

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

# ФРЕЗЕРНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

Учебное пособие

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию  
в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в каче-  
стве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по направлению подготовки «Конструкторско-  
технологическое обеспечение машиностроительных производств»*



Владимир 2014

УДК 621.9.02(075.8)

ББК 34.63.5я73

Ф86

Авторы:

В. В. Морозов, С. Н. Григорьев, А. Г. Схиртладзе,  
И. В. Шинаков, Е. А. Новикова

Рецензенты:

Доктор технических наук зав. кафедрой  
«Автоматизированные системы обработки информации и управления»  
Московского государственного технологического университета  
«СТАНКИН»  
*Т. Г. Гришина*

Заместитель директора по производству ООО «Вектор», г. Владимир  
*С. О. Худяков*

Печатается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

**Фрезерный** инструмент : учеб. пособие / В. В. Морозов [и др.] ;  
Ф86 Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир :  
Изд-во ВлГУ, 2014. – 214 с. – ISBN 978-5-9984-0480-1.

Изложены основные сведения о фрезерном инструменте. Рассмотрены классификация, инструментальные материалы для оснащения фрез, геометрические и конструктивные параметры фрезерного инструмента. Уделено особое внимание методам расчета и конструирования фасонных фрез. Приведены подробные сведения о фрезерном инструменте сборной конструкции. Для заданных условий обработки представлены примеры расчета фрез.

Предназначено для студентов машиностроительных направлений высшего профессионального образования, аспирантов и инженерно-технических работников промышленных предприятий.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС 3-го поколения.

Ил. 123. Табл. 49. Библиогр.: 51 назв.

УДК 621.9.02(075.8)

ББК 34.63.5я73

ISBN 978-5-9984-0480-1

© ВлГУ, 2014

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	5
--------------------------	---

### **Глава 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ**

1.1. Материалы, обрабатываемые резанием .....	7
1.2. Фрезерование. Основные сведения и понятия .....	12

### **Глава 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА**

2.1. Область применения и типы фрез .....	22
2.2. Способы закрепления фрез .....	23

### **Глава 3. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

3.1. Требования к инструментальным материалам .....	31
3.2. Марки инструментальных материалов и рекомендации по их выбору для оснащения фрез ....	32

### **Глава 4. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА**

4.1. Главный задний угол $\alpha$ .....	49
4.2. Задний угол $\alpha_1$ на вспомогательной режущей кромке .....	52
4.3. Передний угол $\gamma$ .....	52
4.4. Главный угол в плане $\varphi$ .....	58
4.5. Угол наклона режущей кромки $\lambda$ .....	65

### **Глава 5. КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ФРЕЗ**

5.1. Диаметр фрезы .....	68
5.2. Расчет параметров крепежной части .....	74
5.3. Расчет числа зубьев. Определение размеров и формы зуба .....	82
5.4. Конструирование наборов фрез .....	91

<b>Глава 6. РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ФАСОННЫХ ФРЕЗ</b>	
6.1. Особенности конструкции фасонных фрез .....	96
6.2. Угловое затылование фасонных фрез .....	106
6.3. Заточка фасонных фрез .....	127
6.4. Износ и стойкость фасонных фрез .....	131
<b>Глава 7. ФРЕЗЕРНЫЙ ИНСТРУМЕНТ СБОРНОЙ КОНСТРУКЦИИ</b>	
7.1. Классификация фрезерного инструмента сборной конструкции.....	141
7.2. Фрезерный инструмент с механическим креплением ножей.....	142
7.3. Фрезы с механическим креплением СМП .....	157
7.4. Прогрессивные конструкции торцевых фрез с механическим креплением СМП .....	162
7.5. Фрезы, оснащенные режущими элементами из ПСТМ .....	166
<b>Глава 8. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ФРЕЗ ДЛЯ ЗАДАННЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ</b>	
8.1. Пример расчета дисковой фрезы для заданных условий обработки .....	180
8.2. Расчет размеров дисковой затылованной фрезы для фрезерования канавки сверла.....	187
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	193
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b> .....	194
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК</b> .....	209

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Перед машиностроением на современном этапе стоят задачи дальнейшего повышения эффективности производства. Развитие рынка и необходимость улучшения качества продукции диктуют производителям использовать новейшую технику, применять прогрессивные технологии в металлообработке. Это предъявляет высокие требования к уровню подготовки инженерных кадров.

Целью данного учебного пособия является закрепление и углубление теоретических сведений, полученных студентами при изучении наиболее распространенных видов фрезерного инструмента. Порядок изложения тем имеет логическую последовательность и способствует лучшему усвоению материала.

Режущий инструмент, широко применяемый в металлообработке, отличается большим разнообразием. В пособии приведены развернутая классификация фрезерного инструмента по нескольким наиболее важным признакам, а также рекомендации по способу установки и закрепления инструмента в технологическом оборудовании, даны схемы фрезерования различными типами фрез.

Одним из факторов, влияющих на эффективность и достижение высокого уровня производительности при применении фрезерного инструмента, является правильный выбор инструментальных материалов для оснащения режущей части. Этой теме в книге отведена отдельная глава, где даны марки инструментальных материалов, описаны их физико-механические свойства и область применения. Особое внимание уделено быстрорежущим сталям, твердым сплавам, минералокерамике, а также сверхтвердым материалам. Приведены рекомендации по выбору инструментальных материалов при различных видах обработки.

Добиться повышения производительности труда при работе на фрезерных станках можно при назначении оптимальных геометрических параметров инструмента. Поэтому в пособии достаточно полно

изложен теоретический материал о геометрических параметрах режущей части фрез с указанием влияния каждого из параметров на процесс и условия обработки, а также качество обрабатываемых поверхностей.

Отдельная глава посвящена конструктивным параметрам фрез, где представлен расчет параметров крепежной части, числа зубьев, описаны способы определения размеров и формы зуба.

Особенно следует отметить, что в пособии подробно рассмотрено конструирование наборов фрез для различных условий обработки, а также дано описание фрезерного инструмента сборной конструкции.

В завершающей главе приведены примеры расчета фрез для заданных условий обработки.

В прил. 1 приведены данные по шероховатости и точности при различных видах обработки. В прил. 2 перечислены марки твердых сплавов, указаны области их применения.

В учебном пособии используется терминология, принятая в области резания материалов и инструмента и соответствующая утвержденным ГОСТам.

Материалы данной книги помогут студентам высших учебных заведений машиностроительного профиля при выполнении курсовых и дипломных работ по проектированию фрезерного инструмента, а также учащимся системы среднего профессионального образования на практических занятиях при выборе и использовании параметров фрез для различных условий обработки.

Содержание учебного пособия отвечает требованиям государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования, предъявляемым к уровню подготовки выпускников по специальности «Технология машиностроения».

## Глава 1

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

### 1.1. Материалы, обрабатываемые резанием

Сущность технологии изготовления деталей машин и механизмов заключается в воздействии на заготовку различными технологическими способами и методами с целью придания ей соответствующей формы, заданных размеров и качества поверхности.

Обработка металлов резанием осуществляется фрезерным инструментом и ведется на соответствующем оборудовании.

Детали машин и механизмов изготавливают из конструкционных материалов (металлов). Основными конструкционными материалами являются:

- черные металлы (сплавы на основе железа);
- цветные металлы (сплавы на основе меди, алюминия, титана и др.).

Одной из основных характеристик конструкционных материалов считается *обрабатываемость резанием*. По обрабатываемости все конструкционные материалы подразделяются на четыре основные группы:

1) *легкообрабатываемые* (цветные металлы и сплавы на основе меди, алюминия, серые чугуны с HB < 160);

2) *средней обрабатываемости* (углеродистые и низколегированные стали, чугуны твердостью HB < 180);

3) *ниже средней обрабатываемости* (высоколегированные качественные конструкционные стали, стали мартенситного, мартенситно-ферритного и аустенитно-мартенситного классов, чугуны с HB 190 – 240);

4) *труднообрабатываемые* (высоколегированные стали аустенитного класса, жаропрочные и кислотостойкие стали, специальные никелеферритные и никелевые сплавы, титановые и тугоплавкие сплавы).

В характеристике конструкционных материалов всегда учитываются такие показатели, как твердость НВ и предел прочности  $\sigma_B$ . Между данными показателями установлена следующая зависимость для материалов различных марок:

$$\sigma_B \approx K \text{ НВ},$$

где  $K$  – коэффициент обрабатываемости, т. е. соотношение между твердостью и пределом прочности материала.

Значения коэффициента  $K$  для некоторых сталей:  $K = 0,27$  – для сталей обыкновенного качества, углеродистых конструкционных качественных сталей;  $K = 0,31$  – для низколегированных сталей;  $K = 0,41$  – для высоколегированных сталей. Классификация материалов по группам в зависимости от обрабатываемости приведена в таблице.

Выборочная классификация материалов по группам в зависимости от обрабатываемости

Марка материала	Термическая обработка	$\sigma_B$ , МПа	НВ	$D_{\text{опт}}$ , мм	$K_{mv}$
<i>Алюминиевые сплавы</i>					
Дюралюминий: Д1Т Д1ТПП Д16, Д16Т Д16ТПП	Отжиг	150 – 240	–	–	
	Закалка и старение	$\geq 350$ 314 – 370 $\geq 360$ 450 – 470	–	–	1,0
Сплавы алюминия с марганцем: АМц АМцМ	Без термической обработки (т/о) Отжиг	98 88	– 30	– –	0,8
Сплавы алюминия с магнием: АМг2 АМг3 АМг5	Без т/о Без т/отжиг Без т/о	$\geq 176$ $\geq 176$ 245 – 265	– – –	– – –	2,5
Сплавы алюминия с магнием, кремнием, медью: АК4-1 АК6	Закалка и старение	370 – 400 360	– –	– –	1,1

Продолжение

Марка материала	Термическая обработка	$\sigma_B$ , МПа	НВ	$D_{опт}$ , мм	$K_{mv}$
<i>Медь и медные сплавы</i>					
Гетерогенные сплавы:					
БрА9ЖЗЛ		390	100	–	1,0
БрА9Мц2		< 500	<150	–	
БрА9Мц2Л		> 500	> 115	–	0,9
БрА10ЖЗМц2		440	110	–	1,0
БрА10Ж4Р4		530 – 590	130 – 200	–	0,8
БрА10Ж4Н4 Л	–	580	170	–	0,8
БрОФ7-2		640	170 – 220	–	
БрОФ10-1		–	150 – 200	–	1,0
ЛЖМц59-1-1		340 – 500	70 – 150	–	
ЛС59-1, Л68		215 – 245	90	–	1,0
Л63		440 – 500		–	
		300 – 500			
		300 – 450			
Свинцовистые сплавы при основной гетерогенной структуре:					
БрО10С10	–	196	65	–	1,3
ЛМц58-2	–	205	80	–	
Сплавы с содержанием свинца более 15%:					
Бр04Ц4С17	–	–	35 – 40	–	4,0
Бр05Ц5С5	–	–	35 – 40	–	4,0
<i>Чугуны</i>					
Серые:					
СЧ 10		> 100	120 – 140	5,42 – 5,05	1,45
СЧ15		> 145	140 – 160	5,05 – 4,74	1,25
СЧ18		> 175	180 – 200	4,48 – 4,26	1,00
СЧ20		≥ 200			
СЧ21	–	≥ 206	160	4,74	0,89
СЧ24		≥ 235	100 – 241	–	
СЧ25		≥ 245	180 – 250	–	0,83
СЧ30		≥ 294	181 – 255	–	
СЧ35		≥ 310	240 – 260	3,91 – 3,76	0,71

Продолжение

Марка материала	Термическая обработка	$\sigma_B$ , МПа	НВ	$D_{\text{опт}}$ , мм	$K_{mv}$
<i>Углеродистые стали</i>					
Конструкционные стали ( $C \leq 0,6\%$ ) обычного качества: Ст0, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6	—	295 – 590	77 – 107	6,6 – 5,7	2,1
			107 – 138	5,7 – 5,08	1,8
			138 – 169	5,08 – 4,62	1,4
Качественные стали: 10, 15, 20, 10Л, 25, 30, 35, 35Л, 40, 45 50, 55, 60	—	590 – 1080	169 – 200	4,62 – 4,26	1,1
			200 – 223	2,26 – 4,05	1,0
			223 – 248	4,05 – 3,85	0,8
			248 – 288	3,85 – 3,59	0,68
			288 – 317	3,59 – 3,42	0,56
Стали повышенной и высокой обрабатываемости резанием: А12, А15, А15Г, А20, А30, А50	—	395 – 492 492 – 590 590 – 690 690 – 750 750 – 850	107 – 138	5,7 – 5,08	2,2
			138 – 169	5,08 – 4,64	1,68
			169 – 200	4,64 – 4,26	1,3
			200 – 223	4,26 – 4,05	1,2
			223 – 248	4,05 – 3,85	0,96
<i>Легированные стали</i>					
Низколегированные стали: Хромистые: 15Х, 15ХА, 20Х, 35Х, 38ХА, 40Х, 45, 50Х, ШХ15	—	395 – 492 492 – 590 590 – 690 690 – 787 787 – 886 886 – 980 980 – 1080	116 – 146	5,54 – 4,95	1,61
			146 – 174	4,95 – 4,56	1,1
			174 – 203	4,56 – 4,23	0,85
			203 – 230	4,23 – 3,99	0,67
			230 – 262	3,99 – 3,76	0,53
			262 – 288	3,76 – 3,58	0,43
			288 – 317	3,58 – 3,42	0,36
			03Х26Н6Т (ВНС48, ЭК65) 07Х16Н6 (Х16Н6, ЭП288)	Нормализация	$\geq 680$
09Х15НН8Ю (Х15Н9Ю, ЭИ904)	Нормализация и отпуск	$\geq 1000$	$\geq 285$	$\leq 3,6$	1,0
09Х15Н9Ю	Закалка	700 – 1100	212 – 311	4,15 – 3,45	0,9

Продолжение

Марка материала	Термическая обработка	$\sigma_B$ , МПа	НВ	$D_{\text{опт}}$ , мм	$K_{mv}$
<i>Коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные деформируемые стали</i>					
Коррозионно-стойкие, жаростойкие 12X18H9(1X18H9, X18H9,ЭЯ1) 12X18H10(X18H10)	Закалка	540 – 610 686	145 – 175 212	5,0 – 4,55 4,15	1,0 0,9
<i>Жаростойкие и жаропрочные деформируемые стали на никелевой основе</i>					
ХН28МАБ (Х21Н28В5МЗБАР)	Закалка	$\geq 900$	$\geq 262$	$\leq 3,75$	0,35
ХН35ВТ(ЭИ612) ХЮ5ВТЮ(ЭИ787)	Закалка и старение	882 – 931	262 – 269	3,75 – 3,7	0,35
ХН38ВТ(ЭЮ703)	Закалка	540 – 750	149 – 223	4,9 – 4,05	0,45
ХН45МВТЮБР	–	833 – 980	248 – 285	3,85 – 3,6	0,35
ХН50ВМТЮБ-ВИ (ЭП648-ВИ)	–	$\geq 780$	$\geq 229$	54,0	0,4
ХН50ВМТЮБР-ВД	–	31 – 1029	269 – 302	4,0 – 3,5	0,35
ХН51ВМТЮКФР (ЭП220)	–	1000 – 1039	297 – 302	3,53 – 3,5	0,32
Никелевые: 25Н, 25НЗ, 30Н, 40Н	–	395 – 492 492 – 590 590 – 690 690 – 787 787 – 886 886 – 980	116 – 146 146 – 174 174 – 203 203 – 230 230 – 260 260 – 288	5,54 – 4,95 4,95 – 4,56 4,56 – 4,23 4,23 – 3,99 3,99 – 3,76 3,76 – 3,58	1,83 1,3 1,0 0,83 0,67 0,58
Марганцовистые: 15Г, 20Г, 30Г, 40Г, 50Г, 60Г, 65Г, 70Г, 30Г2, 35Г2, 40Г2, 45Г2, 50Г2	–	395 – 492 492 – 590 590 – 690 690 – 787 787 – 886 886 – 980 980 – 1080 1080 – 1176	160 – 200 200 – 233 233 – 260 260 – 275 275 – 286 286 – 292 292 – 317 317 – 345	4,7 – 4,27 4,27 – 4,1 4,1 – 3,8 3,8 – 3,65 3,65 – 3,58 3,58 – 3,55 3,55 – 3,4 3,4 – 3,25	1,4 1,04 0,8 0,67 0,53 0,47 0,4 0,33

Окончание

Марка материала	Термическая обработка	$\sigma_B$ , МПа	НВ	$D_{опт}$ , мм	$K_{mv}$
Хромомарганцевый, хромомарганцево-кремнистый: 15ХГ, 20ХГ, 40ХГ, 35ХГ2,1 6ГТЛ, 18ХГТ, 20ХГС, 20ХГСА, 30ХГС, 30ХГСА, 35ХГСА, 35ХГСЛ, 45ХГСЛ	—	490 – 590	146 – 174	4,95 – 4,56	0,91
		590 – 690	174 – 203	4,56 – 4,23	0,70
		690 – 784	203 – 230	4,23 – 3,99	0,58
		784 – 882	230 – 260	3,99 – 3,76	0,47
		882 – 980	260 – 288	3,76 – 3,58	0,41
		980 – 1080	288 – 317	3,58 – 3,42	0,35
		1080 – 1176	317 – 245	3,42 – 3,28	0,29
Среднелегированные стали: хромоникелевые: 12ХН3, 12ХН3А, 12ХН4, 12ХН4А, 12Х2Н4А, 20Х2Н4, 20Х2Н4А	—	395 – 492	116 – 146	5,54 – 4,95	1,67
		492 – 590	146 – 174	4,95 – 4,56	1,23
		590 – 690	174 – 203	4,56 – 4,23	0,95
		690 – 787	203 – 230	4,23 – 3,99	0,80
		787 – 886	230 – 260	3,99 – 3,76	0,58
		886 – 980	260 – 288	3,76 – 3,58	0,55
		980 – 1080	288 – 217	3,58 – 3,42	0,47
1080 – 1176	317 – 345	3,42 – 3,28	0,39		
<i>Коррозионно-стойкие стали</i>					
03Х12Н10МТ	—	970 – 1050	277 – 302	3,65 – 3,5	1,2

## 1.2. Фрезерование. Основные сведения и понятия

*Фрезерование* (ГОСТ 25761 – 83) – лезвийная обработка с вращательным главным движением резания при постоянном радиусе его траектории, сообщаемым инструменту, и хотя бы одним движением подачи, направленным перпендикулярно оси главного движения резания.

Процесс фрезерования основан на сочетании двух одновременно действующих равномерных движений – вращательного и поступательного, которые определяют кинематические схемы резания (рис. 1.1).

Принципиальная кинематическая схема резания (рис. 1.1, а) предусматривает вращательное движение вокруг горизонтальной оси  $X$  и поступательное движение вдоль оси  $Y$ . По данной схеме фрезерование производится на горизонтально-фрезерных станках. При вращательном движении вокруг вертикальной оси  $Z$  и поступательном движении вдоль оси  $Y$  (рис. 1.1, б) фрезерование производится на вертикально-фрезерных станках. При вращательном движении вокруг наклонной оси  $Z'$  и поступательном движении вдоль оси  $Y$  (рис. 1.1, в) фрезерование осуществляется на агрегатных станках, станках типа «обрабатывающий центр» и универсальных вертикально-фрезерных станках с возможным поворотом фрезерной головки.

Во всех случаях вращательное движение, выполняемое инструментом, считается главным, а поступательное движение заготовки является движением подачи.

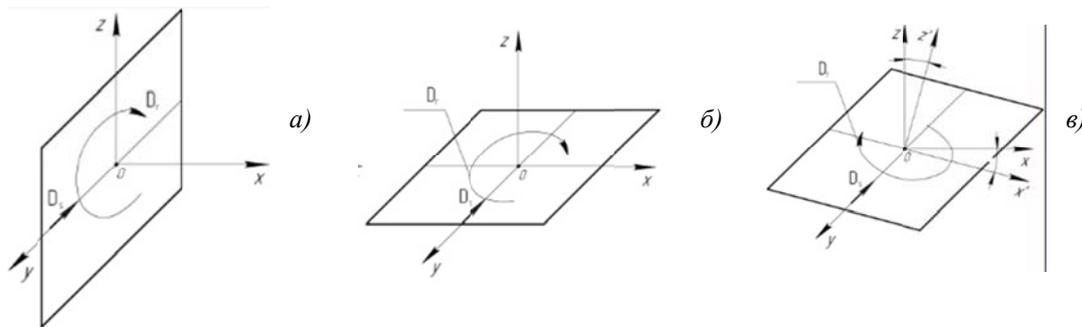


Рис. 1.1. Принципиальные кинематические схемы при фрезеровании инструментом: а – с горизонтальной осью вращения; б – с вертикальной осью вращения; в – с наклонной осью вращения;  $D_r$  – направление главного движения;  $D_s$  – направление движения подачи

**Основные элементы и характеристики резания** (в соответствии с ГОСТ 25762 – 83) (рис. 1.2, 1.3). *Главное движение резания*  $D_r$  – прямолинейное поступательное или вращательное движение заготовки или режущего инструмента, происходящее с наибольшей скоростью в процессе резания.

*Скорость главного движения резания*  $v$  – скорость рассматриваемой точки режущей кромки или заготовки в главном движении резания.

*Движение подачи*  $D_s$  – прямолинейное поступательное или вращательное движение режущего инструмента или заготовки, скорость которого меньше скорости главного движения резания, предназна-

ченное для того, чтобы распространить отделение слоя материала на всю обрабатываемую поверхность.

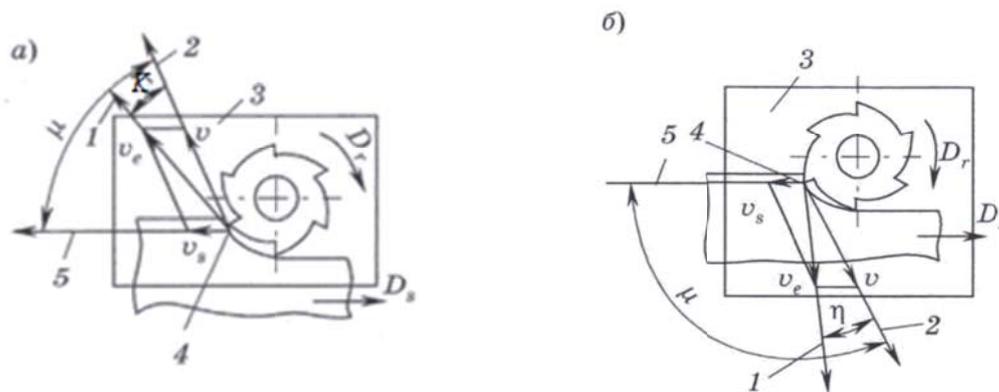


Рис. 1.2. Элементы движений при периферийном фрезеровании: а – встречное; б – попутное; 1,2 – направление скоростей результирующего и главного движений соответственно; 3 – рабочая плоскость; 4 – рассматриваемая точка режущей кромки; 5 – направление скорости движения подачи

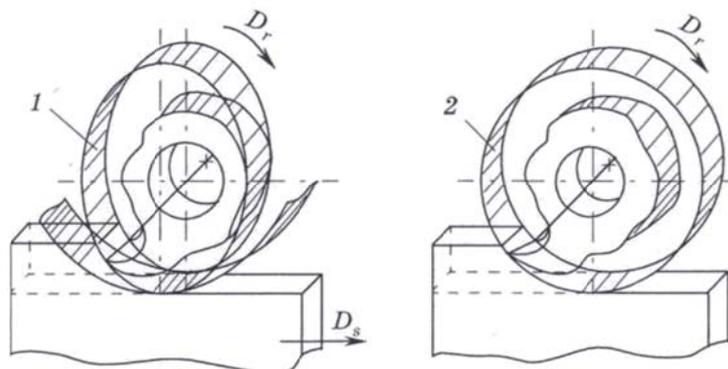


Рис. 1.3. Поверхность резания (1) и поверхность главного движения (2) при фрезеровании:  $D_r$  – направление главного движения;  $D_s$  – направление движения подачи

Скорость движения подачи  $v_s$  – скорость рассматриваемой точки режущей кромки в движении подачи.

