

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

**ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И  
ГЕОМЕТРИИ ФРЕЗ**

САМАРА 2009

УДК 621.9.02

Составитель В.Д. Смолин

Рецензент: д.т.н., проф. Н.Д. Проничев

Изучение конструкции и геометрии фрез: Метод. указания к лаб.работе /Самар. гос. аэрокосм. ун-т: Сост. В.Д. Смолин. Самара, 2009. – 18с.

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 расчёта некоторых параметров фрезы.

Предназначены для студентов потока 2-III.

Разработаны на кафедре механической обработки материалов.



## ВВЕДЕНИЕ

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  $\bar{V}$  и  $\bar{V}_s$  в зоне резания совпадают) обработанная поверхность чище, погрешность обработки меньше и процесс резания экономичнее.

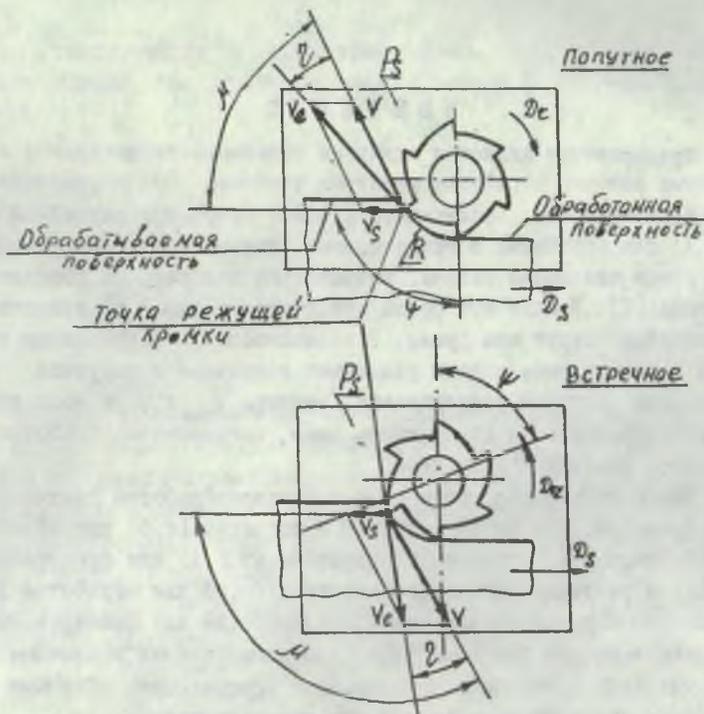
Наиболее широкое применение в металлообработке получили следующие типы фрез (рис.2): цилиндрические и торцевые (а, б) для обработки плоскостей; дисковые, отрезные и прорезные (в, г, д) для фрезерования пазов, уступов и разрезки заготовок; концевые (е, ж) для обработки уступов, плоскостей и фрезерования 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

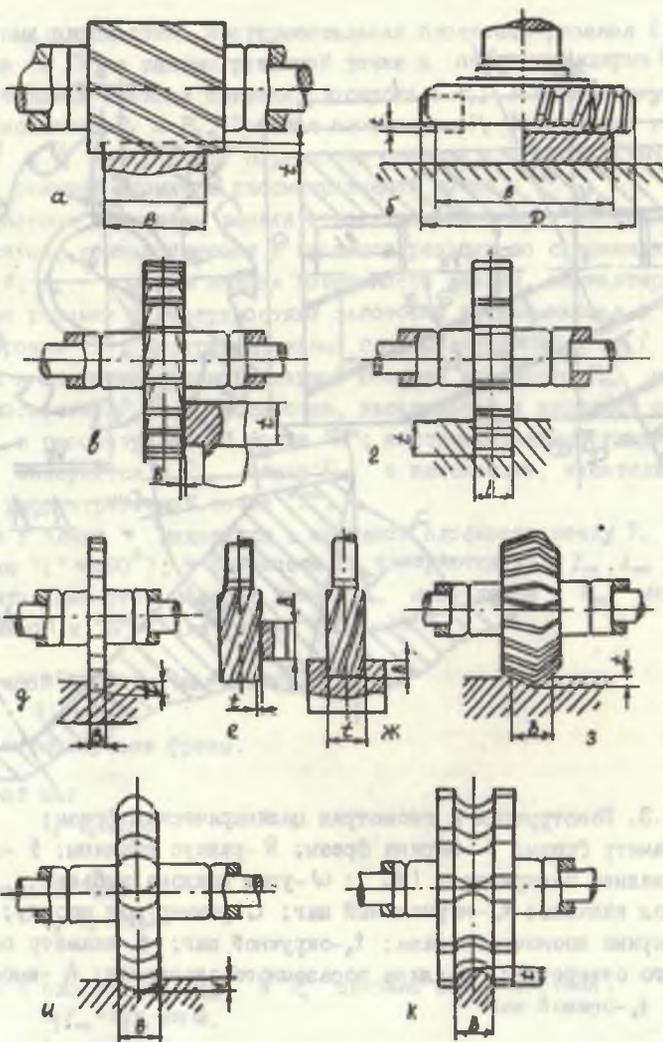
Многообразие операций, выполняемых на фрезерных станках, обусловило разнообразие типов, форм и размеров фрез. Для изготовления и контроля инструмента применяется инструментальная система координат

