцовых фрез величину допустимого стачивания принимают равной  $l_1 = 0,5l$  (по торцу,  $l$  - длина режущей пластины) и  $l_1' = 0,5b$  (по цилиндру,  $b$  - ширина пластины).



Р и с.7. Сборные фрезы: а) цилиндрические; б) трехсторонние; в) торцовые; А -положенные зуба после заточки; Б-стачиваемая часть зуба; 1-вставной зуб(нож); 2-корпус фрезы; 3-клин

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.  
ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФРЕЗ

1. Выполнить эскизы двух заданных фрез.\*
2. Замерить линейные размеры штангенциркулем ( $D, d, L, l, h, f, t, b$ ).
3. Замерить угол наклона спирали  $\omega$  несколькими способами:
  - а) с помощью универсального угломера (рис.8). Угломер предназначен для измерения наружных углов в пределах от  $0$  до  $180^\circ$ . Он состоит из следующих деталей: 1- линейки основания; 2- основания; 3- корпуса; 4- стопора; 5- подвижной линейки. Целое число градусов отсчитывается нулевым штрихом нониуса по шкале основания слева направо;



Р и с.8. Измерение угла спирали зуба фрезы  $\omega$  с помощью универсального угломера

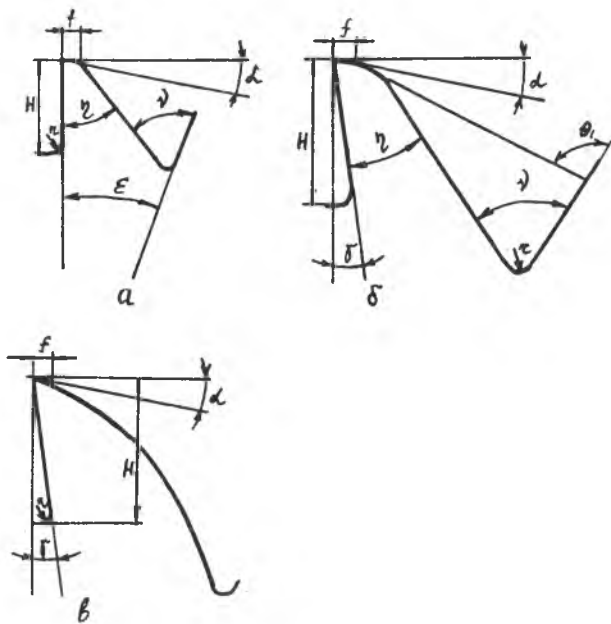
- б) путем прокатки фрезы через копировальную бумагу. По полученной развертке цилиндрической поверхности фрезы, на которой винтовые линии зубьев будут прямыми, определяем  $\omega$ ;
- в) с помощью штангенрейсмуса при установке фрезы в центрах в специальном приспособлении. Изменяется подъем спирали  $\Delta$  на расстоянии  $L$  (см.рис.8), тогда центральный угол  $\varepsilon$ , соответствующий подъему спирали

\* По согласованию с преподавателем одна фреза (цилиндрическая, концевая) измеряется более подробно, а на второй только  $D, L(B), f_n, \lambda_n$ .

Δ, определяется из зависимости  $\varepsilon = \arcsin \frac{2\Delta}{D}$ . Так как шаг спирали T соответствует углу в  $360^\circ$ , то  $T = 360\Delta/\varepsilon$ , откуда  $\omega = \arctg \frac{\pi D}{T}$ .

4. Подсчитать число зубьев фрезы (Z) и рассчитать  $t_s$ ,  $t_o$ ,  $t_n$  по формулам (1,2,3).

5. Определить тип профиля зуба. Замерить угол  $\nu$ . При этом следует иметь в виду следующее: для остроконечных фрез различают три типа профилей зубьев (рис.9). Для фрез с мелким зубом принята трапециевидная форма профиля (рис.9,а) с углом  $\eta = 45 \dots 50^\circ$ . Для фрез с крупным зубом применяется усиленная форма профиля (рис.9,б) с углом  $\nu = 60 \dots 65^\circ$  и криволинейная форма профиля зуба (рис.9,в), где ломаная линия за- тылка зуба очерчена окружностью или параболой.