**Элементы лезвий фрезерного инструмента.** Лезвия фрезерного инструмента имеют следующие поверхности кромки (рис. 1.4, 1.5).

*Передняя поверхность лезвия  $A_\gamma$*  – поверхность лезвия инструмента, контактирующая в процессе резания со срезаемым слоем и стружкой.

*Задняя поверхность лезвия  $A_\alpha$*  – поверхность лезвия инструмента, контактирующая в процессе резания с поверхностями заготовки.

*Режущая кромка  $K$*  – кромка лезвия инструмента, образуемая пересечением передней и задней поверхностей лезвия.

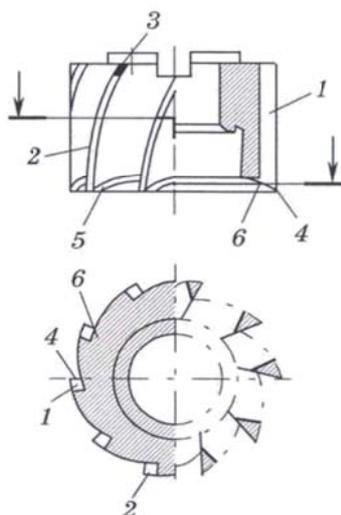


Рис. 1.4. Геометрические элементы цилиндрической и торцевой фрез: 1 – передняя поверхность лезвия; 2 – главная режущая кромка; 3 – главная задняя поверхность лезвия; 4 – вершина лезвия; 5 – вспомогательная задняя поверхность лезвия; 6 – вспомогательная режущая кромка

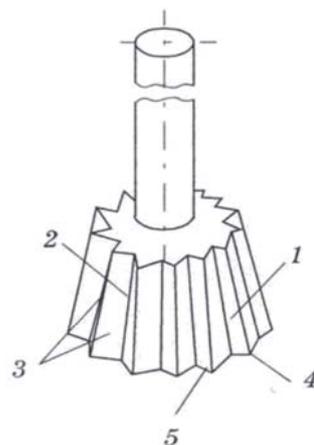


Рис. 1.5. Геометрические элементы концевой и угловой фрез: 1 – передняя поверхность лезвия; 2 – главная режущая кромка; 3 – главная задняя поверхность лезвия; 4 – вершина лезвия; 5 – вспомогательная режущая кромка

*Главная режущая кромка  $K$*  – часть режущей кромки, формирующая бóльшую сторону сечения срезаемого слоя.

*Вспомогательная режущая кромка  $K'$*  – часть режущей кромки, формирующая меньшую сторону сечения срезаемого слоя.

*Главная задняя поверхность  $A_\alpha$*  – задняя поверхность лезвия инструмента, примыкающая к главной режущей кромке.

*Вспомогательная задняя поверхность  $A_\alpha$*  – задняя поверхность инструмента, примыкающая к вспомогательной режущей кромке.

*Вершина лезвия* – участок режущей кромки в месте пересечения двух задних поверхностей.

Углы лезвий фрезерного инструмента имеют следующие обозначения (рис. 1.6, 1.7).

*Передний угол  $\gamma$*  – угол в секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и основной плоскостью.

*Нормальный передний угол  $\gamma_n$*  – передний угол в нормальной секущей плоскости.

Главный передний угол  $\gamma$  – передний угол в главной секущей плоскости.

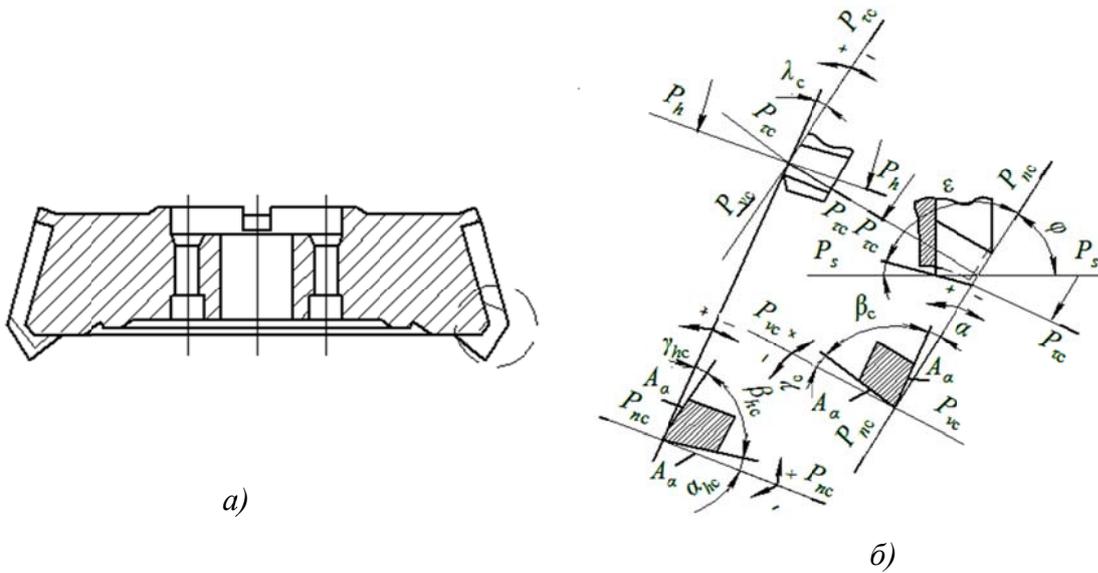


Рис. 1.6. Углы торцевой фрезы со вставными зубьями:  
а – внешний вид зуба; б – вид на зуб в статической системе координат

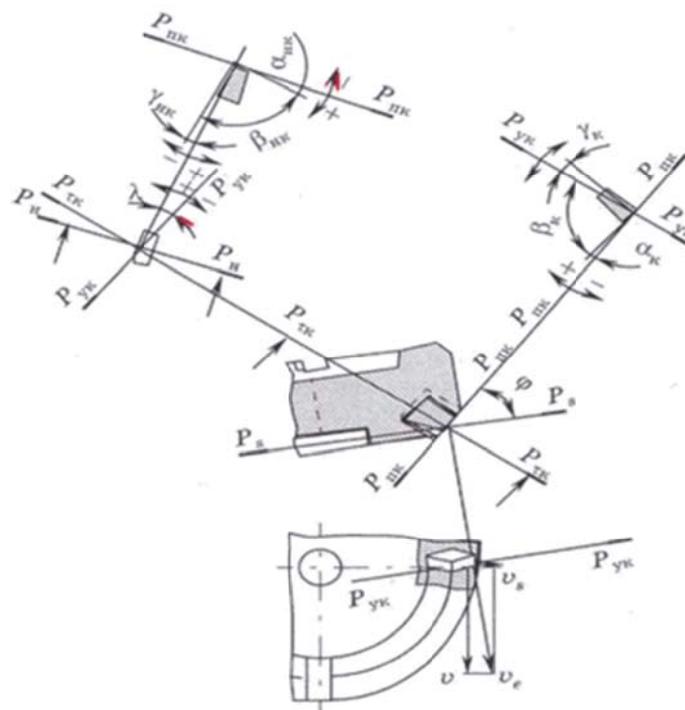


Рис. 1.7. Углы торцевой фрезы со сменными многогранными пластинами (СМП) типа S в кинематической системе координат

Инструментальный главный передний угол  $\gamma_u$  – угол в инструментальной главной секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и инструментальной основной плоскостью.

*Статический главный передний угол  $\gamma_c$*  – угол в статической главной секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и статической основной плоскостью.

*Кинематический главный передний угол  $\gamma_k$*  – угол в кинематической главной секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и кинематической основной плоскостью.

*Рабочий кинематический передний угол  $\gamma_p$*  – угол в секущей плоскости схода стружки между передней поверхностью лезвия и кинематической основной плоскостью.

*Задний угол  $\alpha$*  – угол в секущей плоскости между задней поверхностью лезвия и плоскостью резания.

*Нормальный задний угол  $\alpha_n$*  – задний угол в нормальной секущей плоскости.

*Главный задний угол  $\alpha_u$*  – задний угол в главной секущей плоскости.

*Инструментальный главный задний угол  $\alpha_u$*  – угол в инструментальной главной секущей плоскости между задней поверхностью лезвия и инструментальной плоскостью резания.

*Статический главный задний угол  $\alpha_c$*  – угол в статической главной секущей плоскости лезвия между задней поверхностью и статической плоскостью резания.

*Кинематический главный задний угол  $\alpha_k$*  – угол в кинематической главной секущей плоскости между задней поверхностью лезвия и кинематической плоскостью резания.

**Параметры срезаемого слоя.** Рассматривают следующие элементы и характеристики срезаемого слоя и стружки при фрезеровании.

*Сечение срезаемого слоя* – фигура, образованная при рассечении слоя материала заготовки, отделяемого лезвием за один цикл главного движения резания основной плоскостью (рис. 1.8).

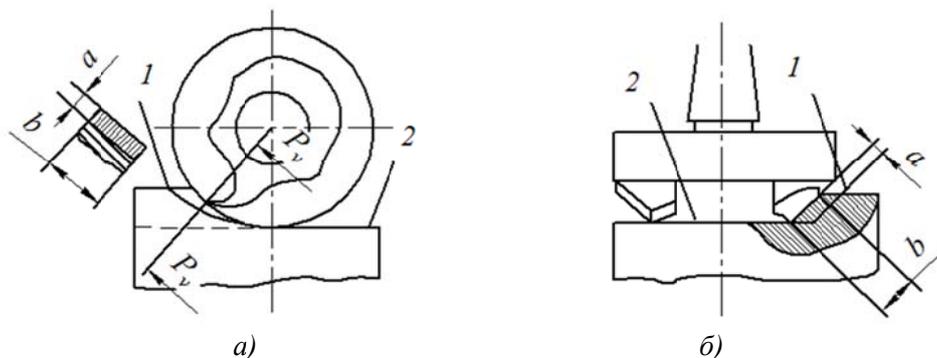


Рис. 1.8. Сечение срезаемого слоя при фрезеровании: а – цилиндрической фрезой; б – торцевой фрезой; 1, 2 – обрабатываемая и обработанная поверхности

Площадь срезаемого слоя  $f$  – площадь сечения срезаемого слоя.

Толщина срезаемого слоя  $a$  – длина нормали к поверхности резания, проведенной через рассматриваемую точку режущей кромки, ограниченная сечением срезаемого слоя.

Ширина срезаемого слоя  $b$  – длина стороны сечения срезаемого слоя, образованной поверхностью резания;  $a$  и  $b$  – физические параметры срезаемого слоя.

Схемы фрезерования различными видами фрез представлены на рис. 1.9 – 1.12.

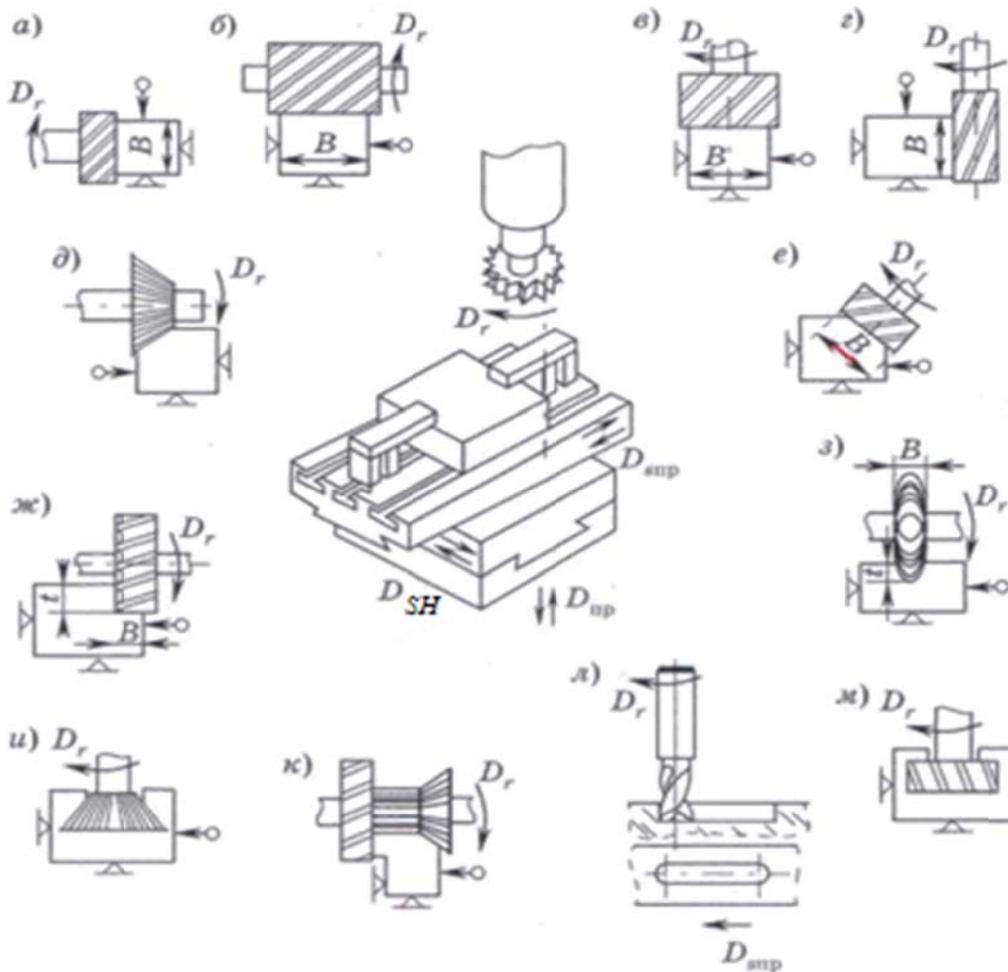


Рис. 1.9. Схемы фрезерования: а – торцевых поверхностей на проход торцевыми фрезами; б – плоскостей цилиндрической фрезой; в – плоскостей и уступов торцевой фрезой; г – торцевых поверхностей концевой фрезой; д – фасок угловыми фрезами; е – угловых поверхностей торцевыми фрезами; ж – ступенчатых поверхностей двухсторонними дисковыми фрезами; з – полукруглых пазов выпуклыми фасонными фрезами; и – пазов типа «ласточкин хвост» угловыми фрезами; к – набором фрез; л – шпоночных пазов шпоночными фрезами; м – Т-образных пазов грибковыми фрезами;  $D_r$  – направление главного движения;  $B$  – ширина фрезерования;  $t$  – глубина резания;  $D_s$  – направление движения подачи

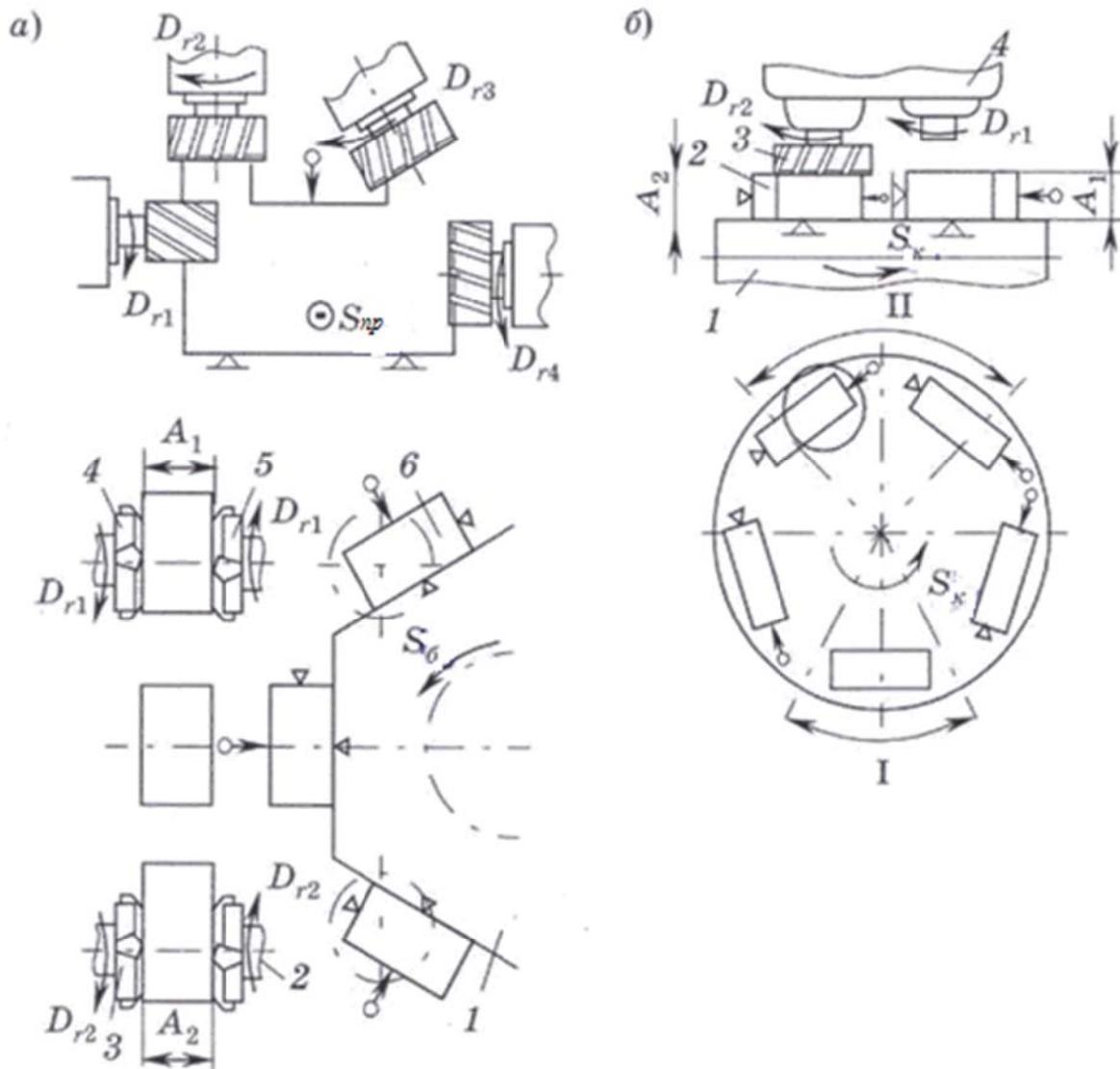


Рис. 1.10. Схемы фрезерования:  
 а – на продольно-фрезерном станке;  
 б – на карусельно-фрезерном станке:  
 1 – стол; 2 – заготовка; 3 – фреза; 4 – фрезерная  
 головка; I – зона загрузки, II – зона обработки

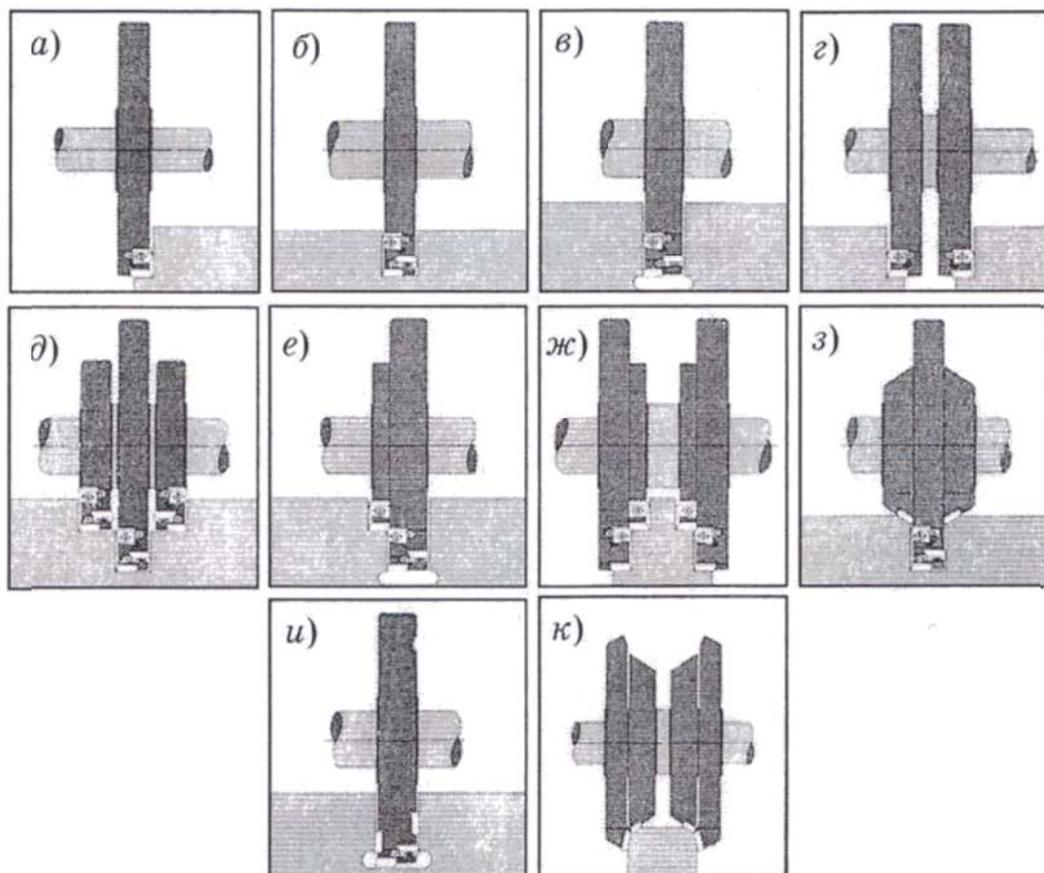


Рис. 1.11. Схемы фрезерования дисковыми фрезами с СМП: а – дисковой фрезой; б – пазовой фрезой; в – трехсторонней фрезой; г – двойной комбинированной фрезой с втулкой; д – тройной комбинированной фрезой с втулками; е – двойной комбинированной фрезой без втулки; ж – симметричной двойной комбинированной фрезой для специальных профилей; з – тройной комбинированной фрезой без втулки; и – трехсторонней фрезой с зачистным ножом; к – симметричной комбинированной фасонной фрезой

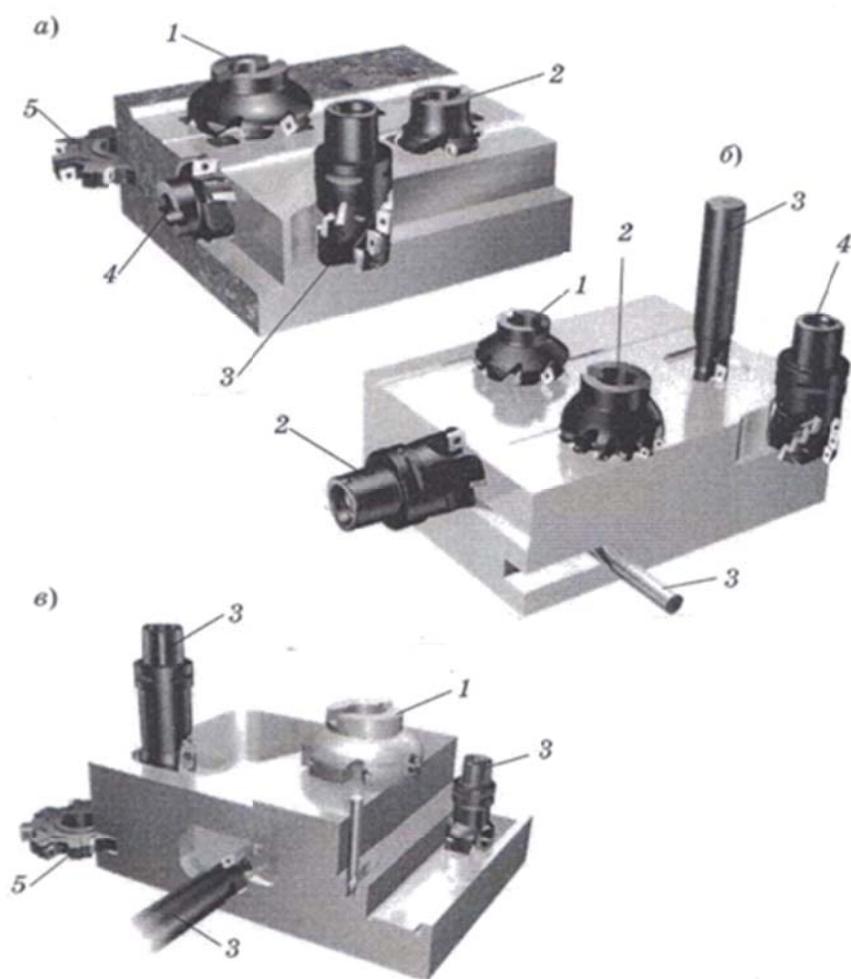


Рис. 1.12. Фрезерование на вертикально-фрезерных станках фрезами с СМП: а – черновая обработка; б – чистовая/профильная обработка; в – фрезерование алюминия; 1 – торцевое торцевыми фрезами; 2 – торцевое и профильное; 3 – пазов, уступов, освобождений, контурная обработка; 4 – уступов и ступенчатых поверхностей; 5 – пазов дисковыми фрезами

## Глава 2

# КЛАССИФИКАЦИЯ ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА

### 2.1. Область применения и типы фрез

**Фреза** – многолезвийный режущий инструмент для обработки с вращательным главным движением резания без возможности изменения радиуса траектории этого движения подачи. Фрезерный инструмент является одним из самых распространенных инструментов в области металлообработки.