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  $P_{in}^*$  пройдет через рассматриваемую точку (I) режущей кромки (K) перпендикулярно  $\bar{V}$  в этой точке.

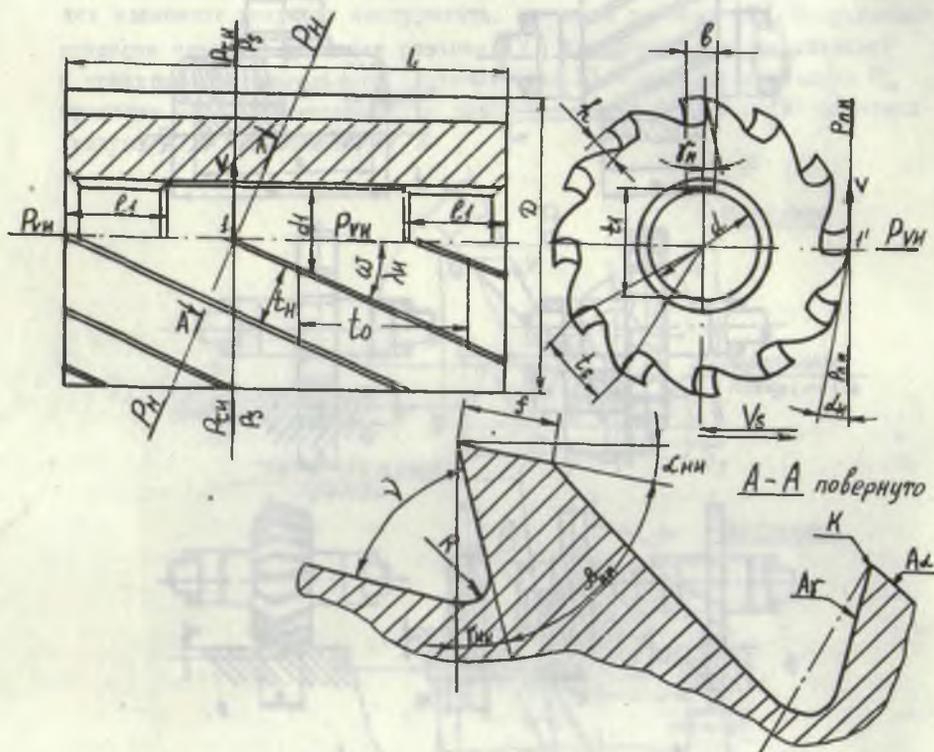


Р и с.1. Элементы движений в процессе резания при периферийном фрезеровании:  $V_c$  - направление скорости результирующего движения резания;  $V$  - направление скорости главного движения резания;  $P_s$  - рабочая плоскость;  $D_s$  - движение подачи;  $V_s$  - направление скорости движения подачи;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

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



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;  $t_r$  - 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. I). Нормальная секущая плоскость ( $P_n$ ) перпендикулярна режущей кромке в рассматриваемой точке.

К основным элементам лезвия относятся [2]:  $A_f$  - 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  $A_f$  в рассматриваемой точке "К"; инструментальный главный задний угол  $\alpha_n$  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  $\gamma_{\text{нн}}, \alpha_{\text{нн}}, \beta_{\text{нн}}$ ; 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

$$t_s = xD/Z, \quad (1)$$

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:

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

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

Винтовые фрезы по сравнению с прямоугольными 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.