Р и с.9. Формы профиля остроконечного зуба



8. Вычислить значения углов  $\gamma_n$  и  $\lambda_n$  в плоскости, перпендикулярной к режущей кромке по формулам (4,5):

$$\gamma_n = \arctg(\operatorname{tg} \gamma_n \cdot \cos \omega);$$

$$\lambda_n = \arctg(\operatorname{tg} \lambda_n / \cos \omega).$$

9. Угломером с длинными измерительными губками произвести замеры углов  $\varphi$ ,  $\gamma_{\text{нон}}$ ,  $\gamma_{\text{прод}}$  на торцовой фрезе и произвести расчеты по формулам (I) и (II). Замерить габаритные размеры фрезы ( $D$ ,  $B$ ).  
10. Измеренные и рассчитанные величины занести в таблицу отчета "Результаты измерений или расчетов" (Приложение).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гост 25751-83. Инструменты режущие.
2. Гост 25762-83. Обработка резанием.
3. Грановский Г.И. Резание металлов. М.:Высш.шк., 1985. 304 с.



№ п/п	Измеряемая или рассчитываемая величина	Обозна- чение	Формула	Результат	
				измере- ния	вычисле- ния
	Диаметр фрезы	$D$			
	Диаметр посадочного отверстия	$d$			
	Ширина фрезы	$L$			
	Длина посадочного отверстия	$l_1$			
	Скружной шаг	$t_s$	$t_s = \pi D / Z$		
	Осевой шаг	$t_o$	$t_o = t_s \operatorname{ctg} \omega$		
	Нормальный шаг	$t_n$	$t_n = t_o \sin \omega$		
	Высота зуба	$h$	$h = (0,3 \div 0,45) \pi D / Z$		
	Ширина задней поверхности	$f$			
	Нормальный передний угол	$\gamma_n$	$\gamma_n = \arctg(\operatorname{tg} \gamma_n \cdot \cos \omega)$		
	Нормальный задний угол	$\lambda_n$	$\lambda_n = \arctg(\operatorname{tg} \lambda_n / \cos \omega)$		
	Инструментальный главный передний угол	$\gamma_n$			
	Инструментальный главный задний угол	$\lambda_n$			
	Угол наклона зубьев	$\omega$			
	Угол канавки	$\vartheta$			
	Число зубьев фрезы	$Z$			
	Размер под шпонку	$t_1$			
	Ширина шпоночного паза	$b$			
		Торцевая фреза			
	Инструментальный главный передний угол	$\gamma_n$	$\gamma_n = \arctg(\operatorname{tg} \gamma_n \cdot \cos \varphi + \operatorname{tg} \gamma_o \cdot \sin \varphi)$		
	Инструментальный угол наклона режущей кромки	$\lambda_n$	$\lambda_n = \arctg(\operatorname{tg} \lambda_n \cdot \sin \varphi + \operatorname{tg} \lambda_o \cdot \cos \varphi)$		

Руководитель \_\_\_\_\_

## ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ГЕОМЕТРИИ ФРЕЗ

Составитель С м о л и н В л а д и м и р Д м и т р и е в и ч

Редактор М. И. Л о г у н о в а

Техн. редактор Г. А. У с а ч е в а

Корректор Н. С. К у п р и я н о в а

Подписано в печать 14.10.94. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл.п.л. 1,0. Усл.кр.-отт. 0,93. Уч.-изд.л. 0,8.

Тираж 200 экз. Заказ 470. Арт. С - 38/95.

Самарский государственный аэрокосмический университет  
им. академика С.П. Королёва

443086 Самара, Московское шоссе, 34.

---

Издательство СГАУ.

443001 Самара, ул. Ульяновская, 18.

Отпечатано в ИПЦ ОАО "САМЕКО" Тир.200 Зак.1625