Фрезы классифицируют следующим образом:

1. *По технологическому признаку* – для обработки горизонтальных, вертикальных и наклонных поверхностей; ступенчатых поверхностей; пазов; шлицев; фасонных поверхностей различных профилей с прямолинейными или криволинейными образующими; узких и глубоких прорезей; для разрезки материалов; нарезания резьбы; нарезания зубьев.

2. *По форме зубьев* – острозаточенные (одноугловые; с ломаной спинкой; с параболической формой; с выступающей ленточкой); затылованные.

3. *По расположению зубьев относительно оси фрезы* – цилиндрические (с зубьями, расположенными по поверхности цилиндра); угловые (с зубьями, расположенными на корпусе); торцевые (с зубьями, расположенными в плоскости, перпендикулярной к оси фрезы); фасонные (с зубьями, расположенными на поверхности криволинейной образующей).

4. *По профилю зубьев* – резбонарезные; зубонарезные (дисковые, пальцевые); червячные зуборезные; канавочные (для стружечных канавок инструментов).

5. *По конструкции инструмента* – цельные (зубья выполнены за одно целое с корпусом); составные, состоящие из двух одинаковых частей (например пазовые) или двух половинок и прокладки между ними для восстановления первоначальной длины после износа; наборы или комплекты фрез для одновременной обработки нескольких поверхностей; сборные (с напаянными пластинами, с механическим

креплении пластин под последующую с механическим креплением специальным механическим приспособлением (СМП)).

6. По способу крепления на станке – насадные (с цилиндрическим или коническим отверстием); концевые (с цилиндрическим или коническим хвостовиком).

## 2.2. Способы закрепления фрез

Для насадного инструмента, закрепляемого на оправках или посадочных концах шпинделей станков, диаметр фрез принимается от 40 мм и более. Для концевых фрез диаметр хвостовиков не должен превышать 80 мм.

Наружный диаметр фрез (диаметр рабочей части) должен соответствовать стандартному ряду (ГОСТ 29116 – 91) (табл. 2.1).

Диаметр отверстий под оправки у насадных фрез с цилиндрическими и коническими отверстиями соответствует стандартному ряду (ГОСТ 9472 – 90) (табл. 2.2).

Различные способы закрепления фрез представлены на рис. 2.1 – 2.19.

Таблица 2.1

Наружный диаметр  $D$  фрез, мм

Ряд							
Основной	1,60	2,00	2,50	3,15	4,00	5,00	6,30
Дополнительный	1,80	2,24	2,80	3,55	4,50	5,60	7,10
Основной ряд	40,0	50,0	63,0	80,0	100	125	160
Дополнительный	45,0	56,0	71,0	90,0	112	140	180
Основной	8,00	10,0	2,5	16,0	20,0	25,0	31,5
Дополнительный	9,00	11,2	14,0	18,0	22,4	28,0	35,5
Основной	200	250	315	400	500	630	–
Дополнительный	224	280	355	450	560	–	–

Таблица 2.2

Диаметр  $D$  посадочных отверстий фрез, мм

Наружный диаметр $D$ фрез, мм	40	50 – 62	62	80 – 100	100 – 120	125 – 160	160 – 200	250 – 630
Диаметр посадочного отверстия $d$ , мм	16	22	27	32	40	50	60	60 с выточками

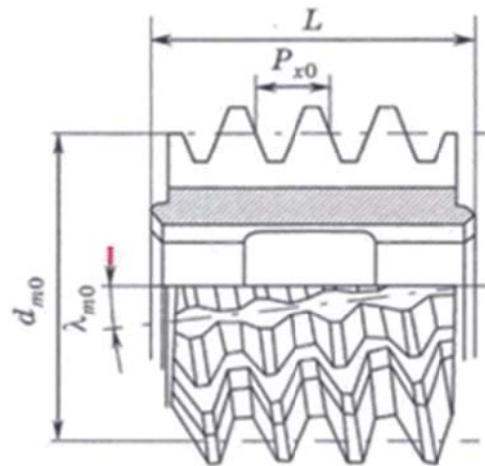


Рис. 2.1. Червячная фреза для нарезания зубьев зубчатых колес

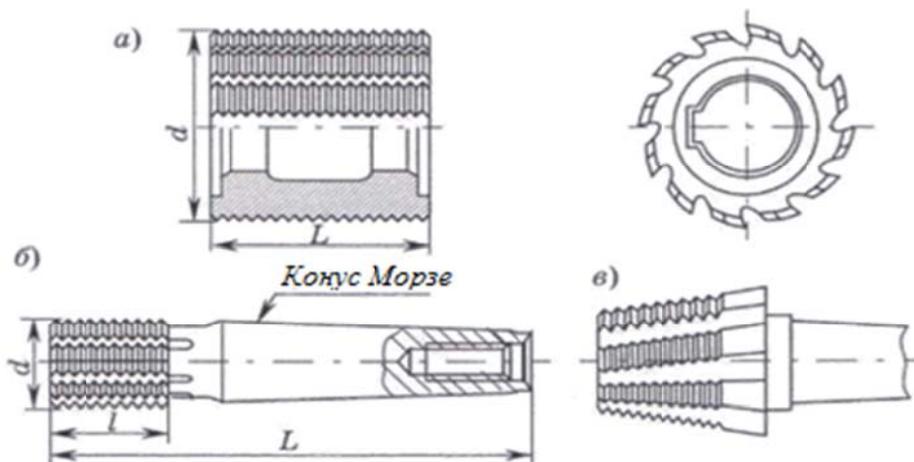


Рис. 2.2. Гребенчатые резьбонарезные фрезы: а – цилиндрическая насадная; б – цилиндрическая концевая; в – для конических резьб

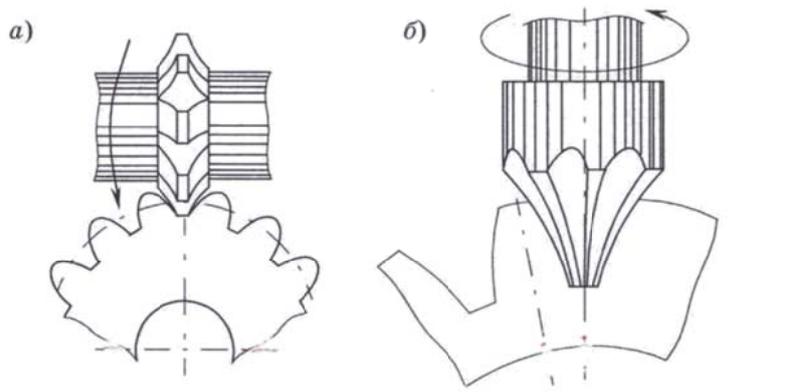


Рис. 2.3. Нарезание зубьев зубчатых колес: а – дисковой модульной фрезой; б – пальцевой модульной фрезой

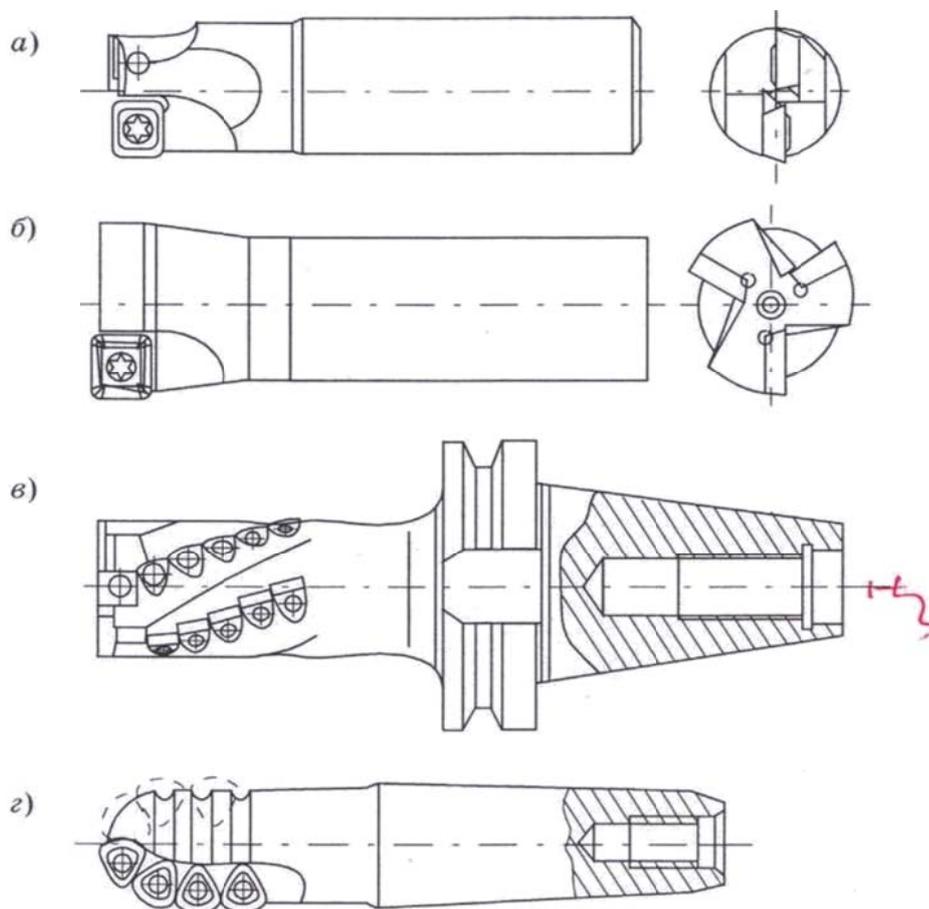


Рис. 2.4. Концевые фрезы с СМП:

а – двухзубая с режущими кромками, расположенными в перпендикулярной плоскости; б – трехзубая с режущими кромками, расположенными в перпендикулярной плоскости; в – концевая сборная с винтовыми зубьями для обработки глубоких пазов; г – фасонная для копировальных работ

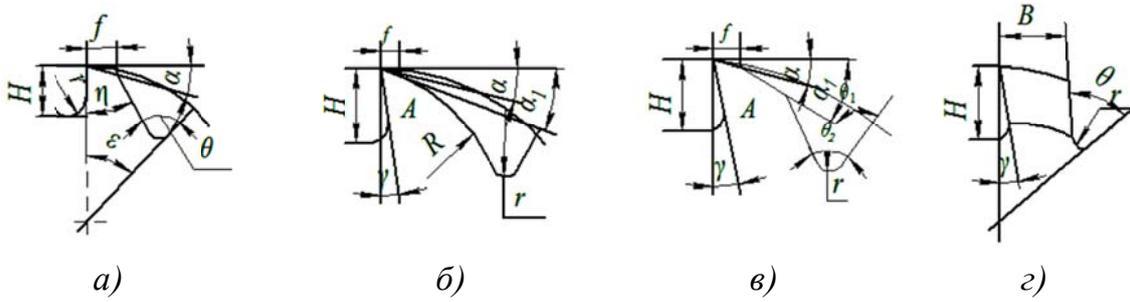


Рис. 2.5. Форма зубьев фрез: а – одноугловая; б – параболическая; в – с ломаной спинкой; г – затылованная

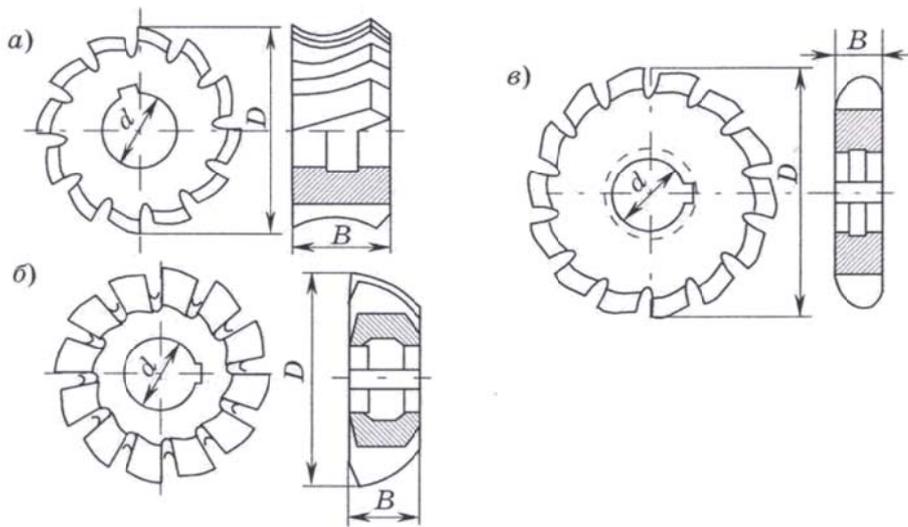


Рис. 2.6. Дисковые насадные канавочные фрезы для фрезерования: а – стружечных канавок зенкеров; б – стружечных канавок разверток; в – стружечных канавок метчиков

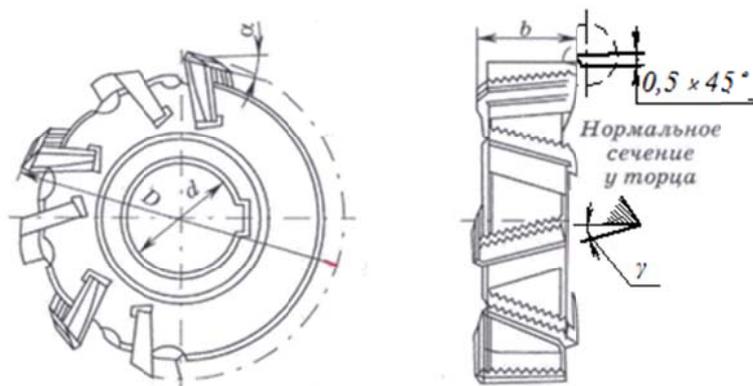


Рис. 2.7. Дисковая трехсторонняя фреза сборной конструкции со вставными разнонаправленными ножами

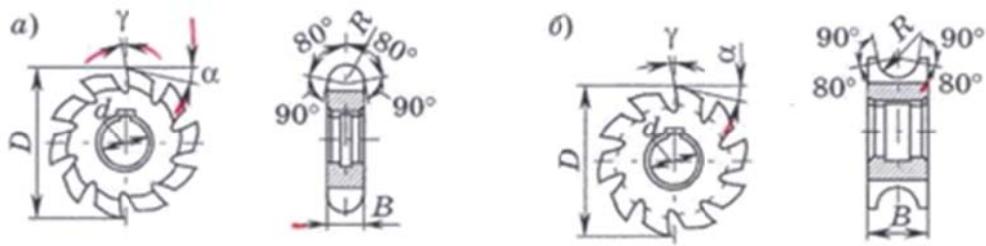


Рис. 2.8. Дисковые насадные полукруглые фрезы: а – выпуклые; б – вогнутые

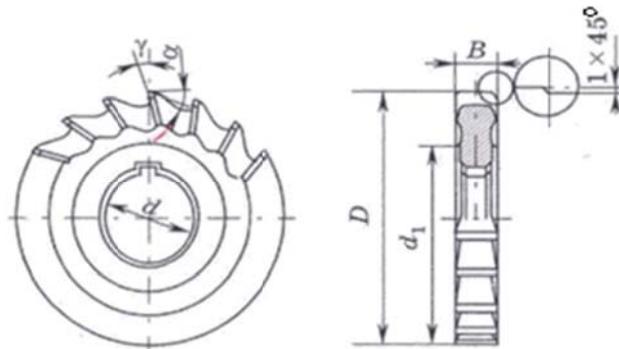


Рис. 2.9. Дисковая трехсторонняя цельная фреза с прямыми зубьями

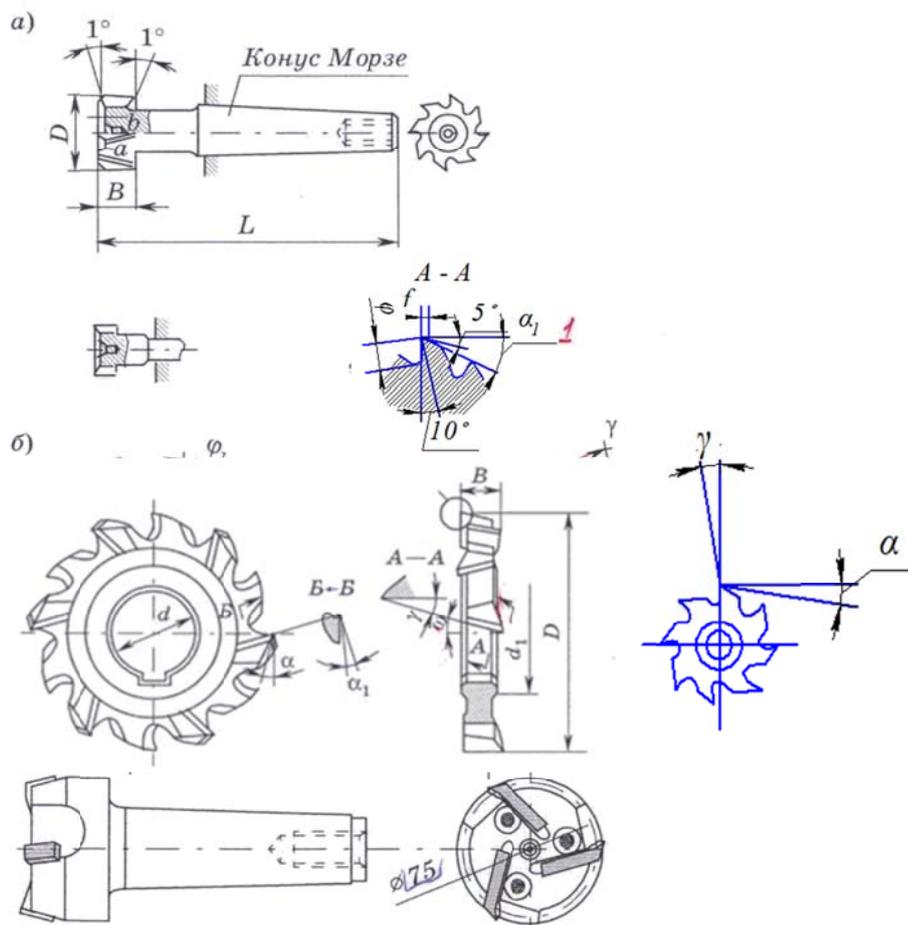


Рис. 2.10. Фрезы для фрезерования: а – Т-образных шпонок; б – сегментных шпонок

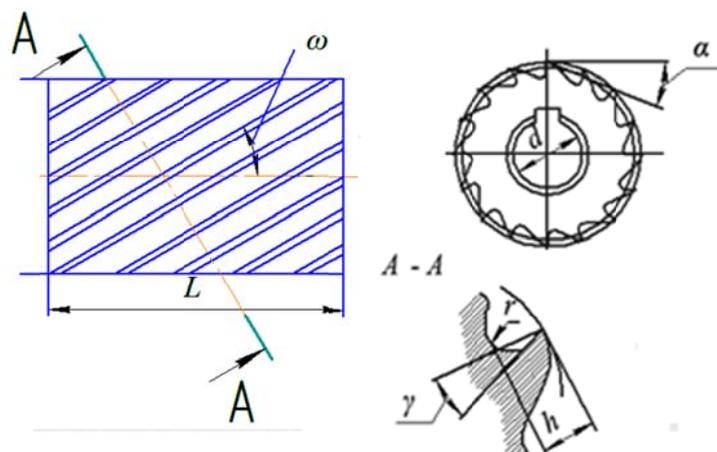


Рис. 2.11. Цилиндрическая цельная фреза с винтовыми зубьями

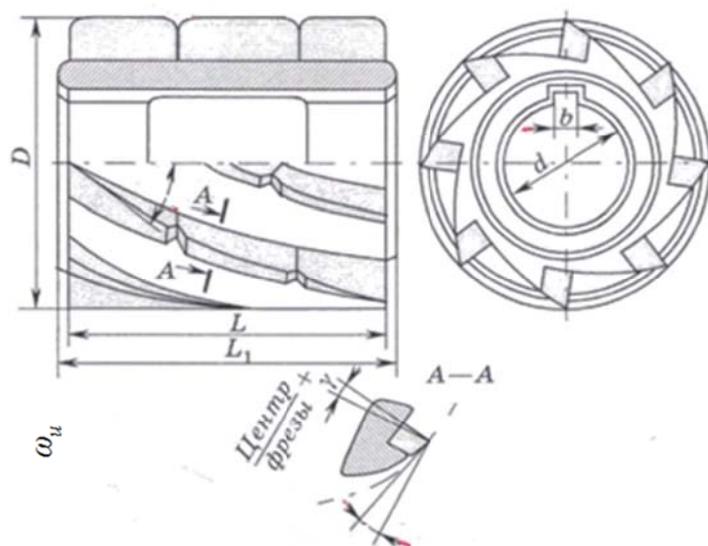


Рис. 2.12. Цилиндрическая сборная фреза, оснащенная винтовыми ножами из твердого сплава

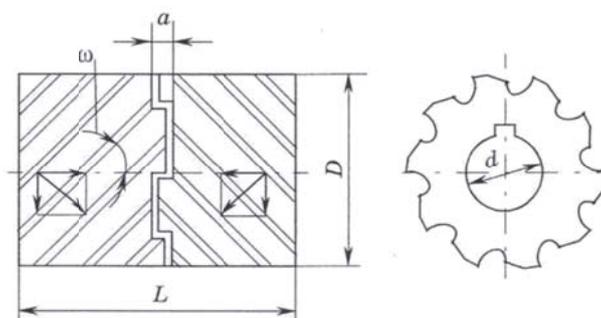


Рис. 2.13. Цилиндрическая составная фреза

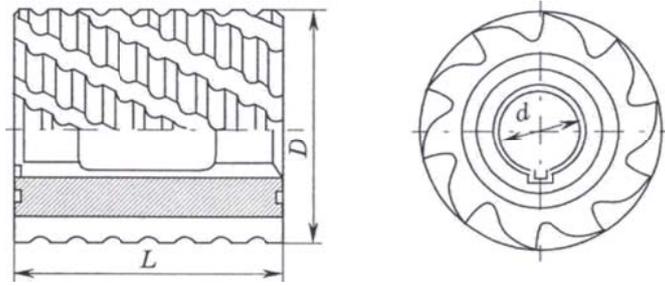


Рис. 2.14. Цилиндрическая цельная кукурузная фреза

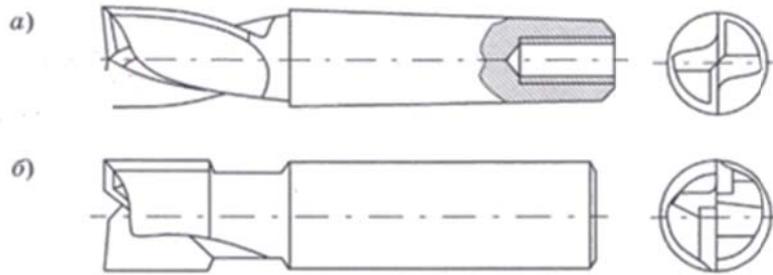


Рис. 2.15. Шпоночные концевые фрезы: а – цельная с коническим хвостовиком; б – со вставными ножами и цилиндрическим хвостовиком