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

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 0,04 мм для двух смежных зубьев и 0,08 мм 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 ( $\gamma, d, \varphi, \varphi_1, \varphi_2, f, \lambda$ ) образуются за счет заточки ножей и их наклонной установки в корпусе. Взаимосвязь углов ножа фрезы, расположенных в различных плоскостях, как у проходного резца:

$$tq\gamma_{\text{нен}}^0 = tq\gamma_n \sin\varphi + tq\lambda_n \cos\varphi \quad (7)$$

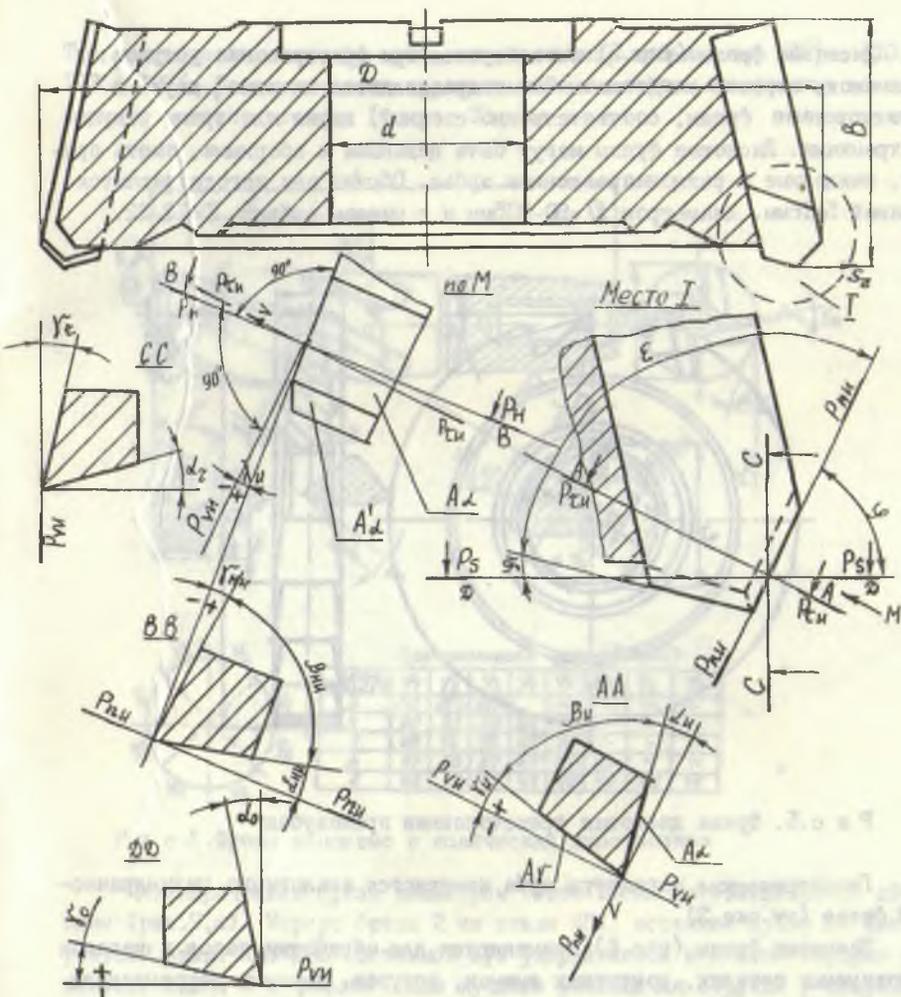
$$tq\gamma_{\text{зад}}^0 = tq\gamma_n \cos\varphi - tq\lambda_n \sin\varphi \quad (8)$$