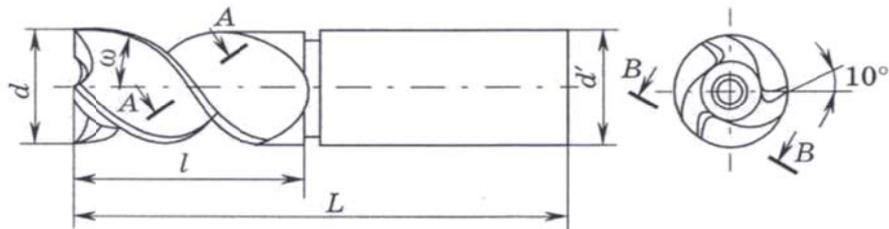


Рис. 2.16. Концевая цельная фреза с цилиндрическим хвостовиком

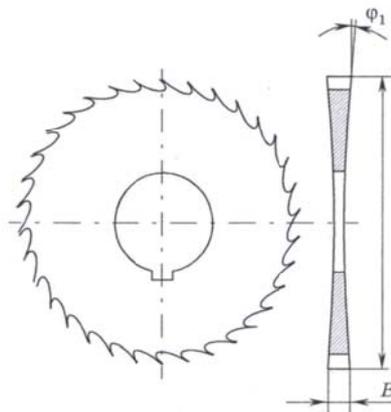


Рис. 2.17. Дискотная отрезная цельная фреза с прямыми зубьями

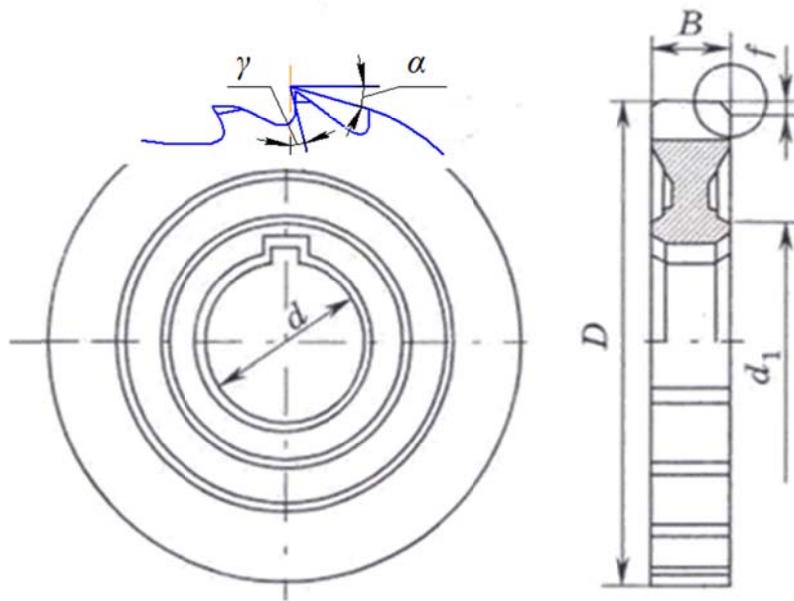


Рис. 2.18. Дисквая насадная пазовая фреза

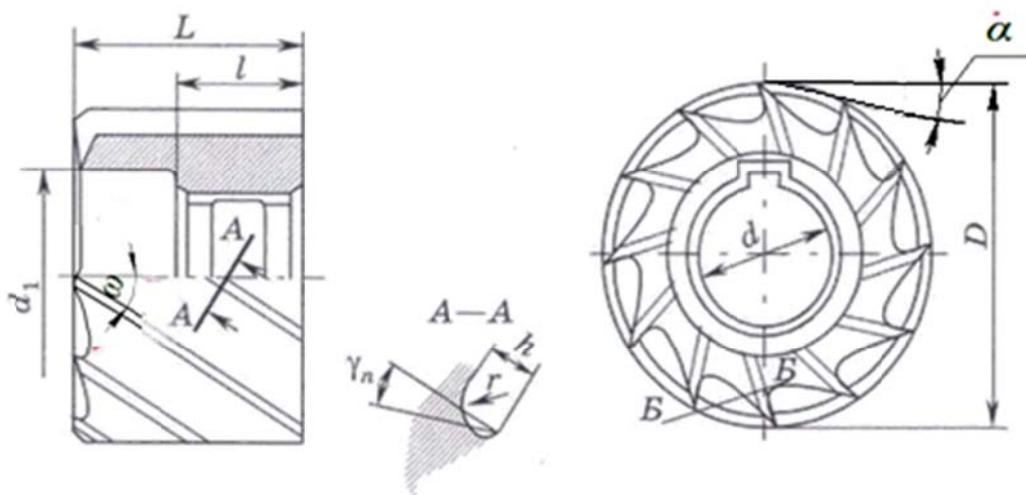


Рис. 2.19. Торцевая цельная насадная фреза

## Глава 3

### ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

#### 3.1. Требования к инструментальным материалам

Производительность обработки резанием, а также высокое качество, обеспечивающее надежность и долговечность изделий, во многом зависят от материала режущей части инструмента (инструментального материала). Для обеспечения качественной высокопроизводительной обработки инструментальные материалы, применяемые при изготовлении режущей части инструментов, должны обладать следующими основными свойствами:

- *высокой твердостью* (в несколько раз превосходящей твердость обрабатываемого материала);
- *высокой прочностью* (прочность характеризуется пределом прочности при изгибе, сжатии и ударной вязкостью);
- *высокой теплостойкостью* (наивысшей температурой, при которой материал сохраняет свою твердость, а инструмент – режущие свойства);
- *высокой износостойкостью* (способностью инструментального материала сопротивляться износу инструмента по его передней и задней поверхностям в процессе резания);
- *упругостью* (высоким сопротивлением малой пластической деформации);
- *высокой теплопроводностью* (способствующей отводу тепла из зоны резания);
- *технологичностью* (к которой относят обрабатываемость, закаливаемость, прокаливаемость, устойчивость против перегрева, окисления, отсутствие склонности к обрабатыванию трещин при пайке, заточке, доводке и т. д.);
- *экономичностью* (достаточно приемлемой стоимостью).

Инструментальные материалы, в той или иной степени отвечающие перечисленным требованиям, подразделяются на следующие основные классы:

- 1) Инструментальные углеродистые и легированные стали.
- 2) Быстрорежущие стали.

- 3) Твердые сплавы.
- 4) Режущая минералокерамика.
- 5) Сверхтвердые инструментальные материалы.

Наиболее распространенными инструментальными материалами являются быстрорежущая сталь (66 % инструмента) и твердые сплавы (32 %), из которых изготавливают до 98 % всего объема инструмента. Эти материалы относительно легко поддаются обработке, устойчивы к перегреву, окислению, характеризуются меньшей склонностью к образованию трещин при пайке, сварке, хорошо шлифуются и затачиваются.

### **3.2. Марки инструментальных материалов и рекомендации по их выбору для оснащения фрез**

**Быстрорежущие стали.** Быстрорежущими сталями называются стали с содержанием вольфрама от 5,5 до 19,5 %. Номенклатура как отечественных, так и зарубежных марок инструментальных сталей чрезвычайно велика. Наиболее рациональной считается классификация быстрорежущих сталей по областям их применения.

Согласно классификации стандартов ИСО 4957 – 80 быстрорежущие стали подразделяются на две группы (табл. 3.1):

1) Быстрорежущие стали обычной производительности (HSS – High Speed Steel), температура теплостойкости не менее 620 °С, предназначены для обработки обычных конструкционных материалов – сталей  $\sigma_b < 1000$  МПа, чугунов HB 140—180. В этих сталях не содержатся ванадий и кобальт, из-за чего они обладают достаточно высокой прочностью  $\sigma_b < 3000$  МПа.

2) Быстрорежущие стали повышенной производительности (HSS-E, HSS-C<sub>0</sub> (HSS-K)), температура теплостойкости не менее 640 °С, твердость после закалки до 70 HRC. Для этих сталей характерно повышенное содержание карбидообразующих ( $W - 2M_0 > 10\%$ ) и легирующих элементов, в частности кобальта больше 5 % и ванадия больше 3 %. Стали этой группы применяют для изготовления инструмента, используемого для обработки труднообрабатываемых материалов. Инструменты из кобальтовых сталей применяют для черновой, обдирочной обработки, а из высокованадиевых сталей – для получистовой и чистовой обработки.

Таблица 3.1

## Основные марки быстрорежущих сталей и область их применения

Марки сталей	Температура теплостойкости T, °C	HRC после термообработки	Характерные физико-механические свойства	Область применения
P18	625	63 – 65	Удовлетворительная прочность, повышенная износостойкость при малых и средних скоростях резания	Все виды режущего инструмента при обработке углеродистых сталей и легированных конструкционных сталей (автоматные резцы, дисковые и концевые фрезы, долбяки, протяжки, прошивки, метчики)
P12	625	63 – 65	Близкие к свойствам P18, но более высокие «горячая» пластичность, прочность и вязкость	В основном инструмент для пластичной деформации, а также для обработки некоторых видов коррозионно-стойкой стали
P9	620	63 – 65	Близкие к свойствам P18, но обладает лучшими механическими свойствами	Инструменты простой конструкции для чистовой и получистовой обработки конструкционных материалов. Деревообрабатывающий инструмент
P6M5	620	64 – 66	Повышенная прочность, повышенная склонность к обезуглероживанию и выгоранию молибдена	Все виды инструмента для обработки углеродистых и среднелегированных сталей с $\sigma_B \leq 900 - 1000$ МПа. Предпочтительно изготовление резьбообработки инструмента и инструмента, работающего с ударными нагрузками

Продолжение табл. 3.1

Марки сталей	Температура теплостойкости T, °C	HRC после термообработки	Характерные физико-механические свойства	Область применения
A11P3AMФ2	620	63 – 65	Склонность к перегреву, повышенная склонность к обезуглероживанию	Для инструмента простой формы при обработке углеродистых и конструкционных сталей с прочностью не более 800 МПа
P12Ф3	630	64 – 67	Стойкость выше в 1,5 – 2,5 раза, чем у стали P12 и P6M5 при средних скоростях резания	Инструмент для чистой обработки вязких аустенитных сталей и сталей, обладающих абразивными свойствами
P18Ф	620	63 – 66	Теплостойкость хуже по сравнению с вольфрамокобальтовыми сталями	Получистовые и чистовые резцы, фрезы дисковые двух- и трехсторонние машинные развертки для обработки среднелегированных конструкционных сталей
P5M5Ф3	625	65 – 66	Повышенная прочность, вязкость, износостойкость. Повышенная склонность к перегреву, обезуглероживанию и перегреву	Для инструментов чистой и получистой обработки при обработке углеродистых и легированных конструкционных сталей (фасонные резцы, развертки, протяжки, фрезы)
P6M5Ф3-МП	630	66 – 67	–	–
P9K5 (P6K10)	630	64 – 67	Склонность к перегреву. Повышенная склонность к обезуглероживанию, хрупкость. Повышенная вторичная твердость	Для различных инструментов при обработке коррозионно-стойких, а также сталей повышенной прочности. Изготовление фрез для черновой обработки, долбяков, инструментов, работающих с ударными нагрузками

Продолжение табл. 3.1

Марки сталей	Температура теплостойкости T, °C	HRC после термообработки	Характерные физико-механические свойства	Область применения
P9K5-MП	630	66 – 68	Высокая прочность на изгиб и в 1,5 – 2,5 раза более высокая стойкость по сравнению с аналогичной маркой обычного производства	Для черновых и получистовых инструментов (фрезы, сверла, зенкеры и др.), для обработки жаростойких и высокопрочных сталей, жаростойких сплавов
P18K5Ф2	610	62 – 65	Повышенная вторичная твердость и износостойкость	Для инструментов черновой и получистовой обработки, при обработке высокопрочных, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов
P12Ф4K5	600	64 – 67	Уступает стали P18K5Ф2 в жаростойкости и шлифуемости	Для изготовления осевого инструмента (сверла, зенкеры, развертки, метчики, цековки, зенковки) при чистовой и получистовой обработке большинства марок труднообрабатываемых материалов
P10K5Ф5	640	66 – 68	Повышенная вторичная твердость и высокая износостойкость	Та же, что и для стали P18K5Ф2
M5K5	630	65 – 67	Повышенная вторичная твердость и высокая износостойкость. Повышенная чувствительность к обезуглероживанию	Является основой для изготовления осевого инструмента (сверла, зенкеры, развертки, метчики) при черновой и получистовой обработке и обработке легированных, коррозионно-стойких, углеродистых сталей, при повышенных режимах резания

Продолжение табл. 3.1

Марки сталей	Температура теплоустойчивости T, °C	HRC после термообработки	Характерные физико-механические свойства	Область применения
P5M5K5МП	630 630 630	67 – 68	Высокая прочность на изгиб и в 1,5 – 2,5 раза более высокая стойкость по сравнению с аналогичной маркой обычного производства	Для обработки низко- и среднелегированных сталей при фасонном точении, сверлении, зенкерования, развертывании, фрезеровании, зубодолблении
P9M4K8	630 630	64 – 67	Те же, что для стали P5M5K5	Инструменты для обработки высокопрочных, жаропрочных и коррозионно-стойких сталей и сплавов, а также улучшенной легированной стали. Изготовление фасонных резцов при обработке автоматических сталей со скоростями резания 30 – 50 м/мин
P9M; K8МП	635	66 – 67	Высокая прочность на изгиб и в 1,5 – 2,5 раза более высокая стойкость по сравнению с аналогичной маркой обычного производства	Для черновых и получистовых инструментов и для обработки жаропрочных сплавов пониженной обрабатываемости типа ЖС6-КП (сверла, фрезы, зенкеры и др.)
P12M3Ф2K8 P6M5Ф2K8	640	64 – 67	Износостойкость. Склонность к перегреву	Черновая обработка труднообрабатываемых материалов, конструкционных материалов, при повышенных режимах резания

Окончание табл. 3.1

Марки сталей	Температура теплостойкости Т, °С	HRC после термообработки	Характерные физико-механические свойства	Область применения
P10M4Φ3K10	640	68 – 69	Повышенная прочность, высокая износостойкость. Повышенная склонность к обезуглероживанию	Для изготовления инструментов 1-й простой формы, работающих в условиях невысоких силовых нагрузок, в основном чистовая и получистовая обработки, главным образом на станках с автоматическим циклом, где особо важно сохранение размерной стойкости инструмента
P12M3K8Φ2-МП	640	67 – 69	Высокая прочность на изгиб и в 1,5 – 2,5 раза более высокая стойкость по сравнению с аналогичной маркой обычного производства	Для чистовых и получистовых инструментов для обработки жаропрочных сплавов типа ВЖЛ-12
P12M3K5Φ2-МП	635	67 – 68	Высокая прочность на изгиб и в 1,5 – 2,5 раза более высокая стойкость по сравнению с аналогичной маркой обычного производства	Обработка жаропрочных сталей при протягивании
B7K25 B14M7K25 B11M7K23	700 – 725	68 – 69	Плохо обрабатываются резанием. Высокая вторичная твердость, хорошая прокаливаемость	Для точения, фрезерования, строгания труднообрабатываемых материалов

В соответствии с ГОСТ 19265 – 73 (в ред. 1991 г.) быстрорежущие стали подразделяются на три основные группы.

1. Быстрорежущие стали нормальной производительности (что соответствует HSS) предназначены для изготовления инструмента, обрабатывающего в основном конструкционные стали с твердостью до 280 НВ, ферритно-перлитные чугуны и цветные металлы и сплавы.

2. Быстрорежущие стали повышенной производительности предназначены для изготовления инструмента, обрабатывающего конструкционные стали и перлитные чугуны с твердостью более 280 НВ; характеризуются увеличенным содержанием углерода, ванадия и кобальта.

3. Быстрорежущие стали высокой производительности – температура теплостойкости 680 – 725 °С – характеризуются пониженным содержанием углерода, но весьма большим количеством легирующих элементов, за счет чего твердость достигает 68 – 72 HRC. Наиболее рациональная область применения – резание труднообрабатываемых материалов и титановых сплавов.

Перспективным направлением в повышении качества быстрорежущих сталей считается их получение методами порошковой металлургии. Стали P6M5K5-П (П – порошковая), P9M4K8-П, P12M3Ф3K10-П и другие имеют однородную и мелкозернистую структуру, хорошо шлифуются, меньше деформируются при термообработке, отличаются стабильностью эксплуатационных свойств. Их стойкость возрастает в 1,5 – 2 раза.

Наряду с порошковыми быстрорежущими сталями хорошо зарекомендовали себя так называемые карбидостали с содержанием до 20 % TiC, которые по своим характеристикам занимают промежуточное место между быстрорежущими сталями и твердыми сплавами.

**Твердые сплавы.** Твердые сплавы представляют собой конгломерат мельчайших зерен карбидов тугоплавких металлов, связанных металлическим кобальтом и никелем. Массовая доля карбидов в твердых сплавах на кобальтовой основе составляет 75 – 97 %, на никелевой основе – 61 – 79 %. Теплостойкость твердых сплавов различных марок составляет 800 – 1000 °С, твердость не менее 87 – 92 HRA.

По способу получения твердые сплавы подразделяются на литейные и полученные методом спекания. Литейные твердые сплавы для изготовления режущих инструментов не применяются.

В зависимости от обрабатываемого материала и характера обработки (видов образующейся стружки) твердые сплавы согласно классификации стандартов ИСО подразделяются на шесть групп по областям применения (Р, М, К, N, S, H) (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Классификация и применение твердых сплавов  
(согласно стандартам ИСО)

Группа	Маркировка	Основная область применения
Р	Синий	Углеродистая и легированная сталь и стальное литье (материал, дающий сливную стружку). Шарикоподшипниковая и марганцевая сталь
М	Желтый	Нержавеющая сталь. Мартенситно-ферритная сталь. Теплостойкая сталь. Литье из аустенитных сталей
К	Красный	Ковкий ферритный, ковкий перлитный чугуны. Серый чугун НВ 140 – 280. Высокопрочный чугун
N	Зеленый	Алюминиевые сплавы без термообработки. Силумины. Медь и медные сплавы (латунь, бронза)
S	Коричневый	Титановые сплавы. Жаропрочные литейные сплавы на основе никеля и кобальта
H	Серый	Закаленные инструментальные углеродистые стали. Высокопрочные закаленные стали (легирующие элементы > 5 %). Жаростойкий чугун (ГОСТ 7769 – 82). Жаропрочный чугун

Группы резания, в свою очередь, подразделяются на группы применения, которые обозначаются буквой (группа резания) и числовым индексом (группа применения). Чем выше число индекса в обозначении групп применения, тем ниже износостойкость твердого сплава и допустимые скорость резания и толщина среза (подача и глубина резания).

В зависимости от состава карбидной фазы и связки обозначение твердых сплавов включает буквы, характеризующие карбидообразующие элементы (В – вольфрам, Т – титан, вторая буква Т – тантал) и связки (К – кобальт). Массовая доля карбидообразующих элементов в однокарбидных сплавах, содержащих только карбид вольфрама, определяется разностью между 100 % и массовой долей связки. В со-

ответствии с ГОСТ 3882-74 вольфрамовые твердые сплавы подразделяются на три группы: однокарбидные (вольфрамовые ВК), двухкарбидные (титановольфрамовые ТК) и трехкарбидные (титанотанталовольфрамовые ТТК).

Основные марки и физико-механические свойства твердых сплавов приведены в табл. 3.3.

**Минералокерамика.** Минералокерамические инструментальные материалы обладают высокой твердостью, тепло- и износостойкостью. Их основой является глинозем  $Al_2O_3$  (белая тонкая керамика, содержащая 99,7 %  $Al_2O_3$ ) или смесь окиси алюминия и карбидов титана ( $Al_2O_3 + TiC$ ) – черная карбидооксидная керамика.

На основе алюмооксидной керамики разработан новый материал ОНТ-20 (кортинит), имеющий мелкозернистую структуру. К этой группе относится и материал силинит-Р (смешанная керамика на основе нитрида кремния  $Si_3N_4$ ) (табл. 3.4).

**Сверхтвердые материалы.** Синтетические сверхтвердые инструментальные материалы обладают высокой износостойкостью, твердостью. В технологии получения сверхтвердых инструментальных материалов выделяют:

– синтез из гексагонального нитрида бора – композит 01 (эльбор-Р) и композит 02 (белбор);

– синтез из вюртцитоподобной модификации нитрида бора – композит 10 (гексонит-Р) и композит 09;

– спекание из порошков кубического нитрида бора с легирующими добавками – композиты 05 и 06.

Наибольшее распространение имеют резцы и фрезы, оснащенные режущими пластинками из композитов 01 и 10.

Спекание кубического нитрида бора с жаропрочными связующими веществами позволило получить новый поликристаллический материал киборит, предназначенный для точения жаропрочных сталей и сплавов на никелевой основе на высоких скоростях резания (300 – 450 м/мин). Также следует назвать:

– томал 10 – крупные двухслойные поликристаллы, получаемые спеканием зерен кубического нитрида бора со связующим веществом;

– карбонадо (АСПК) – цельные и двухслойные поликристаллы, получаемые синтезом или спеканием зерен синтетических алмазов со связующим веществом.

Таблица 3.3

## Основные марки твердых сплавов

Марки твердых сплавов		Обрабатываемый материал			Сплавы без покрытия при фрезеровании
ISO	СМС код	Характеристика	Марка	НВ	
P	<i>Углеродистая сталь</i>				PM30 (P20-I) – сплав удачной стойкости, применяется для новой обработки скоростями $v <$ на зуб.
	01.1	C = 0,1 – 0,25 %	08кп; 10; 09Г2; А12; 15; 20; А20; 14Г2; Ст3	125	
	01.2	C = 0,25 – 0,55 %	30; 35; 40; 45; 50; 55; А30; А40Г	150	
	01.3	C = 0,55 – 0,80 %	60; У7А; У8А	170	
	<i>Легированная сталь</i>				
	02.1	В состоянии поставки	20Х; 30Х; 40Х; 40ХН; 30ХГСА; 38ХС; 18ХГТ; 40ХФА; 12ХН3А; 55ГС; 20Х2Н4А; 38Х2Н2МА; 38Х2МЮА; 20ХГНР; 20Х3ВМФ; 34ХН3М; 60С2Н2А	180	
	02.12	Подшипниковая	ШХ4; ШХ15; ШХ15ГС	180	
	02.2	После закалки и отпуска	См. СМС 02.1 и 02.12	275 – 350	
	<i>Высоколегированная сталь (легир. эл. &gt; 5%)</i>				
	03.11	Отожженная	7ХФ; ЭХС; ХВГ; 5ХНМ; Р6М5	200	

Продолжение табл.3.3

Марки твердых сплавов		Обрабатываемый материал			Сплавы без покрытия при фрезеровании
ISO	СМС код	Характеристика	Марка	НВ	
P	03.21	Закаленная инструментальная		350	PТ40 (P35 – P45) – сплав используется для чернового фрезерования по корке, обработки прерывистых поверхностей и других неблагоприятных условий. Допускает самые большие подачи на зуб при низких скоростях резания
	<i>Стальное литье</i>				
	06.1	Нелегированное	20П; 35Л; 55Л; У8Л	180	
	06.2	Низколегированное (< 5 %)	35ГЛ; 35ХГСЛ; 20Х5ГЛ	200	
	06.3	Высоколегированное (> 5 %)	5Х14НДЛ; 10Х13Л	225	
	06.33	Марганцовистая и броневая сталь	Г13; Г13П	250	
M	<i>Нержавеющая сталь</i>				PМ30 (M10 – M25) – износостойкий сплав для получистового и чернового фрезерования с умеренными подачами на зуб и при средних скоростях резания. PТ40 (M30 – M40) – высокопрочный сплав для чернового фрезерования нержавеющей сталей. Для чернового фрезерования по корке, обработки прерывистых поверхностей. Допускает самые большие подачи на зуб при низких скоростях резания
	05.11	Мартенситная / ферритная	12Х13; 20Х13; 40Х13; 15Х25Т	200	
	05.12	Теплостойкая / дисперсионно-твердая	11Х11Н2В2М Ф; Х5Н12К3М7Т	330	
	05.21	Аустенитная	12Х18Н10Т; 10Х14Г14Н4Т	180	
	05.22	Литье из аустенитных сталей	30Х24 Н12СЛ	300	

Продолжение табл.3.3

Марки твердых сплавов		Обрабатываемый материал			Сплавы без покрытия при фрезеровании
ISO	СМС код	Характеристика	Марка	НВ	
<i>Чугун</i>					
К	37.1	Ковкий ферритный	КЧ37 – 15; КЧ35 – 10	130	ТК10 (К05 – К15) – для чистового фрезерования чугуна при высоких скоростях и малых подачах. Основная область применения – зачистные пластины. Обладает высокой износостойкостью. Пригоден для обработки цветных металлов. ТК20 (К15 – К30) – универсальный сплав с высокой стойкостью к абразивному износу для фрезерования чугуна при средних и низких скоростях резания с большими подачами. Пригоден для обработки дерева и пластмасс
	37.2	Ковкий перлитный	КЧ55 – 4; КЧ50 – 5	230	
	38.1	Серый ферритный	СЧ10; СЧ15; СЧ18	180	
	38.2	Серый перлитный	СЧ20; СЧ25; СЧ35; СЧ40; СЧ45	280	
	39.1	Высокопрочный ферритный	ВЧ35; ВЧ40; ВЧ45	160	
	39.2	Высокопрочный перлитный	ВЧ50; ВЧ60; ВЧ80; ВЧ100	250	
<i>Алюминиевые сплавы</i>					
М	30.11	Деформируемые без термообработки	АМГ2; Д16; Д1; В95; АК4	60	ТК20 (N10 – N20) – основная марка твердого сплава для обработки алюминиевых сплавов, меди и медных сплавов. Обеспечивает острые режущие кромки. ТК25 (N15 – N25) – мелкозернистый сплав для обработки алюминиевых сплавов, обеспечивает очень острые режущие кромки
	30.12	Закаленные и состаренные	См. СМС 30.11	100	
	30.21	Литейные, без термообработки	АЛ3; АЛ22	75	
	30.22	Закаленные и состаренные	См. СМС 30.21	90	
	30.3	Алюминий технически чистый	АД0; АД1	60	
	30.41	Силумины Si = 13 – 15 %	АЛ2; АЛ4; АЛ9; АЛ34	130	

Продолжение табл.3.3

Марки твердых сплавов		Обрабатываемый материал			Сплавы без покрытия при фрезеровании	
ISO	СМС код	Характеристика	Марка	НВ		
М	<i>Медь и сплавы на ее основе</i>					
	33.1	Латунь	ЛС63-1; ЛС59-1; ЛК80-3; ЛАНКМц75	110		
	33.2	Бронзы и латуни	Л96; Л80; Л63; Л070-1; ЛАН59-3-3	90		
	33.3	Чистая медь	М00к, М16	500		
S	<i>Титановые сплавы</i>					
	23.12	Титан технически чистый	BT1-00; BT1-0	400	TK20 (S15 – S25) – марка сплава с хорошей прочностью и стойкостью к абразивному износу. Для обработки на средних скоростях резания и подачах. TK25 (S25 – S35) – мелкозернистый сплав с хорошей сопротивляемостью образованию проточин и стойкостью к термическим ударам. Рекомендуется для фрезерования материалов, применяемых в аэрокосмической промышленности, в том числе титановых сплавов	
	23.21	$\alpha$ -титановые сплавы	BT5; BT5-1; OT4	900		
	23.22	$\alpha + \beta$ -титановые сплавы	BT6; BT20; BT14	1050		
	<i>Жаропрочные сплавы</i>					
	20.12	На основе железа	ХН32Т; ХН35ВТЮ; 36НХТЮ	280		
	20.24	На основе никеля, литейные	ХН67ВМТЮЛ; ХН70МВТЮ	320		
	20.33	На основе кобальта, литейные	ХН55ВТФКЮ; ХН62МВКЮ; ХН56ВМКЮ	320		
	<i>Материалы высокой твердости</i>					
	Н	04.1	Заказная сталь	См. СМС 01.3 – 03.21		45 – 50

Окончание табл.3.3

Марки твердых сплавов		Обрабатываемый материал			Сплавы без покрытия при фрезеровании
ISO	СМС код	Характеристика	Марка	НВ	
Н	04.1	Заказная сталь	См. СМС 01.3 – 03.21	45 – 50	ТК20 (Н10 – Н20) – сплав для обработки закаленных сталей и отбеленного чугуна на средних скоростях резания и в неблагоприятных условиях

Таблица 3.4

Минералокерамические материалы

Марка	Характеристика	Область применения
ВОК-60	Смешанная оксидно-карбидная керамика $Al_2O_3 + TiC$	Получистовое торцевое фрезерование
ВОК-71	–	Чистовое, получистовое и предварительное фрезерование нетермообработанных и закаленных сталей и чугунов
ВОК-95	Двухслойные пластины	
ОНТ-20 (кортинит)	Смешанная оксидно-нитридная керамика $Al_2O_3 + TiN$	Получистовое и предварительное фрезерование чугунов, в том числе по корке
Силинит-Р	Смешанная керамика на основе нитрида кремния $Si_3N_4$	

В табл. 3.5 приведены области применения сверхтвердых материалов, а физико-механические свойства отдельных марок – в табл. 3.6.

Таблица 3.5

Сверхтвердые материалы

Марка	Область применения
Композиты 01 и 02	Тонкое и чистовое точение без ударных нагрузок, торцевое фрезерование деталей из закаленных сталей твердостью (HRC 47 – 65), чугунов любой твердости, твердых сплавов группы ВК
Композиты 05 и 06	Чистовое и получистовое точение без ударных нагрузок закаленных сталей (HRC 45 – 62) и чугунов любой твердости, торцевое фрезерование чугунов

Окончание табл. 3.5

Марка	Область применения
Композиты 10 и 10Д	Тонкое, чистовое и получистовое точение с ударом и без удара, торцевое фрезерование закаленных сталей и чугунов любой твердости, твердых сплавов группы ВК
Киборит	Точение жаропрочных сплавов на никелевой основе
Томал-10	Получистовое и предварительное точение и фрезерование деталей из чугунов, в том числе по корке, а также обработка некоторых марок жаропрочных сплавов на никелевой основе
Карбонадо (АСПК)	Чистовое, получистовое и предварительное точение и фрезерование алюминиевых и цветных металлов и сплавов, твердых сплавов, композиционных неметаллических и древесно-стружечных материалов

Таблица 3.6

Физико-механические свойства минералокерамических  
и сверхтвердых инструментальных материалов

Марка материала	$\sigma_u$ , МПа	$\sigma_{сж}$ , МПа	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	HRA или НУ	Теплостой- кость, °С
В013*	400	–	4,50 – 4,70	HRA93	1100
ОНТ-20**	650 – 750	2000 – 2500	4,20	HRA93	1200
Силинит-Р***	650 – 750	2500	3,80 – 4	HRA 94 – 96	1200
Композиты****					
01 и 02	400 – 500	3000	4	HV = 75 000 – 80 000 МПа	1100 – 1300
05 и 06	450 – 500	3500	–	HV = 60 000 – 70 000 МПа	–
09	700 – 1000	5000	4,20	HV = 70 000 – 80 000 МПа	1100
10	700 – 1000	4500	4,50	HV = 60 000 – 65 000 МПа	1100

\* – Условия по ГОСТ 26630 – 85.

\*\* – Условия по ТУ 06-339 – 78.

\*\*\* – Условия по ТУ 2-036-087 – 82.

\*\*\*\* – Сверхтвердые материалы по ТУ 2-035-982 – 85.

Выбор инструментальных материалов для оснащения фрез для различных видов обработки можно осуществлять согласно табл. 3.7 – 3.8.

Таблица 3.7

Рекомендации по выбору инструментальных материалов  
для оснащения фрез. Твердые сплавы

Сплавы	Вид фрезерования		
	Получистовое	Чистовое	Черновое
<i>Стали</i>			
Высокомарганцовистые	ВК6-М ВК10-ОМ	ВК10-ОМ; ВК10-ХОМ; ВК8	
Коррозионно-стойкие и мартенситного класса	ВК6-М ВК10-ОМ	ВК10-ОМ; ВК10-ХОМ; ВК8	
Коррозионно-стойкие, кислото-стойкие, жаростойкие аустенитного и аустенитно-мартенситного классов	ВК6-М ВК10-ХОМ	ВК8; ВК10-ХОМ; ВК10-ОМ	
Закаленные HRC <sub>3</sub> > 50	Т30К4	—	
Углеродистые качественные конструкционные	КНТ16; Т15К6; ТТ21К9; ТТ20К9	Т14К8; Т5К10; Т4К8	
Хромоникелевые, хромомарганцевые, хромоникелемолибденовые, шарикоподшипниковые	КНТ16; ТВ4; Т14К8; ТТ20К9; ТТ21К9	Т5К10; ТТ7К12	
Инструментальные легированные, быстрорежущие, хромоникелевольфрамовые	ТВ4; Т5К10	Т5К10; ТТ7К12	
<i>Сплавы</i>			
Жаростойкие деформируемые на железо-никелевой и никелевой основах	ВК6-М; ВК-6; ВК10-ХОМ; ВК10-ОМ	ВК6 ВК8	
Окалиностойкие и жаропрочные литейные на никелевой основе	ВК6-М; ВК6; ВК10-ХОМ	ВК6; ВК8 ВК10-ОМ	
На титановой основе	ВК6; ТТ8К6; ВКЮ-ХОМ	ВК8; ВК10-ОМ; ВК10-ХОМ	
На алюминиевой основе (медь, латунь и др.)	ВК6-М; ВК6; ТТ8К6	ВК6 ВК8	
Тугоплавкие на основе вольфрама, молибдена, ниобия	ВК6-М; ВК10-ХОМ	—	
<i>Чугуны</i>			
Серые чугуны (HВ < 240) типа СЧ25, СЧ30, СЧ40	ТТ8К6; Т8К7; ВК6	ВК6; Т8К7	ВК8 ВК6ВС
Чугуны ковкие, отбеленные (HВ = 400 – 700) типа ВЧ45, КЧ35, КЧ45	ВК10-ОМ; ВК10-ХОМ	ВК8; ВК10-ОМ; ВК10-ХОМ	ВК8

Таблица 3.8

## Рекомендуемые марки композита для оснащения фрез

Обрабатываемый материал	Вид обработки	Марка композита
Сталь углеродистая и легированная в состоянии поставки твердостью $\leq 35$ HRC	Тонкая Чистовая, получистовая Черновая	01; 10; 10Д 10Д; 01; 12 10; 10Д; 12
Сталь закаленная твердостью 35 – 55 HRC	Тонкая Чистовая, получистовая Черновая	01; 10; 10Д 10; 10Д; 01 10; 10Д; 01; 02
Сталь закаленная твердостью 55 – 70 HRC	Тонкая Чистовая, получистовая Черновая	01; 10; 10Д 10; 10Д; 01; 12 10; 10Д; 12
Чугун серый и высокопрочный твердостью 150 – 350 HB	Тонкая Чистовая, получистовая	01; 05; 10; 10Д 05; 10; 10Д; 01
Чугун отбеленный и закаленный твердостью 400 – 800 HB	Тонкая Чистовая, получистовая Черновая	01; 05; 10; 10Д 01; 05; 10; 10Д; 12 05; 10; 10Д; 12
Твердый сплав с массовым содержанием кобальта не менее 15 % твердостью 80 – 88 HRA	Тонкая Получистовая	10; 10Д; 01; 12 01; 10Д
Труднообрабатываемые материалы	Чистовая, получистовая	01; киборит
Совместная обработка закаленной стали и твердого сплава	Чистовая, получистовая	01; 10; 10Д; 12 01; 10; 10Д
Совместная обработка серого (высокопрочного) чугуна и закаленной стали твердостью $\leq 55$ HRC	Чистовая, получистовая	10; 10Д; 01; 12 01; 10; 10Д
Неметаллические материалы (стеклопластики, пластмассы)	–	05; 09; 10
Древесностружечные плиты	–	01
Спеченные порошковые материалы (железо- и бронзографитовые и др.)	–	01; 10; 10Д; 12

## Глава 4

### ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА

#### 4.1. Главный задний угол $\alpha$

Геометрические параметры режущей части фрез оказывают существенное влияние на условия процесса резания. Правильное назначение их величин связано с повышением стойкости фрезы, а также с уменьшением шероховатости обработанной поверхности. Назначение оптимальных значений углов резания является серьезным резервом для повышения производительности труда при работе на фрезерных станках.

*Главный задний угол  $\alpha$*  представляет собой угол в секущей плоскости между задней поверхностью лезвия зуба фрезы и касательной траектории движения точки лезвия, принимаемой за окружность. В действительности траекторией движения точки на лезвии фрезы является удлиненная циклоида.

Этот угол измеряется в плоскости траектории движения точки лезвия, расположенной перпендикулярно к оси фрезы.

Задний угол является весьма важным фактором конструкции режущего инструмента как выполненного из быстрорежущей стали, так и оснащенного пластинками твердого сплава и минералокерамики.

Назначение главного заднего угла  $\alpha$ :

- 1) обеспечить свободное перемещение задней поверхности по отношению к обрабатываемой;
- 2) уменьшить работу трения – износа по задней поверхности;
- 3) уменьшить радиус округления режущей кромки для обеспечения врезания зуба фрезы с минимальным углом скольжения;
- 4) снизить вибрации, возникающие вследствие автоколебаний технологической системы «станок – инструмент – деталь».

Чрезмерное увеличение заднего угла приводит к снижению прочности режущей кромки. Оптимальная величина заднего угла за-

висит главным образом от толщины срезаемого слоя  $\alpha_{\max}$  и определяется по следующей формуле:

$$\sin \alpha_{opt} \approx \sqrt[3]{\text{const} / \alpha_{\max}^{0,3}}$$

При фрезеровании сталей, чугунов и легких сплавов фрезами, выполненными из быстрорежущей стали или оснащенными пластинками твердого сплава,  $\text{const} = 0,13$ , при фрезеровании пластмасс  $\text{const} = 0,16$ .

В табл. 4.1 приводятся значения рекомендуемых задних углов фрез, когда не предъявляются высокие требования к обрабатываемой поверхности.

В случаях же необходимости получения путем фрезерования точности в пределах 9-го качества и шероховатости  $R_a = 2,5$  мкм величина заднего угла фрез должна быть в пределах  $5 - 8^\circ$ , поскольку увеличенное значение заднего угла связано с повышением радиального износа, определяющего точность обработки за один рабочий ход.

При изготовлении фрезы и ее заточке необходимо знать величину угла  $\alpha_n$ , измеренного в плоскости, перпендикулярной к главной режущей кромке. Его величина определяется путем расчета по следующим формулам:

а) для торцевых фрез с угловой кромкой и угловых фрез

$$\text{tg } \alpha_n = \text{tg } \alpha \sin \varphi / \cos \lambda,$$

где  $\alpha$  – задний угол;  $\varphi$  – угол в плане;  $\lambda$  – угол наклона режущей кромки; эти углы определяются непосредственным измерением;

б) для цилиндрических, дисковых и концевых фрез

$$\text{tg } \alpha_n = \text{tg } \alpha \cos \omega,$$

где  $\cos \omega$  – угол наклона винтовых зубьев фрезы;

в) для фасонных затылованных фрез

$$\text{tg } \alpha_n = \text{tg } \alpha \sin \varepsilon R/r,$$

где  $\alpha_n$  – угол контура фрезы, измеряемый между касательной к профилю фрезы в рассматриваемой точке и линией, перпендикулярной вектору скорости резания;  $R$  – радиус фрезы, мм;  $r$  – радиус рассматриваемой точки профиля фрезы, мм.

Таблица 4.1

Рекомендуемые значения задних углов фрез\*

Тип фрез	Характеристика	Задний угол	
		$\alpha$	$\alpha_1$
Цилиндрические	Мелкозубые ( $z > 1,75 \sqrt{D}$ )	16	–
	Крупнозубые и со вставными зубьями ( $z < 1,75 \sqrt{D}$ )	12	–
Торцевые насадные	Мелкозубые	16	8
	Крупнозубые и со вставными зубьями	12	8
Дисковые трехсторонние и двухсторонние	Мелкозубые с наклонными зубьями	16	6
	Крупнозубые и со вставными зубьями	12	6
Дисковые пазовые	С прямыми мелкими зубьями	20	–
Шлицевые	–	30	–
Фрезы-пилы	$D = 75 - 200$	20	–
Пилы Геллера	Свыше $25D$	16	–
Т-образные пазовые для станочных работ	До $25D$	25	6
	Свыше $25D$	20	6
Т-образные пазовые шлицевые	До $25D$	25	–
	Свыше $25D$	20	–
Одноугловые и двухугловые	–	16	8
Концевые и угловые цилиндрические или с коническим хвостом	До $10D$	25	8
	Свыше 10 до $20D$ ;	20	8
	Свыше $20D$	15	8
Шпоночные	$D = 3 - 16$ мм;	20	8
	$D = 18 - 40$ мм	15	8
Обдирочные с разделением стружки	$D = 40 - 90$ мм	12	8
Фасонные	Остроконечные	16	–
	Затылованные	12	–

\* При наличии торцевой кромки.

**Примечания.** 1. У затылованных фасонных фрез задний угол  $\alpha$  должен быть соответственно увеличен, если это необходимо для обеспечения угла  $\alpha$  по всему профилю не менее  $3^\circ$ .

2. Шлицевые, пазовые и Т-образные фрезы должны быть заточены наостро без оставления ленточки.

3. При заточке всех остальных фрез можно оставлять ленточку, ширина которой для фрез диаметром до 30 мм должна быть не более 0,05 мм и для фрез диаметром свыше 30 мм не более 0,1 мм.

## 4.2. Задний угол $\alpha_1$ на вспомогательной режущей кромке

*Задним углом  $\alpha_1$  на вспомогательной (торцевой) кромке* называется угол между касательной к задней (торцевой) поверхности и вектором скорости резания, проходящим через рассматриваемую точку на торцевой кромке, в плоскости, ей перпендикулярной.

Задний угол на вспомогательной режущей кромке служит для уменьшения работы трения на торцевой задней поверхности (при нормальных условиях фрезерования износ по торцевой задней поверхности отсутствует или при тяжелом режиме резания весьма невелик) и особенно у ее вершины, непосредственно участвующей в работе резания и формирующей профиль обработанной поверхности.

Чрезмерно большое значение угла  $\alpha_1$  приводит к снижению прочности вершины зуба, что может привести к его поломке или выкрашиванию лезвий в месте стыка режущих кромок. Ввиду этого величина угла принимается равной  $4 - 8^\circ$ . Для концевых фрез величина угла  $\alpha_1$  связана со значением вспомогательного угла в плане  $\varphi_1$ .

Как известно, концевые фрезы могут выполняться как с торцевыми зубьями, так и без торцевых. При наличии торцевых зубьев и, следовательно, угла  $\alpha_1$  величина  $\varphi_1 = 1^\circ 30'$ ; при отсутствии торцевых зубьев и, следовательно, угла  $\alpha_1$  вспомогательный угол в плане увеличивается до  $8^\circ$ , что в известной мере может компенсировать отсутствие заднего угла  $\alpha_1$ .

Таким образом, при малом значении угла  $\varphi_1$ , что делается с целью уменьшения шероховатости обрабатываемой поверхности, значение угла  $\alpha_1$  должно быть увеличено ( $\alpha_1 = 6 - 10^\circ$ ).

## 4.3. Передний угол $\gamma$

Передний угол  $\gamma$  измеряется в плоскости схода стружки. Условно принимается, что плоскость схода стружки расположена по нормали к режущей кромке, хотя на самом деле она отклоняется от этого положения на величину угла наклона режущей кромки  $\lambda$ .

*Передним углом  $\gamma$  осевых (цилиндрических, дисковых, фасонных, концевых) фрез* называется угол между касательной к следу передней поверхности и следом осевой плоскости, проходящих через рассматриваемую точку на режущей кромке.

Передний угол  $\gamma$  на угловой кромке определяется в плоскости, перпендикулярной к проекции главной режущей кромки на осевую плоскость путем расчета по формулам:

а) для цилиндрических, дисковых с наклонными зубьями и концевых фрез

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \gamma \cos \omega;$$

б) для торцевых и других типов фрез, выполненных с угловыми кромками:

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \gamma_2 \cos \varphi + \operatorname{tg} \gamma_1 \sin \varphi,$$

где  $\varphi$  – угол наклона винтовых или наклонных зубьев, град;  $\gamma_1$  – поперечный передний угол, измеряемый в плоскости, перпендикулярной к оси фрезы, угол между касательной к следу передней поверхности и направлением радиуса рассматриваемой точки на лезвии фрезы;  $\gamma$  – продольный передний угол, измеряемый в продольной плоскости, проходящей через данную точку лезвия, угол между касательной к следу передней поверхности и следом осевой плоскости.

Передний угол может иметь как положительное, так и отрицательное значение (рис. 4.1).

Передний угол  $\gamma$  служит:

- для уменьшения работы, затрачиваемой на пластическое деформирование при образовании элемента стружки;
- снижения работы трения по передней поверхности;
- придания необходимой прочности режущей кромке, оснащенной пластинками твердого сплава или минералокерамики.

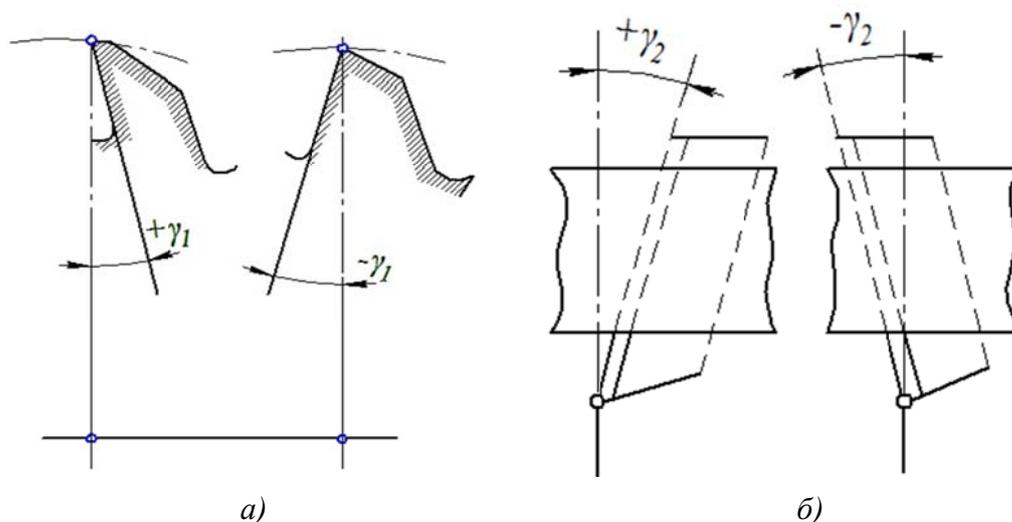


Рис. 4.1. Передние углы зубьев фрезы:  
а – поперечные; б – продольные

В зависимости от преобладающего влияния одного из факторов строится и расчет оптимального переднего угла фрез и других режущих инструментов.

### **1. Расчет оптимального переднего угла для фрез из быстрорежущей стали при обработке пластичных металлов.**

$$\gamma_{\text{опт}} = 42 \dots 55 / \xi,$$

где  $\xi$  – усадка стружки;

$$\xi = 1 / (0,83 - 0,008\Delta),$$

где  $\Delta$  – поперечное сужение образца диаметром 10 мм из обрабатываемого металла.