$$tq\lambda_n = tq\lambda_n \sin\varphi - tq\lambda_n \cos\varphi \quad (9)$$

$$tq\gamma_n = tq\gamma_n \cos\varphi + tq\gamma_n \sin\varphi \quad (10)$$

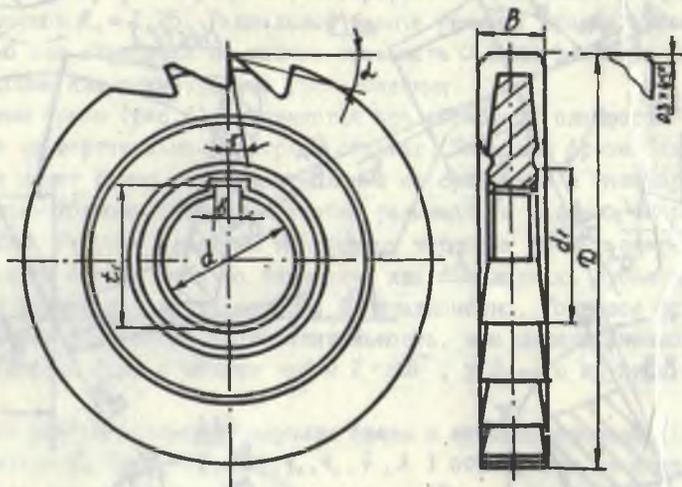
$$tq\lambda_n = tq\gamma_n \sin\varphi + tq\gamma_n \cos\varphi \quad (11)$$

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  $A_z$ ,  $R_a \leq 0,32$ , 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 0,02 мм.



Р и с. 4. Углы торцовой фрезы со вставными зубьями:  $P_r$  - рабочая плоскость;  $A_r$  - передняя поверхность лезвия;  $A_n$  - задняя поверхность лезвия;  $A_n'$  - вспомогательная задняя поверхность лезвия;  $\alpha_r$  - инструментальный главный передний угол;  $\beta_n$  - инструментальный главный угол заострения;  $\delta_n$  - инструментальный главный задний угол;  $\varphi$  - угол в плане;  $\varphi'$  - вспомогательный угол в плане;  $\tau_{0n}$  - нормальный передний угол;  $\beta_{0n}$  - нормальный угол заострения;  $\delta_{0n}$  - нормальный задний угол;  $\lambda_n$  - инструментальный угол наклона кромки;  $\tau_{\lambda}$  и  $\delta_{\lambda}$  - углы в плоскости продольного наклона [3];  $\tau_0$  и  $\delta_0$  - 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  $Z=12-22$ .



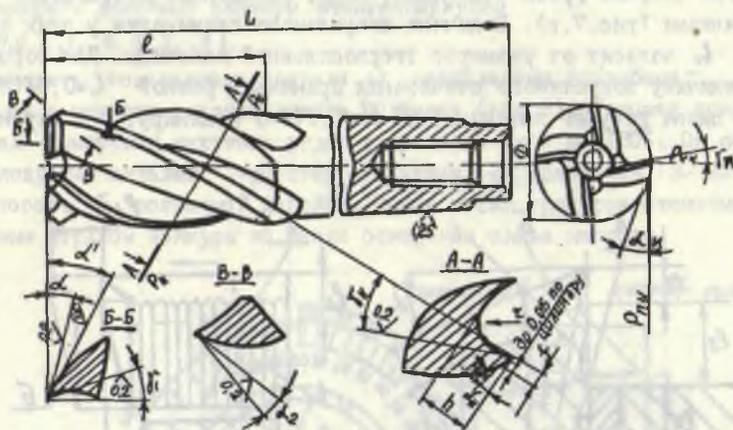
Р и с.5. Фреза дисковая трехсторонняя прямозубая

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 ( $Z=10\sqrt{D}$ ,  $\omega=30^\circ$ ) и с крупным зубом ( $Z=0,6\sqrt{D}$ ,  $\omega=45^\circ$ ). 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  $110^\circ$ ,  $123^\circ$  и  $127^\circ$ . Геометрические параметры концевых фрез измеряются по аналогии с цилиндрическими (см.рис.3).



Центральный угол (в град)

Число зубьев	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$	$\alpha_6$	$\alpha_7$	$\alpha_8$
2	110	123	127	—	—	—	—	—
4	68	83	90	95	—	—	—	—
5	68	72	76	80	76	—	—	—
6	67	65	67	69	71	69	—	—
8	42	48	52	54	57	58	58	58