### **2. Расчет оптимального переднего угла для фрез, оснащенных твердым сплавом, при обработке пластичных металлов.**

При работе режущими инструментами с положительным передним углом режущая кромка испытывает изгибающее напряжение. Причем, как известно, прочность быстрорежущей стали допускает изгибающее напряжение порядка 320 кг/мм<sup>2</sup>, в то время как допускаемое напряжение изгибу твердых сплавов марок Т15К6 и ВК8 только 116 – 140 кг/мм<sup>2</sup>. В то же время твердый сплав хорошо сопротивляется напряжениям сжатия, которые допускаются до 450 кг/мм<sup>2</sup>. При обработке весьма прочных сталей, когда  $\sigma_b > 800$  МПа, изготавливают фрезы с отрицательным значением переднего угла, чтобы вместо изгибающих напряжений на режущей кромке имели место сжимающие напряжения, что приводит к упрочнению режущей кромки.

Главным фактором, влияющим на величину оптимального переднего угла фрез, оснащенных пластинками твердого сплава, является величина временного сопротивления разрыву обрабатываемого металла. Ввиду этого величина  $\gamma_{\text{опт}}$  для фрез с плоской передней поверхностью может быть определена по следующим формулам:

а) при обработке конструкционных сталей

$$\sigma_b = 550 \dots 800 \text{ МПа}; \gamma_{\text{опт}} \approx \frac{258 \cdot 10}{\sigma_b^8} \text{ град};$$

$$\sigma_b = 850 \dots 1200 \text{ МПа}; \gamma_{\text{опт}} \approx 5 \cdot 10^{15} \cdot \sigma_b^8 \text{ град};$$

б) при обработке высоколегированных сталей, обладающих особыми свойствами:

$$\sigma_b = 700 \dots 1100 \text{ МПа}; \gamma_{\text{опт}} \approx \frac{25 \cdot 10^{10}}{\sigma_b^8} \text{ град};$$

$$\sigma_b = 1100 \dots 1900 \text{ МПа}; \gamma_{\text{опт}} \approx 0,22 \cdot 10^{-10} \cdot \sigma_b^8 \text{ град}.$$

Коэффициент усадки стружки  $K_0 = 1 / \xi$  в зависимости от качества обрабатываемого материала приведен в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Коэффициент усадки стружки  $K_0 = 1/\xi$   
в зависимости от качества обрабатываемого материала

Марка стали	Состояние поверхности обработки	$K_0$	Марка стали	Состояние поверхности обработки	$K_0$
10	Прокат	0,3	X4H	Прокат	0,38
20	Прокат	0,26	OXH3M	Прокат-отжиг	0,35
35	Прокат	0,44	OXH3M	Улучшение	0,44
45	Прокат	0,5	OXM	Прокат-отжиг	0,49
45	Улучшение	0,44	OXM	Улучшение	0,42
20X	Прокат	0,37	XKM	Улучшение	0,59

При резании конструкционных сталей ( $\sigma_b < 800$  МПа) упрочнение лезвий вставных резцов торцевых и дисковых фрез достигается выполнением их со сдвоенной передней поверхностью (рис. 4.2).

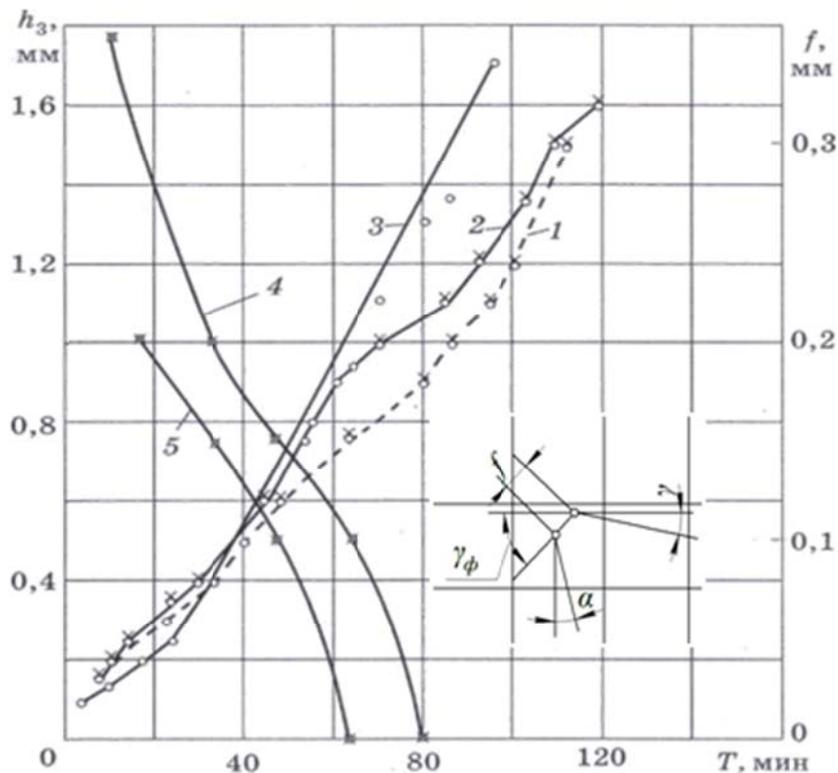


Рис. 4.2. Влияние величины отрицательной фаски на износ и стойкость торцевой фрезы: 1, 2, 3 – кривые износа зубьев фрез с шириной фаски 0,4; 0,2; 0,0 мм; 4, 5 – кривые уменьшения ширины фаски по мере ее износа (первоначальная ширина фасок 0,4 и 0,25 мм) (по М. Н. Ларину)

Для фрез с двойной передней поверхностью  $\gamma_{\text{опт}} = 15...20^\circ$ ; ширина фаски  $f < 2s_z$ ;  $\gamma_\phi = -10...-15^\circ$ . При чистовом фрезеровании конструкционных сталей ( $\sigma_B < 800$  МПа) следует в целях уменьшения шероховатости обработки конструировать переднюю грань фрез, оснащенных пластинками твердого сплава, с отрицательным значением переднего угла  $\gamma = -5^\circ$  при угле наклона режущей кромки  $\lambda = +10^\circ$ .

При обработке легких сплавов и цветных металлов в зоне скоростей резания свыше 1000 м/мин величина переднего угла  $\gamma$  должна быть в пределах от  $5$  до  $10^\circ$  при угле наклона режущей кромки  $\lambda = 5^\circ$ .

При обработке сталей с пределом прочности  $\sigma_B < 800$  МПа по окалине (послековки или штамповки), а также по корке литой стали с целью упрочнения режущей кромки передний угол  $\gamma = -5^\circ$  при угле наклона режущей кромки  $\lambda$  от  $10$  до  $15^\circ$ .

Кривые 4 и 5 (см. рис. 4.2) показывают уменьшение ширины фаски по мере ее износа при начальной ширине фаски соответственно 0,4 и 0,25 мм.

1. Расчет оптимального переднего угла для фрез, оснащенных твердым сплавом, при обработке чугуновых заготовок.

При обработке резанием чугуновых заготовок основная работа резания затрачивается на работу трением по передней и задней поверхностям, что в первую очередь зависит от качественной характеристики обрабатываемых чугуновых заготовок, определяемых твердостью по Бринелю.

Оптимальная величина переднего угла при резании чугуновых заготовок может быть определена по следующей формуле:

$$\gamma_{\text{опт}} \approx 17,2...0,066 \text{ НВ.}$$

Из этой формулы следует, что чугуновые заготовки твердостью НВ  $< 250$  должны обрабатываться фрезами, выполненными с положительным значением переднего угла.

При фрезеровании специального чугуна, закаленного на твердость HRC = 60 ... 62, величина  $\gamma_{\text{опт}} = -5^\circ$ .

2. Расчет оптимального переднего угла для фрез из быстрорежущей стали при обработке пластмасс.

При резании гетинакса и текстолита  $\gamma_{\text{опт}} = 8^\circ$ . В табл. 4.3 приведены рекомендуемые значения передних углов для фрез.

Таблица 4.3

## Рекомендуемые значения передних углов фрез

Тип фрез	Характеристика обрабатываемого материала		Значение углов $\gamma_{отп}$ , град
	$\sigma_B$ , МПа	Примеры марок стали	
<i>Фрезы из быстрорежущей стали</i>			
Цилиндрические, торцевые, дисковые, двух-и трехсторонние, концевые пилы типа Геллера, обдирочные (с разделением стружки)	До 600	10, 15, 20, 25, 30, 35,	20
	Свыше 600	20Х, 20ХН и др.;	
	До 1000;	40, 45, 50, 40Х и др.;	15
	Свыше 1000	ХКМ, некоторые специальные стали в закаленном состоянии	10
	Чугун серый и ковкий, НВ свыше 150 До 150		10 15
Шлицевые, пилы круглые, Т-образные, дисковые и пазовые	Для сталей и чугунов при ширине фрезы $B$ :		
	до 3 мм; Свыше 3 мм		5 10
Фасонные, затылованные, незатылованные и угловые	Для стали и чугунов		10
<i>Фрезы, оснащенные твердым сплавом</i>			
—	До 650	Сталь конструкционная	+ 15
	650 – 800		+5
	850 – 950		-5
	1000 – 1200		-10
	Чугун НВ:		
	до 200		+5
	200 – 250		0
	свыше 250		-5

**Примечания.** 1. У фрез с углом наклона винтового зуба ( $\omega > 30^\circ$  передний угол для обработки стали с  $\sigma_B < 600$  МПа берется равным  $15^\circ$ .

2. Контур фасонных фрез с передним углом  $\gamma > 10^\circ$  при обработке точных профилей необходимо корригировать.

3. Величина переднего угла  $\gamma$  для фасонных фрез, изготовленных из корригированного их контура, назначается с учетом допускаемых отклонений профиля изделия.

4. Временное сопротивление разрыва  $\sigma_b$  лишь ориентировочно характеризует качество обрабатываемой стали для назначения оптимального переднего угла.
5. Для алюминиевых сплавов величина переднего угла  $\gamma = 25^\circ$ .
6. При резании пластмасс (текстолит и гетинакс)  $\gamma = 8^\circ$ .

***Влияние величины переднего угла зубьев фрез на качество обрабатываемой поверхности.*** При резании фрезами, выполненными с отрицательным значением переднего угла ( $\gamma$  до  $-10^\circ$ ), качество поверхности улучшается. Однако при фрезеровании легированных сталей при скорости резания свыше 170 м/мин величина переднего угла в пределах от  $+5$  до  $-20^\circ$  практически не влияет на шероховатость обработанной поверхности.

То же имеет место при фрезеровании заготовок из легких сплавов (силумина, латуни). В этом случае при фрезеровании со скоростью резания  $v = 929 \dots 1887$  м/мин изменение переднего угла в пределах от  $-12$  до  $+30^\circ$  не оказывает заметного влияния на чистоту обрабатываемой поверхности. Опыты М. Н. Ларина показали, что при фрезеровании легких сплавов наивыгоднейшая величина переднего угла по чистоте обработанной поверхности зависит от скорости резания. Так, при скорости резания  $v = 576$  м/мин наилучшая чистота поверхности наблюдалась при переднем угле  $\gamma = +12^\circ$ , а при  $v = 92 \dots 236$  м/мин – при  $\gamma = +30^\circ$ .

#### **4.4. Главный угол в плане $\phi$**

Главным углом в плане  $\phi$  называется угол между главной режущей кромкой и рабочей плоскостью.

Главный угол в плане  $\phi$  является важным фактором повышения стойкости и производительности торцевых и дисковых двусторонних фрез с угловой режущей кромкой. Основная его функция – изменение толщины и ширины срезаемого слоя при постоянных глубине срезаемого слоя и подаче. Изменение толщины срезаемого слоя связано с изменением условного напряжения и его концентрации у режущей кромки, а также с распределением опорного давления на контактных поверхностях. Изменение ширины среза влияет на интенсивность теплоотвода от режущей кромки. Кроме того, главный угол в плане влияет на соотношение составляющих сил резания.

Таким образом, путем изменения главного угла в плане создается определенная возможность управлять процессом резания с целью создания благоприятных физико-технических свойств как в срезаемом слое, так и у режущей кромки фрезы.

С уменьшением главного угла в плане толщина срезаемого слоя уменьшается, что резко сказывается на увеличении стойкости фрезы. По мере повышения подачи интенсивность влияния угла в плане на стойкость фрезы увеличивается. Фрезы, выполненные с углом в плане  $\varphi \leq 20^\circ$ , отличаются длинной режущей кромкой и высокой подачей.

Влияние угла в плане  $\varphi$  на возможность увеличения скорости резания или подачи показано в табл. 4.4. Из данных табл. 4.4 следует, что если конструировать фрезы с углом в плане  $30^\circ$  вместо  $60^\circ$ , что делается обычно, то стойкость увеличится в 1,9 раза, а подача в 1,72 раза. Необходимо отметить, что практическому применению торцово-конических фрез мешает значительное возрастание радиальных и осевых сил (по мере уменьшения угла в плане  $\varphi$ ), что приводит к отжигам заготовки от положения фрезы. При работе фрезами с углами в плане  $\varphi = 10^\circ$  отжимы достигают величины 0,2 – 0,4 м/мин. Следовательно, минимально допустимый угол в плане фрезы, обеспечивающий высокопроизводительное фрезерование, зависит от жесткости и виброустойчивости системы станок – инструмент – деталь.

Таблица 4.4

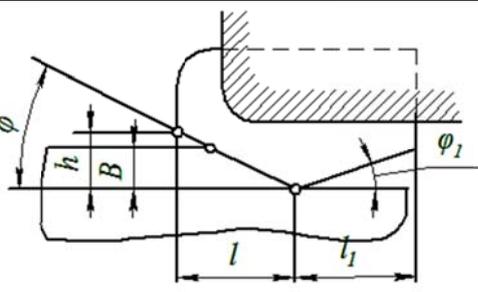
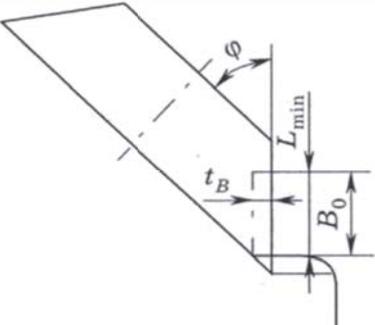
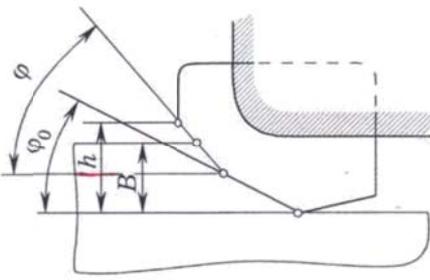
Влияние главного угла в плане  $\varphi$  на увеличение скорости резания, стойкости, скорости подачи, на проекцию длины угловой кромки и на величину диаметра торцово-конической фрезы

Угол в плане $\varphi$	$90^\circ$	$60^\circ$	$45^\circ$	$30^\circ$	$20^\circ$	$10^\circ$
При фрезеровании сталей (по М. Н. Ларину)						
$K_v$	0,89	1,0	1,05	1,18	1,25	1,5
$K_T$	0,65	1,0	1,25	1,9	2,8	6,5
$Ks_z$	0,9	1,0	1,22	1,72	2,5	5,1
1 при $b = 2$ мм	0,64	1,26	2,2	3,8	5,5	10,3
1 при $b = 4$ мм	1,3	2,52	4,4	7,6	11,0	20,6
1 при $b = 8$ мм	2,56	5,04	8,8	15,2	22	41,2
$D_{\min} b = 4$ мм	150	150	150	150	150	200
$D_{\min} b = 8$ мм	150	150	150	150	200	250
При фрезеровании чугунов (по Г. М. Рывкину)						
$K_v$	0,85	1	1,14	1,38	1,8	2,25
$Ks_z$	0,7	1	1,25	1,75	2,6	5,15

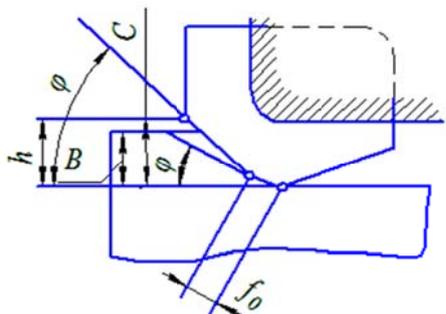
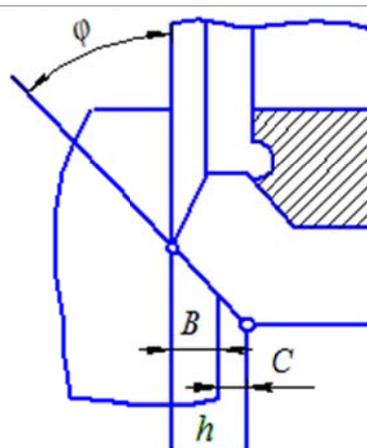
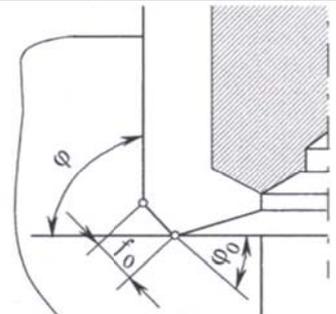
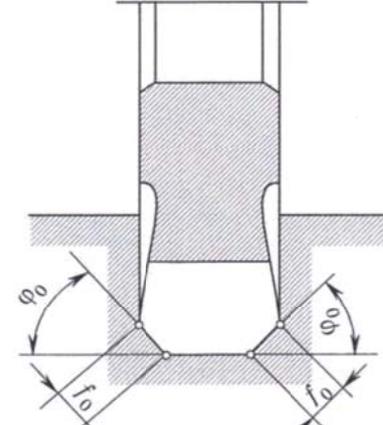
В табл. 4.5 приводятся данные по правильному назначению угла в плане для торцевых, дисковых и конических фрез, а также эскизы обработки и область применения данных фрез.

Таблица 4.5

Назначение угла в плане  $\varphi$  (по М.Н. Ларину)

$\varphi^\circ$	$\varphi_0^\circ$	Эскиз обработки	Область применения
20	—		Торцово-конические фрезы $D \geq 150$ мм в крупносерийном и массовом производствах при обработке жестких деталей «на проход» на продольно-фрезерных станках и припуске не более 3 мм
20	—		Конические фрезы $D \geq 150$ мм при обработке жестких деталей «на проход» на продольно-фрезерных станках и припуске не более 3 мм, при повышенных требованиях к качеству обработки
20 45 – 60	30		Торцово-конические фрезы с двойным углом в плане $\varphi$ . Применяются при тех же условиях обработки, но при повышенной величине припуска от 3 до 6 мм
20 – 30	—		Торцово-конические фрезы со стружколомательными канавками. При величине припуска от 6 до 10 мм

Продолжение табл.4.5

$\varphi^\circ$	$\varphi_0^\circ$	Эскиз обработки	Область применения
30 – 45	–		Торцевые и дисковые двухсторонние фрезы в крупносерийном и массовом производствах при величине припуска: торцевые фрезы до 6 мм; дисковые фрезы до 3 мм
60	30		Торцевые и дисковые двухсторонние фрезы в мелкосерийном и единичном производствах при величине припуска до 6 мм
90	45		Торцевые, дисковые двухсторонние и концевые фрезы при обработке взаимно перпендикулярных поверхностей
90	45		Дисковые трехсторонние фрезы с прямыми и особенно разнонаправленными зубьями $f_0 = 0,5 - 1,5$

**Угол в плане переходной кромки  $\varphi_0$**  – это угол между направлением подачи и проекцией переходной режущей кромки на основную плоскость. Угол в плане переходной кромки  $\varphi_0$  служит для упрочнения режущей кромки у ее вершины и для создания благоприятных условий резания, поскольку с уменьшением угла уменьшается толщина среза.

Переходная кромка может быть выполнена криволинейной радиусом  $r_0$  или прямолинейной под углом  $\varphi_0$ . Криволинейная переходная кромка способствует образованию более чистой поверхности, однако труднее в изготовлении, поскольку при заточке необходимо выдержать размер как по радиусу, так и по заднему углу.

Прямолинейная переходная кромка более проста при ее выполнении. Рекомендации по выбору угла в плане переходной кромки  $\varphi_0$  изложены в табл. 4.5. Обычно величина угла в плане  $\varphi_0 = \varphi/2$ .

**Вспомогательным углом в плане  $\varphi_1$**  называется угол между вспомогательной режущей кромкой и рабочей плоскостью  $Ps$  (табл. 4.6, 4.7). Вспомогательный угол в плане  $\varphi_1$  служит для снижения трения по задней поверхности торцевого лезвия, а также для создания беспрепятственного перемещения торцевой кромки по отношению к обрабатываемой поверхности. Вспомогательная торцевая кромка имеет важное значение, поскольку она определяет собой точность и шероховатость обработанной поверхности.

Таблица 4.6

Назначение вспомогательного угла в плане  $\varphi_1$

Фрезы	Эскиз фрезы	Значение расчетных элементов
Торцевые насадные со вставными зубьями для черновой обработки		$\varphi_1 = 1 - 2^\circ$
Те же для чистовой обработки		$\varphi_1 = 0$ на длине $l_0$ ; $l_0 = (4 - 6)S_0$ ; $\varphi_1 = 2^\circ$
Торцевые с чистовыми зубьями для чистовой обработки		$\varphi_1 = 2^\circ$ $l_0 > S_0$ , но не менее 30 мм

Фрезы	Эскиз фрезы	Значение расчетных элементов
Те же для чистовой обработки стали		$\varphi_1 = 2^\circ$ ; $\varphi_1 = -(6 - 12)'$ ; $l_0 > S_0$ , но не менее 30 мм
Торцевые насадные цельные без торцевых зубьев		$\varphi_1 = 8 - 10^\circ$ для работы с подачами $S_z = 0,08$ мм
Те же с торцевыми зубьями		$\varphi_1 = 1 - 2^\circ$
Концевые: без торцевых зубьев; с торцевыми зубьями		а) $\varphi_1 = 1 - 2^\circ$ ; б) $\varphi_1 = 8 - 10^\circ$ ; для работы с подачами $S_z \leq 0,08$ мм
Дисковые трех- и двухсторонние		а) для грубых пазовых работ $\varphi_1 = 1 - 2^\circ$ ; б) для точных (мерных) и чистовых работ $\varphi_1 = 30'$ , $\varphi_1 = 2^\circ$ , $l_0 \leq 4 - 5S_0$
Дисковые пазовые		Для пазов с широкими допусками на обработку $\varphi_1 = 1^\circ 30'$ до $2^\circ$

Таблица 4.7

Рекомендуемые значения вспомогательного угла в плане  $\varphi_1$   
для нормальных фрез

Фрезы	$D$ , мм	$B$ , мм	$\Phi$ , град	Допуск, мин
Шлицевые	40	0,3 – 0,6	15'	+ 10
	40	0,8 – 1,0	30'	+ 10
	60	0,5 – 0,8	15'	+ 10
	60	1 – 2	30'	+ 10
	75	1 – 2	30'	+ 10
Шлицевые	75	2 – 3	60'	+15
	75	4 – 5	1°30'	+15
Фрезы-пилы	75	1 – 2	30'	+ 10
	75	2,5 – 3	60'	+ 15
	110	1,5 – 2	15'	+ 10
	110	2,5 – 3,5	30'	+ 10
	Св. 110	3 – 3,5	15'	+ 10
	До 200	4 – 5	30'	+ 15
Концевые и торцевые	–	–	1 – 2°	–
Шпоночные	–	–	4 – 6°	–
Дисковые двух- и трехсторонние	–	–	1 – 2°	–
Пилы с приклепан- ными сегментами			2 – 3°	
Пазовые и Т-образные	–	–	1°30' – 2°	–
Торцевые и концевые без торцевых зубьев	–	–	8 – 10°	–

**Примечание.** Для специальных шлицевых фрез и фрез-пил при работе с небольшими глубинами резания величина  $\varphi_1$  должна быть по возможности увеличена, но не свыше 2°30'.

#### 4.5. Угол наклона режущей кромки $\lambda$

Угол наклона режущей кромки  $\lambda$  (для торцевых и дисковых двухсторонних фрез) – это угол между главной кромкой и линией пересечения основной плоскости и плоскости, касательной поверхности резания. Угол  $\lambda$  подсчитывается по формуле зависимости от поперечного и продольного передних углов и угла в плане, определяемых непосредственным измерением:

$$\operatorname{tg} \lambda = \operatorname{tg} \gamma_2 \sin \varphi \pm \operatorname{tg} \gamma_2 \cos \varphi.$$

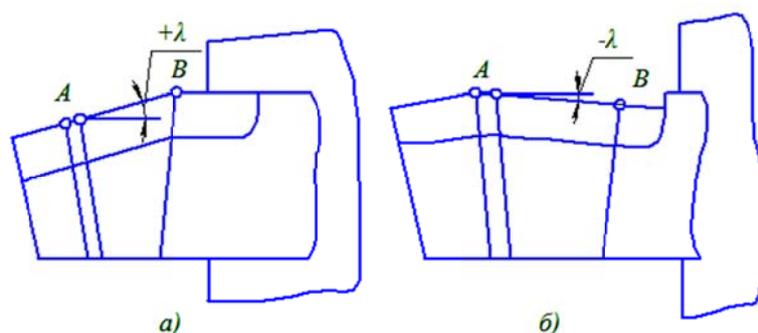


Рис. 4.3. Угол наклона режущей кромки зуба торцевой фрезы: а – положительный; б – отрицательный

Угол наклона режущей кромки  $\lambda$  может иметь как положительное, так и отрицательное значение (рис. 4.3). Положительный угол  $\lambda$  применяется главным образом для торцевых фрез, оснащенных пластинками твердого сплава, с целью упрочнения режущей кромки. Для цилиндрических, концевых и дисковых фрез угол  $\lambda$  соответствует углу наклона винтового и наклонного зубьев.

Угол наклона режущей кромки  $\lambda$  служит:

- для направления отвода стружки;
- упрочнения режущей кромки путем некоторого увеличения ее массы у вершины зуба фрезы;
- обеспечения равномерного фрезерования при работе фрезами с винтовыми зубьями.

Важнейшим назначением угла наклона режущей кромки является обеспечение желательного направления отвода стружки.

При обработке закрытого паза концевой фрезой с винтовыми зубьями стружку необходимо транспортировать вверх; поэтому такие фрезы должны выполняться с правым направлением винтового зуба при правом вращении фрезы (рис. 4.4, а).

При обработке концевой фрезой открытой плоскости винтовому зубу нужно дать такое направление, чтобы стружка транспортировалась вниз и осевая сила была направлена в сторону шпиндельной бабки как наиболее жесткой части станка. Такое положение имеет место при правом направлении винтового зуба и правом вращении фрезы (рис. 4.4, б).

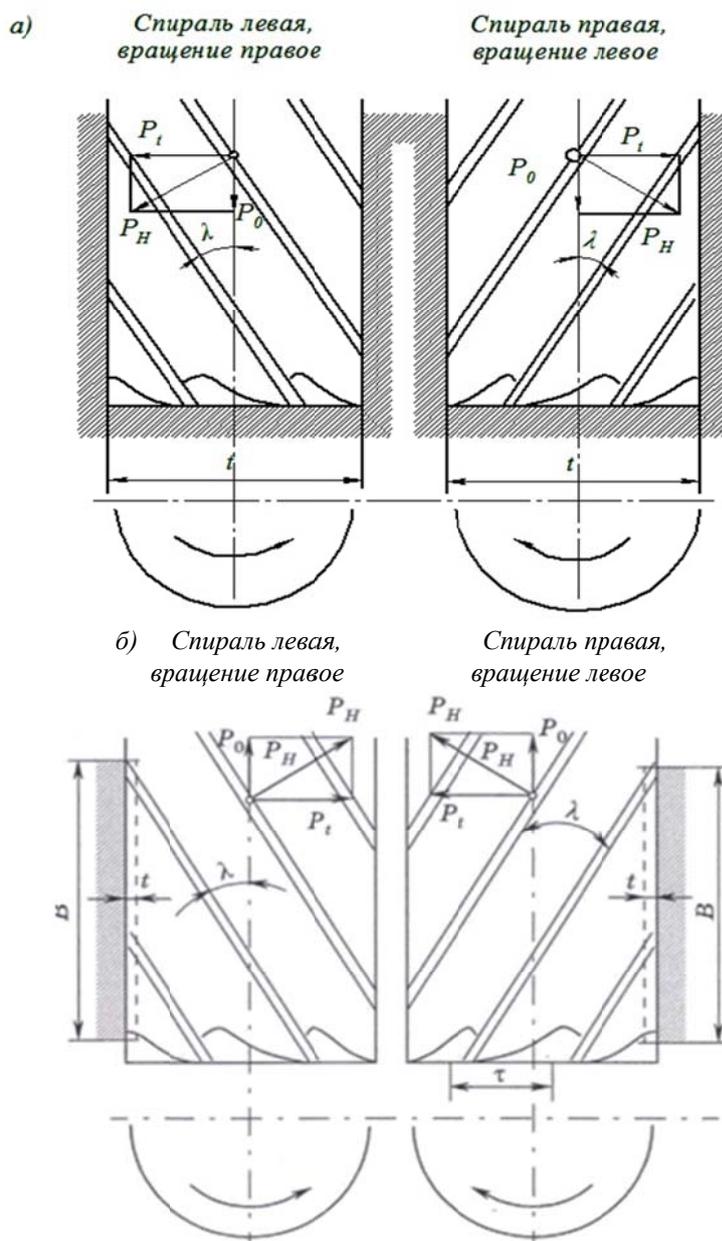


Рис. 4.4. Концевые фрезы с винтовыми зубьями, предназначенными для транспортирования стружки вверх (а) и вниз (б)

При использовании фрез с винтовыми зубьями угол наклона режущих кромок оказывает существенное влияние на равномерность процесса фрезерования.

Равномерным фрезерованием называется такое фрезерование, когда сила резания остается постоянной.

Условие равномерности фрезерования определяется следующей формулой [1]:

$$\lambda = \omega = \arctg br/(\pi Dz'),$$

где  $b$  – ширина фрезерования, мм;  $z'$  – число зубьев фрезы;  $D$  – диаметр фрезы, мм;  $r$  – число одновременно режущих полных зубьев.

Для достижения равномерности фрезерования  $r$  должно быть целым числом. Но так как при различной ширине заготовок это условие далеко не всегда может быть выполнено, то для практических целей можно рекомендовать значение

$$z' = 2...3.$$

В этом случае наибольшая неравномерность колебания силы резания не превышает 20 %, что вполне допустимо.

Для цилиндрических и концевых фрез, оснащенных твердым сплавом, повышение угла  $\lambda$  также приводит к увеличению их стойкости. Величина наклона винтовых зубьев должна быть такова, чтобы обеспечить равномерное фрезерование или же транспортирование стружек в новом направлении.

Рекомендуемые значения углов наклона винтовых и наклонных зубьев для нормальных фрез приведены в табл. 4.8.

Таблица 4.8

Рекомендуемые значения углов наклона винтовых и наклонных зубьев для нормальных фрез

Фрезы	$\lambda = \omega^\circ$
Цилиндрические крупнозубые	30 – 45°
Цилиндрические мелкозубые	20°
Цилиндрические сдвоенные	55°
Концевые	30 – 45°
Шпоночные	15°
Дисковые двухсторонние	15°
Дисковые трехсторонние	8 – 15°*
Дисковые трехсторонние сдвоенные	15°
Торцевые с цельными зубьями	10°
Торцевые со вставными зубьями из быстрорежущей стали	10°
Торцевые со вставными зубьями, оснащенные пластинками твердых сплавов	15°
Цилиндрические и концевые, оснащенные винтовыми пластинками твердых сплавов	45 – 60°

\* Для сборных дисковых трехсторонних фрез для  $b$  не менее 15 мм  $\lambda = 8 - 10^\circ$  и для  $b$  свыше 15 мм  $\lambda = 12 - 15^\circ$ .

## Глава 5

### КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ФРЕЗ

#### 5.1. Диаметр фрезы

Фрезерный инструмент с точки зрения определения конструктивных параметров следует отнести к группе инструментов, формирование которыми осуществляется режущими кромками, расположенными на производящей поверхности. Специализация зубьев на черновые и чистовые у фрезерного инструмента отсутствует. Режущие кромки сначала выполняют черновую обработку, а затем чистовую.

Основными параметрами, формирующими конструкцию фрезерного инструмента, являются диаметр фрезы, число и форма зубьев фрезы, параметры крепежной части, длина и ширина рабочей части.

**Диаметр фрезы** – важный параметр ее конструкции, оказывающий влияние как на процесс фрезерования, так и на выбор конструктивных элементов. С увеличением диаметра фрезы уменьшаются толщина среза и нагрузка на каждую режущую кромку, улучшается отвод тепла из-за большей поверхности соприкосновения с обрабатываемой деталью и др. Все это благоприятно отражается на стойкости фрезы, а следовательно, и на производительности.

Основное технологическое время обработки  $T_0$  определяется по формуле

$$T_0 = \frac{L}{v_s} i, \quad (5.1)$$

$$L = y + I + \Delta, \quad (5.2)$$

$$y = Jt(D-t),$$

$$v_s = S_z z n,$$

где  $L$  – путь резания, мм;  $i$  – число рабочих ходов;  $v_s$  – скорость подачи;  $y$  – величина врезания инструмента, мм;  $I$  – длина обрабатываемой поверхности, мм;  $\Delta$  – перебеги инструмента;  $t$  – глубина резания, мм;  $D$  – диаметр фрезы, мм;  $S_z$  – подача на один зуб, мм/зуб;  $z$  – число зубьев.

Из формулы (5.1) следует, что  $T_0$  возрастает с увеличением диаметра фрезы  $D$  (и связанной с ним величины  $y$ ), уменьшением пода-

чи на один зуб, числа зубьев, скорости резания. Выбор скорости резания зависит в основном от режущих свойств материала фрезы и при данном рассмотрении ее можно считать постоянной. С увеличением диаметра число зубьев может быть повышено, что позволяет при сохранении одной и той же подачи на зуб увеличить подачу на один оборот  $S_0 = S_z z$ .

С увеличением диаметра фрезы зубья могут быть выполнены более крупными, что позволяет при этом же числе зубьев увеличить подачу на один зуб и тем самым повысить подачу на один оборот. В обоих случаях подача  $S_0$  возрастает за счет повышения  $S_z$  или  $z$ . Необходимо отметить, что выбор пониженной подачи на один зуб  $S_z$  не может иметь место, тогда как ее повышение не исключается ни в том, ни в другом случаях. Следовательно, с увеличением диаметра  $D$  время обработки может быть уменьшено, т.е. производительность фрезы повышена. Также с увеличением диаметра осевых фрез длина дуги резания увеличивается, а величина срединной толщины среза стружки уменьшается (рис. 5.1, а).

При работе торцевыми фрезами с увеличением диаметра фрезы несколько уменьшается длина дуги резания и увеличивается средняя толщина среза (рис. 5.1, б).

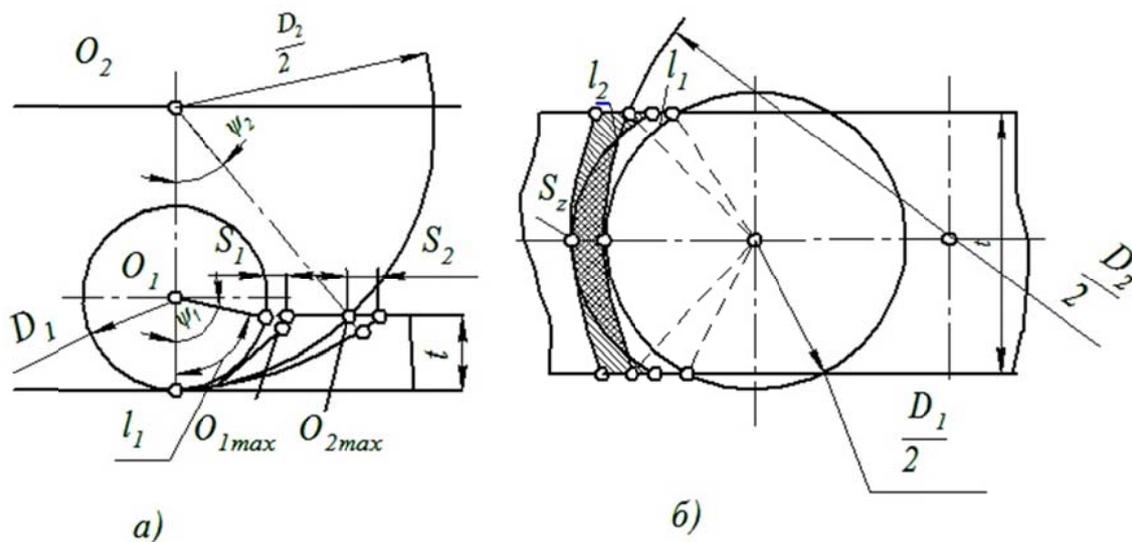


Рис. 5.1. Сечение срезаемого слоя при фрезеровании осевыми (а) и торцевыми (б) фрезами

Выбор рационального диаметра осевых фрез связан с величиной диаметра оправки. При этом если диаметр фрезы должен быть возможно малого размера, то диаметр оправки для увеличения жесткости крепления должен быть возможно большего размера.

Величина минимального диаметра осевых фрез зависит:

- от режима резания  $B, t, S_z$ ;
- расстояния между опорами оправки  $l$ ;
- максимально допустимого прогиба оправки  $y_{\max}$ .

Для цилиндрических фрез значение диаметра может быть получено по следующей формуле (по М. Н. Ларину) (рис. 5.2):

$$D_{\max} = 0,2 \cdot a^{0,26} t_{\max}^{0,09} S_{z\max}^{0,06} l^{0,78} y_{\max}^{-0,26}.$$

При расчете диаметра дисковых фрез необходимо учесть, что диаметр фрезы зависит еще от общей глубины ( $t$ , мм) обрабатываемого паза или уступа, толщины ( $s \approx 7,5$  мм) кольца на оправке для крепления фрезы и зазора ( $\Delta = 2,5$  мм) между оправкой и поверхностью заготовки (рис. 5.3).

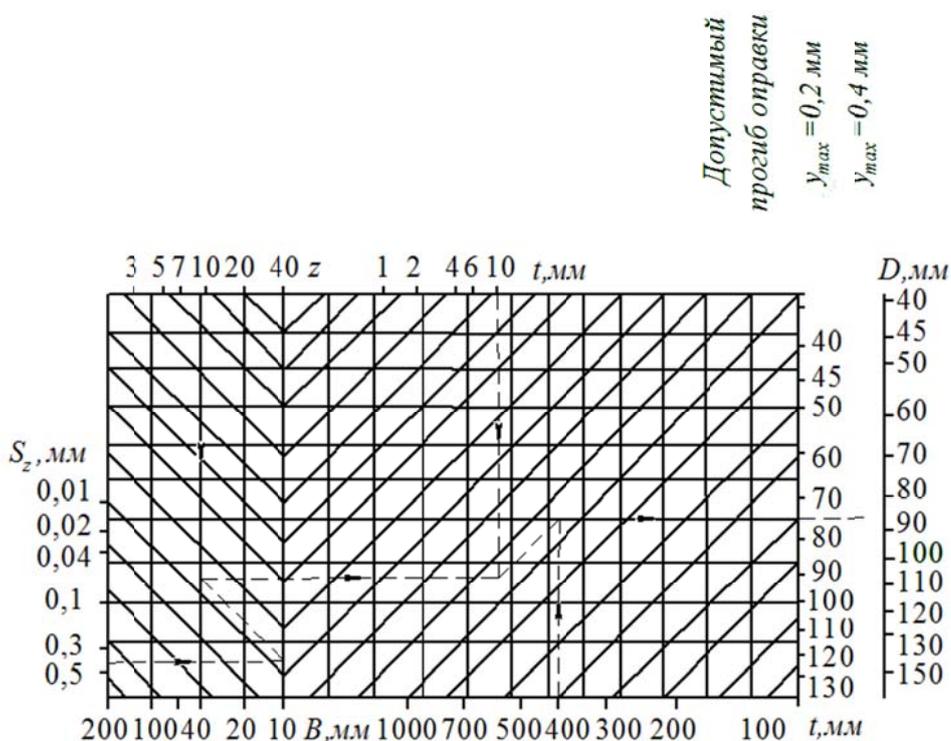


Рис. 5.2. Номограмма для определения диаметра цилиндрических (осевых) фрез (по М. Н. Ларину)

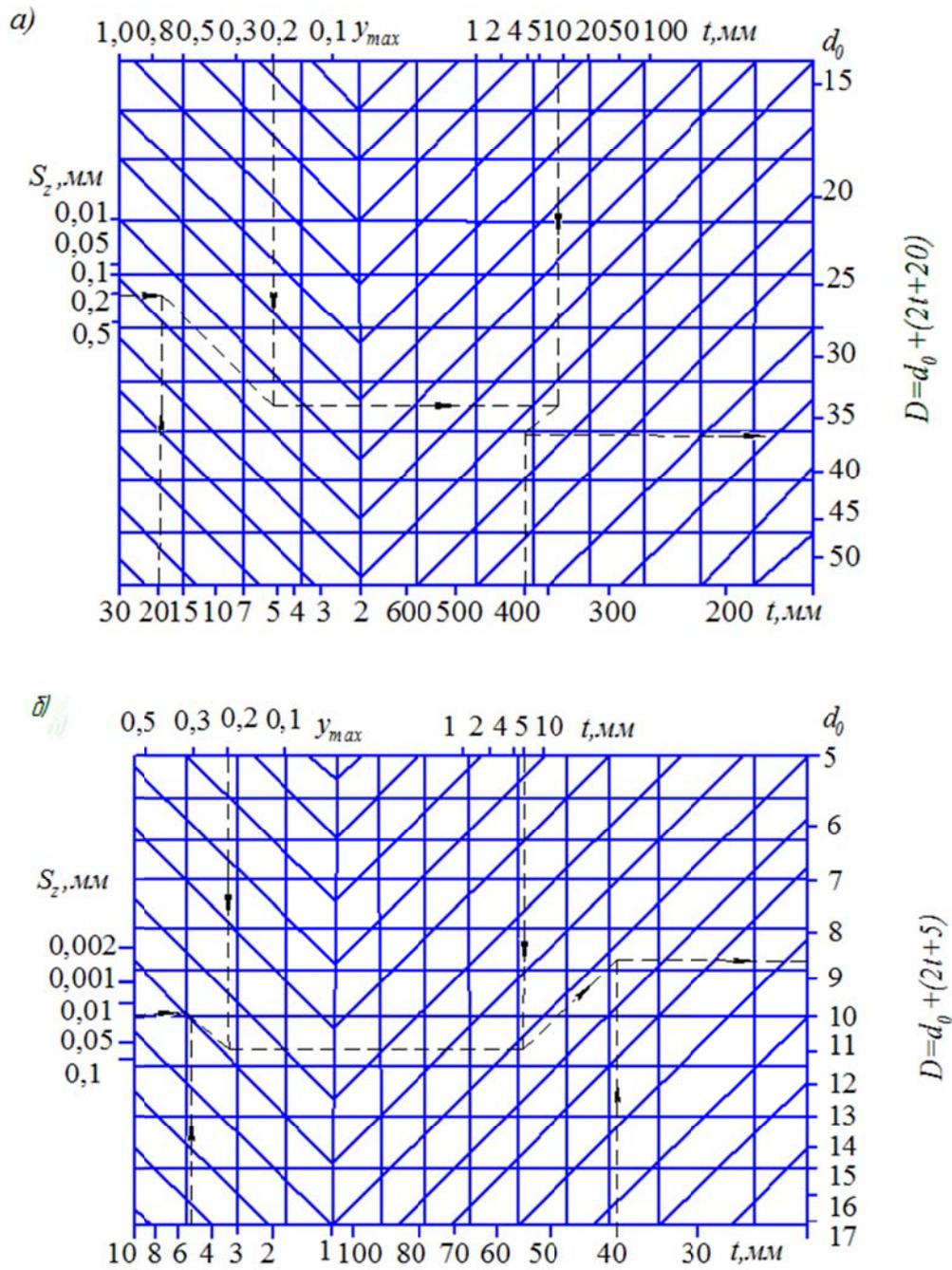


Рис. 5.3. Номограмма для определения диаметра:  
 а – дисковых фрез; б – грибковых Т-образных фрез  
 (по М. Н. Ларину)

Для дисковых фрез значение минимального диаметра может быть получено по следующей формуле:

$$D_{\min} = 0,117B^{0,25}t^{0,09}S_z^{0,055}l^{0,75}y_{\max}^{-0,25} + (2t^I + 2\Delta).$$

Аналогично для грибковых Т-образных фрез

$$D_{\min} = 0,263a^{0,25}t^{0,09}S_z^{0,055}y_{\max}^{-0,25} + (2t^I + 2\Delta).$$

Значение диаметра концевых фрез (рис. 5.4) при обработке уступов или плоскостей определяется по формуле

$$D_{\min} = 0,117B^{0,25}t^{0,09}S_z^{0,055}l^{0,75}y_{\max}^{-0,25} + (2t^I + 2\Delta).$$

Экспериментально установлено, что нормальная работа фрез имеет место при величине допустимого прогиба

$$y_{\max} \approx (0,2 \dots 0,4)\text{мм}.$$

При выборе диаметра торцевых фрез необходимо исходить из того, чтобы при заданной ширине заготовки врезание зуба происходило при толщине среза  $a_x > p$ , где  $p$  – радиус округления режущей кромки в миллиметрах (рис. 5.5). Это имеет место при

$$D/t \approx (1,2 \dots 1,5),$$

где  $D$  – диаметр фрезы в мм;  $t$  – глубина фрезерования, мм.

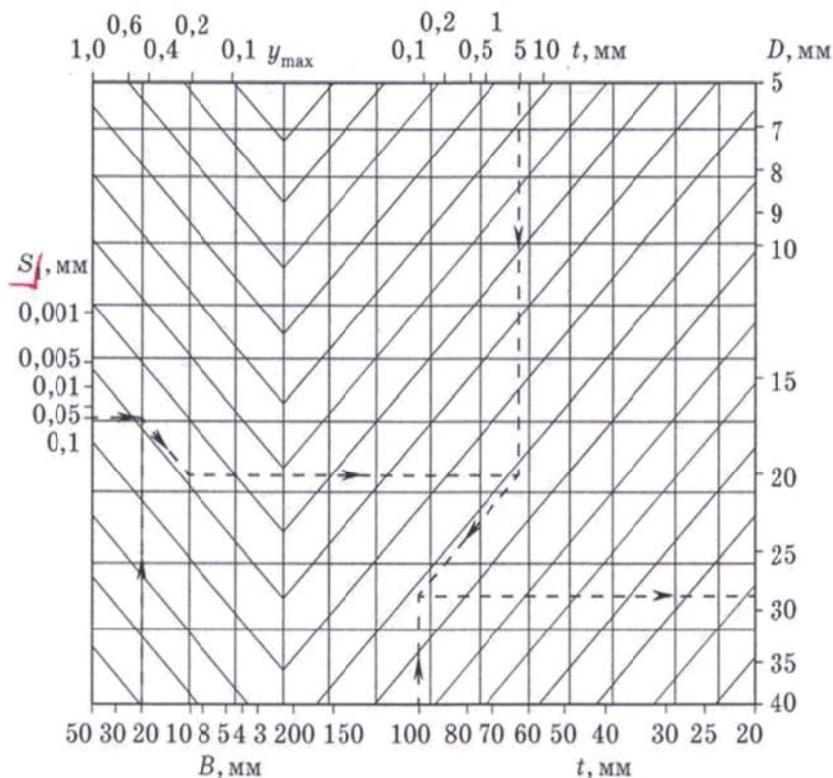


Рис. 5.4. Номограмма для определения диаметра концевых фрез

Для случая симметричного фрезерования толщина среза будет

$$a_x = S_z \cdot b_s \frac{\varphi}{2} \sin \varphi$$

Значение радиуса округления лезвия определяется по следующей формуле:

$$p = 35 - 0,55(a + y).$$

Ниже даны рекомендуемые диаметры для цилиндрических (табл. 5.1), дисковых (табл. 5.2) и торцевых (табл. 5.3.) фрез.