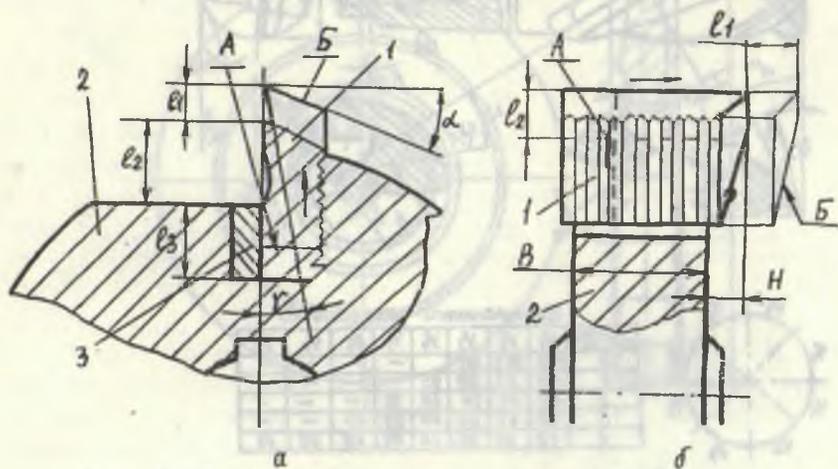
Р и с.6. Фрезы концевые с коническим хвостовиком

Цилиндрические фрезы диаметром более 100мм изготавливаются сборными (рис.7,а). Корпус фрезы 2 из стали 45Х, 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  $l_1 = 0,3 \sqrt{R}$ , где  $R$  — глубина паза под нож.

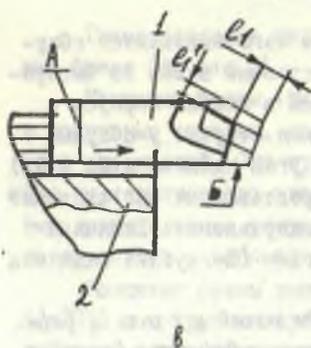
Трехсторонние фрезы (рис.7,б) с креплением ножей в пазах с радиальным уклоном и радиальными рифлениями позволяют изменять величину

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).

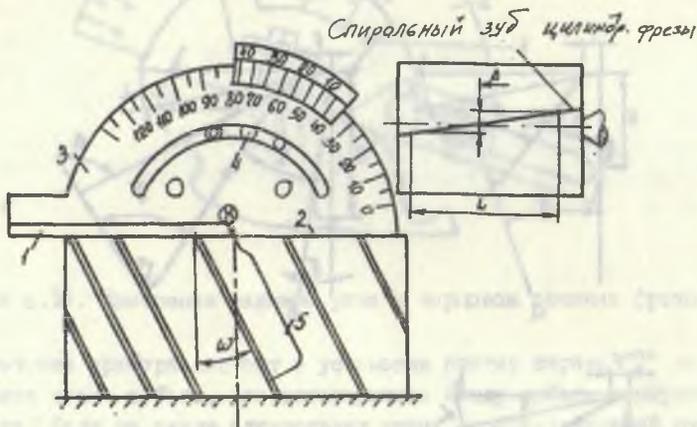


Р и с.7. Сборные фрезы: а) цилиндрические; б) трехсторонние; в) торцовые; А - положение зуба после заточки; Б - стачиваемая часть зуба; 1 - вставной зуб (нож); 2 - корпус фрезы; 3 - клин



ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.  
ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФРЕЗ

1. Выполнить эскизы двух заданных фрез.\*
2. Замерить линейные размеры штангенциркулем ( $D, d, L, l, h, f, t, \delta$ ).
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  $\omega$ ;

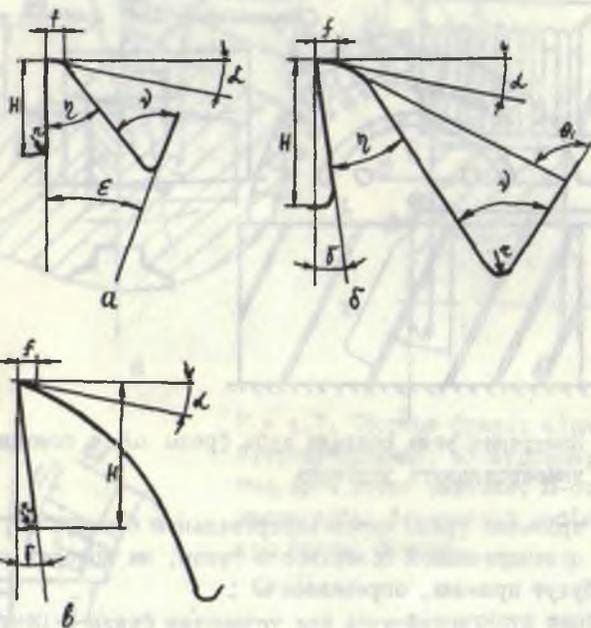
в) с помощью штангенрейсмуса при установке фрезы в центрах в специальном приспособлении. Изменяется подъем спирали  $\Delta$  на расстоянии  $L$  (см.рис.8), тогда центральный угол  $\varepsilon$ , соответствующий подъему спирали

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

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

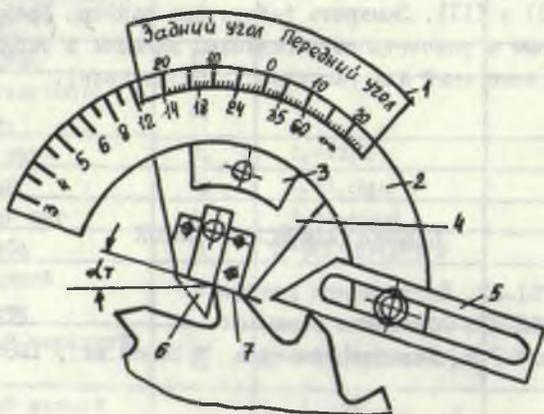
4. Подсчитать число зубьев фрезы ( $Z$ ) и рассчитать  $t_s, t_o, t_n$  по формулам (1,2,3).

5. Определить тип профиля зуба. Замерить угол  $\psi$ . При этом следует иметь в виду следующее: для остроконечных фрез различают три типа профилей зубьев (рис.9). Для фрез с мелким зубом принята трапецевидальная форма профиля (рис.9,а) с углом  $\psi = 45 \dots 50^\circ$ . Для фрез с крупным зубом применяется усиленная форма профиля (рис.9,б) с углом  $\psi = 60 \dots 65^\circ$  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

6. Рассчитать для фрез с мелким зубом  $h = (0,5 \dots 0,65)\pi D/Z$  ;      для фрез с крупным зубом  $h = (0,3 \dots 0,45)\pi D/Z$ .
7. Измерить углы  $\gamma_n$  и  $\alpha_n$  в торцевой плоскости фрезы при помощи прибора системы М.И.Бабчиничера (рис.10).



Р и с.10. Измерение заднего угла в торцовом сечении фрезы

Подготовка прибора состоит в установке против штриха "0" на шкале углов штриха числа зубьев, соответствующего числу зубьев измеряемого инструмента. Если на шкале отсутствует штрих, соответствующий нужному числу зубьев, то против "0" устанавливается штрих, соответствующий ближайшему числу зубьев. Процесс измерения заключается в следующем. Прибор накладывается на контролируемый инструмент так, чтобы измеряемый зуб упирался своим лезвием в вершину угла, образованного измерительными поверхностями ножа 6 и 7. Опорная линейка 5 при этом должна опираться на соседний зуб инструмента (см.рис.10).

Для измерения переднего угла  $\gamma_n$  сектор прибора поворачивается до совмещения рабочей поверхности ножа 6 с передней поверхностью зуба. Для измерения заднего угла сектор поворачивается до совмещения рабочей поверхности 7 планки с задней гранью зуба.

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

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

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

9. Угломером с длинными измерительными губками произвести замеры углов  $\varphi$ ,  $\gamma_{\text{зад}}^{\circ}$ ,  $\gamma_{\text{зад}}^{\text{прод}}$  на торцовой фрезе и произвести расчеты по формулам (IО) 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	$l_1$			
	Окружной 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	$\nu$			
	Число зубьев фрезы	$Z$			
	Размер под шпонку	$t_1$			
	Ширина шпоночного паза	$b$			
		Торцовая фреза			
	Инструментальный главный передний угол	$\gamma_n$	$\gamma_n = \arctg(\operatorname{tg} \gamma_n \cdot \cos \varphi + \operatorname{tg} \gamma_n \cdot \sin \varphi)$		
	Инструментальный угол наклона режущей кромки	$\lambda_n$	$\lambda_n = \arctg(\operatorname{tg} \lambda_n \cdot \sin \varphi + \operatorname{tg} \gamma_n \cdot \cos \varphi)$		

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 I/16.

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 - 38/2009

Самарский государственный аэрокосмический университет

им. академика С.П. Королева

443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Издательство СГАУ.

443001 Самара, ул. Ульяновская, 18.