для  
ще-  
ия

Таблица 5.1  
Рекомендуемые диаметры для цилиндрических фрез

Ширина фрезерования $b$ , мм	Диаметр $D$ фрезы, мм, при глубине $t$ фрезерования, мм		
	2	5	10
10	60	75	90
20	75	90	90
30	90	110	130

Таблица 5.2  
Рекомендуемые диаметры для дисковых фрез

Ширина фрезерования $b$ , мм	Диаметр $D$ фрезы, мм, при глубине $t$ фрезерования, мм				
	5	10	20	50	100
10	50	60	90	150	250
20	60	75	110	175	300
40	75	90	130	175	300

Таблица 5.3

Рекомендуемые диаметры для торцевых фрез

Диаметр фрезы $D$ , мм, при глубине фрезерования $t$ , мм	Ширина фрезерования $b$ , мм			
	4	6	8	10
40	50 – 75	–	–	–
60	75 – 90	–	–	–
90	–	110 – 130	–	–
120	–	150 – 175	–	–
180	–	210 – 250	–	–
250	–	–	300 – 350	–
350	–	–	–	400 – 450

**Пример.** Определить минимально допустимый диаметр торцевой фрезы при резании стальной заготовки:  $t = 100$  мм;  $\varphi = 90^\circ$ ;  $S_z = 0,1$  мм;  $\alpha = 12^\circ$ ;  $\gamma = 15^\circ$ .

**Решение.** Радиус скругления при остром лезвии

$$\rho = 35 - 0,55(12 + 15) = 20 \text{ мкм.}$$

Учитывая, что при нормальном затуплении эта величина возрастает в 2 – 3 раза, имеем, что при затуплении

$$\rho = 60 \text{ мкм} = 0,06 \text{ мм.}$$

$$D_{\min} = \sqrt{\frac{0,1^2 \cdot 100^2}{0,1^2 - 0,06^2}} = 125 \text{ мм.}$$

## 5.2. Расчет параметров крепежной части

Крепежную часть режущего инструмента можно подразделить на *насадной* и *хвостовой инструмент*.

Насадные инструменты закрепляются (устанавливаются) на цилиндрическую или коническую оправку. Соответственно этому они снабжаются базовым отверстием цилиндрической или конической формы.

ГОСТ 9472-90 устанавливает три типа крепления инструмента на оправках:

- 1) на цилиндрических оправках (тип 1);
- 2) цилиндрической оправке и торцевой шпонке (тип 2);
- 3) конической оправке и торцевой шпонке (тип 3).

Согласно ГОСТ 9472-90 для насадных инструментов применяется ряд отверстий диаметром от 8 до 100 мм. Этот ряд принят в качестве стандартного.

Диаметр оправки оказывает большое влияние на работу инструмента фрезы. В процессе фрезерования оправка находится под действием крутящего и изгибающего моментов, поэтому при выборе диаметра оправки необходимо выполнять проверочный расчет на прочность.

На зуб прямозубой фрезы действует сила  $P_2$ , касательная к траектории движения точки ее приложения, и радиальная сила  $P_R$ , направленная по радиусу (рис. 5.6). Равнодействующая этих сил  $R$  вызывает изгибающий момент оправки.

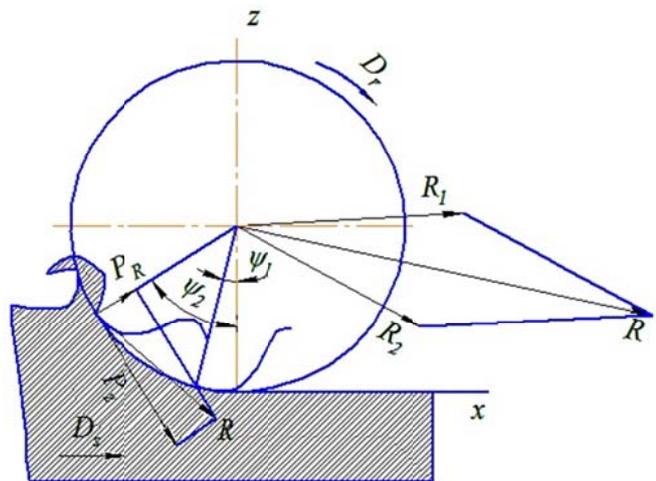


Рис. 5.6. Силы, действующие на фрезу с прямым зубом

Сила  $P_T$  является основной при фрезеровании. Она определяет эффективную мощность и служит для расчета углов главного движения фрезерного станка при работе фрез с прямыми и винтовыми зубьями.

Рассмотрим сначала фрезу с прямыми зубьями. Сила  $P_z$  зависит от удельной силы резания  $p$  и сечения снимаемой стружки  $f$ , т. е.

$$\begin{aligned}
 P_z &= pf; \\
 f &= ba_x \sin \psi_x; \\
 p &= Ca^{k_x} = CS_z^k \sin^k \psi_x; \\
 P &= CbS^{k+1} \sin^k \psi_x,
 \end{aligned}$$

где  $b$  – ширина фрезерования, мм;  $a_x$  – толщина среза, мм;  $S_2$  – подача на зуб, мм/зуб;  $\psi_x$  – угол поворота от начального до мгновенного положения зуба (при работе одним зубом он равен углу контакта  $\psi$ );

$C$  – коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала и величину угла;  $k$  – показатель степени, учитывающий свойства материала, износ фрезы и влияние смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), он всегда имеет знак «минус».

Если в процессе резания участвует не один, а несколько зубьев, то суммарная окружная сила будет равна сумме окружных сил, действующих на каждый зуб в отдельности.

$$P_{\text{сум}} = CbS^{k+1} = \sum_1^{zi} [\sin^{k+1} \psi_1 + \sin^{k+1} \psi_2] + \dots + \sin^{k+1} \psi_i,$$

где  $\psi_1, \psi_2, \psi_i$  – углы поворота соответствующих зубьев от начала фрезерования. Зная  $P_{\text{сум}}$ , можно определить и изгибающий момент.

Аналогично можно определить изгибающий момент, полученный в результате равнодействующих сил  $R$ , приложенных к каждому зубу фрезы:

$$R = \sqrt{P_1^2 + P_{K1}^2}; \quad R_2 = \sqrt{P_1^2 + P_{K2}^2} \quad \text{и т. д.};$$

$$R_i = P_i^2 + P_{Ri}^2 \quad \text{или} \quad R_i = P_{\text{сум}}^2 + P_{R\text{сум}}^2.$$

На основании экспериментальных работ можно принять

$$P_{R\text{сум}} = (0,6 \dots 0,8) P_{\text{сум}}.$$

Рассмотрим силы, действующие на фрезу с винтовыми зубьями. Кроме сил  $P$  и  $P_R$  здесь действует еще сила  $P_0$ , вызываемая наклоном режущей кромки (рис. 5.7). Направление ее меняется в зависимости от направления винтовых зубьев и направления резания (правое или левое).

Силы  $P$  и  $P_R$  дают равнодействующую  $R$ , а силы  $P$  и  $P_0$  дают равнодействующую  $R_0$ , направленную перпендикулярно к режущей кромке.

В связи с тем что толщина среза  $a_x$  является переменной по длине режущей кромки, сила  $P$  определяется путем интегрирования. Элементарная сила  $dR_0$ , действующая в плоскости, нормальной к режущей кромке, определяется по удельной силе и сечению стружки.

Выделим на режущие кромки бесконечно малый участок  $db$ , на котором действует элементарная сила  $dR_0$ , равная  $pd_x db$  (см. рис. 5.7).

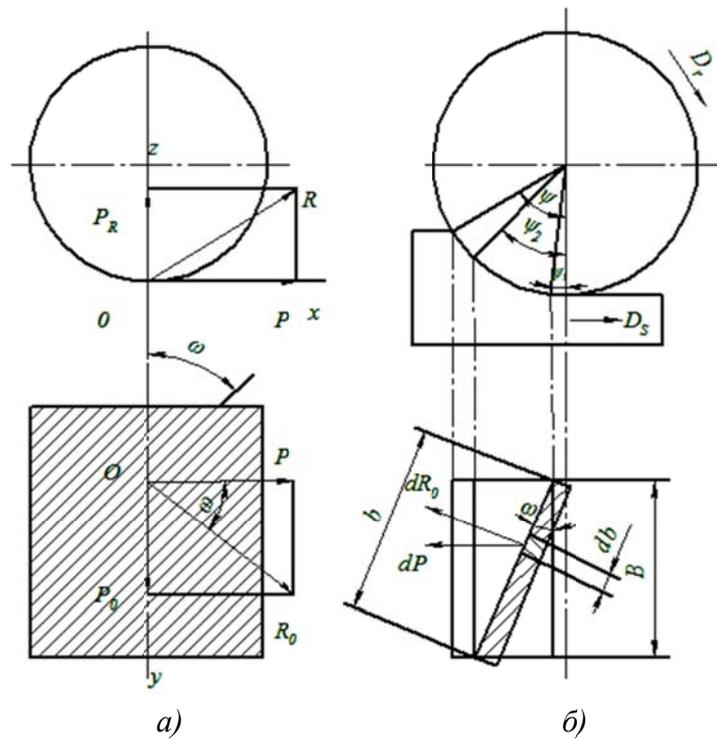


Рис. 5.7. Силы, действующие на фрезу с винтовыми зубьями

Так как  $dP = dR_0 \cos \omega$  и  $db = \frac{Dd\psi}{2\sin\omega}$ , то можно записать

$$dP = C_\omega C \frac{D}{2} \left[ \operatorname{tg} \omega S_z^{k+1} \sin^{k+1} \psi d\psi, \right.$$

где  $C_\omega$  – коэффициент, учитывающий влияние угла наклона зубьев (входит в формулу для определения удельной силы  $p$ ).

Общая сила  $P$  может быть определена путем интегрирования по всей длине режущей кромки, т. е.

$$P = C_\omega C \frac{D}{2} \left[ \operatorname{tg} \omega S_z^{k+1} \int_{\psi_2}^{\psi_1} \sin^{k+1} \psi d\psi. \right.$$

Полученный интеграл может быть решен приближенно различными способами.

Тогда мгновенная окружная сила  $P_0$ , отнесенная к одному зубу, будет равна:

$$P_0 = C_\omega C \frac{D}{2} \left[ \operatorname{tg} \omega \cdot \frac{2^{k+1}}{k+2} S_z^{k+1} \cdot \sum (\sin^{k+2} \psi_2 / 2 - \sin^{k+2} \psi_1 / 2). \right.$$

Коэффициенты  $C_\omega$ ,  $C$  и показатель степени  $k$  определяются на основании экспериментальных работ [12]. Зная  $P_{\text{сум}}$ , можно найти

$$P_{R_{\text{сум}}} = (0,6 \dots 0,8)P_{\text{сум}};$$

$$P_0 = P_{\text{сум}} \operatorname{tg} \omega.$$

Оправка подвергается сложному изгибу из-за наличия крутящего момента (как балка, заземленная одним концом)

$$M_d = P_{\text{сум}} D/2.$$

Оправка находится под действием изгибающего момента, равного сумме моментов:

$M_{bR}$  от равнодействующей силы  $R_{\text{сум}}$ , сил  $P_{\text{сум}}$  и  $P_{R_{\text{сум}}}$ , действующих в плоскости  $xz$  (см. рис. 5.7), причем

$$R_{\text{сум}} = P_{\text{сум}}^2 + P_{R_{\text{сум}}}^2.$$

$M_{bP_0}$  от осевой силы  $P_{\text{сум}}$ , действующей в плоскости  $xu$ , где

$$P_{\text{сум}} = R_{\text{сум}} \operatorname{tg} \omega.$$

Следовательно,  $M_b = M_{bR} \pm M_{bP_0}$ , причем знак «плюс» принимается в случае, если осевая сила направлена к шпинделю, а знак «минус» – если от шпинделя.

Изгибающий момент от силы  $R$

$$M_R = Rl = \left( \frac{3}{16} - \frac{1}{4} \right) Rl,$$

где  $l$  – расстояние между точками приложения силы  $R$  и максимального изгибающего момента, мм;  $L$  – расстояние между опорами, мм.

Изгибающий момент от силы  $P_{0\text{сум}}$

$$M_{bP_0} = P_{0\text{сум}} \frac{D}{2} = P_{\text{сум}} \operatorname{tg} \omega \frac{D}{2}.$$

Ориентировочно можно считать

$$P_{0\text{сум}} = (0,4 \dots 0,6)P_{\text{сум}}.$$

Расчетный момент, принимаемый по IV теории прочности, равен

$$M_{\text{рас}} = \sqrt{M_b^2 + M_d^2}.$$

Найденный расчетный момент является основой для определения диаметра оправки, т. е.

$$d_0 = \sqrt{M_{\text{рас}}/\sigma_b \cdot 0,1}.$$

Полученный диаметр оправки округляется в большую сторону. На рис. 5.8 показаны различные варианты крепления торцевых фрез. Посадка фрез осуществляется или непосредственно на конец шпинделя станка (рис. 5.8, а, б), или на оправку. Посадочные отверстия выполняются или цилиндрическими, или коническими (рис. 5.8, в, г). Крутящий момент передается через продольную (см. рис. 5.8, а) или торцевую шпонки (см. рис. 5.8, б, в).

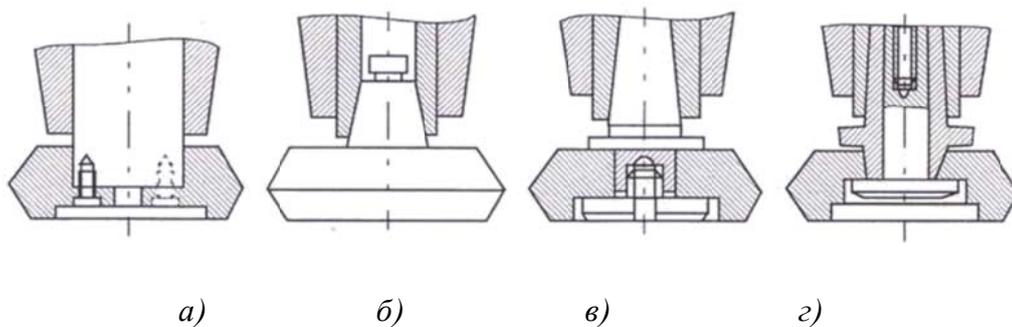


Рис. 5.8. Варианты крепления торцевых фрез на фрезерных станках

Концы шпинделей всех типов универсальных/сверлильных, расточных и фрезерных станков, в том числе с числовым программным управлением (ЧПУ), с коническими посадочными поверхностями (кроме шпинделей с цанговым креплением инструмента) изготавливаются в восьми исполнениях по ГОСТ 24644-81. Типы крепления инструментов на оправке представлены на рис. 5.9.

Крепежная часть инструмента выполнена в виде хвостовика. Хвостовики – в виде конуса. Основные размеры наружных конусов приведены в ГОСТ 25557-82. Конус служит для передачи крутящего момента от шпинделя станка к инструменту, которая осуществляется

в результате трения контактирующих поверхностей, возникающего в процессе резания под действием осевой силы.

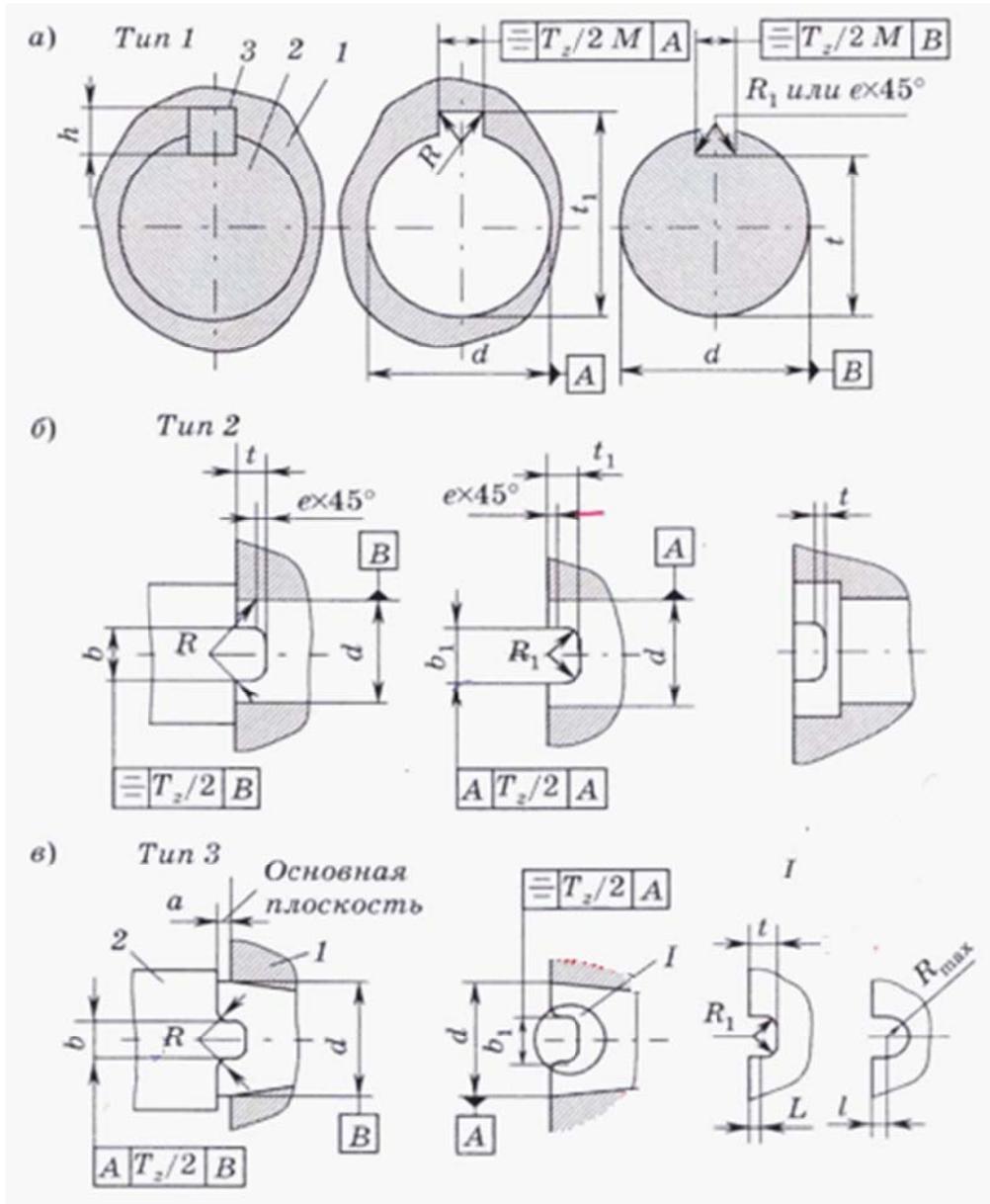


Рис. 5.9. Типы крепления инструментов на оправке:  
 а – продольный; б, в – торцевой;  
 1 – инструмент; 2 – оправка; 3 – шпонка

Осевую силу  $Q$  можно разложить на две составляющие: силу  $P$ , перпендикулярную к поверхности конуса, и силу  $F$ , перпендикулярную к оси сверла (рис. 5.10).

$$P = Q/\sin\alpha.$$

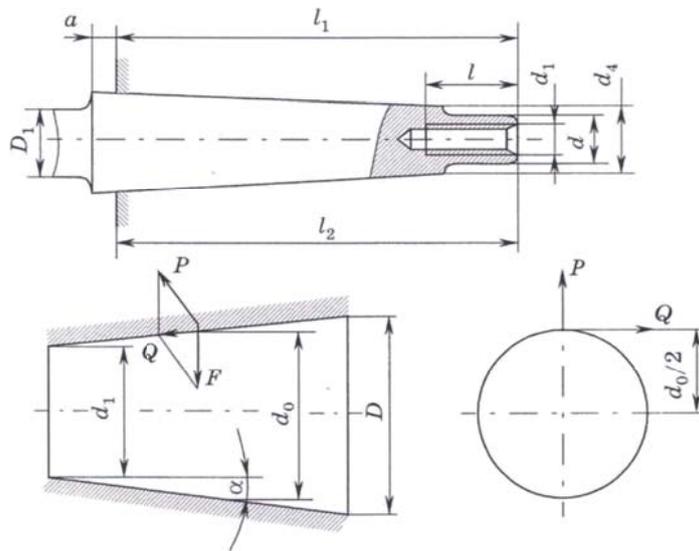


Рис. 5.10. Конус Морзе и силы, действующие в соединении

Крутящий момент может быть определен по формуле

$$M = \mu Q \frac{D + d}{2} = \mu Q / \sin \alpha \cdot D + d / 4,$$

где  $\mu Q$  – сила трения, Н;  $d$  и  $D$  – минимальный и максимальный диаметры рабочей части конуса, мм;  $\mu$  – коэффициент трения ( $\mu = 0,096$ );  $Q$  – осевая сила, Н.

Эта формула справедлива при условии, что угол  $\alpha$  точно выдержан на обеих сопрягаемых поверхностях. На практике, как правило, погрешность  $\Delta$  (суммарная) в угле  $\alpha$  не превышает  $10'$ . Тогда крутящий момент может быть выражен формулой

$$M = \mu \frac{Q}{\sin \alpha} \frac{D + d}{4} (1 + 0,04 \cdot \Delta \alpha),$$

где  $\Delta \alpha$  колеблется в пределах  $0 - 10'$ .

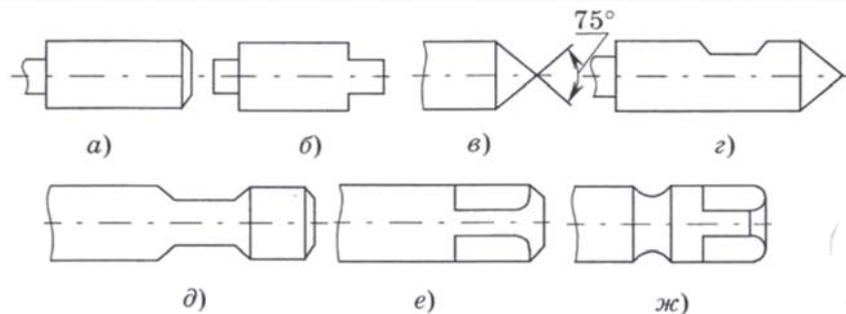


Рис. 5.11. Типы цилиндрических хвостовиков: а – для инструментов; б – с поводком в виде двух лысок; в – цилиндрический с наружным центром  $75^\circ$ ; г, д – с лысками; е – с квадратом; ж – с квадратом и кольцевой выточкой

Инструмент крепится при помощи цилиндрического хвостовика. Наряду с коническим хвостовиком широко используется цилиндрический хвостовик, который применяется или без дополнительных крепежных элементов, или в сочетании с ними (рис. 5.11).

Существуют девять форм центровых отверстий. Форма А применяется в тех случаях, когда после обработки необходимость в центровых отверстиях отпадает.

### 5.3. Расчет числа зубьев. Определение размеров и формы зуба

**Число зубьев фрезы.** Число зубьев фрезы – важный элемент ее конструкции, поскольку с увеличением числа зубьев при постоянных значениях остальных параметров производительность обработки увеличивается. Количество зубьев фрезы зависит:

- от размера канавок между зубьями, обеспечивающих свободное размещение стружки и ее своевременный отвод;
- наибольшего допустимого числа переточек зуба фрезы при условии обеспечения равномерного фрезерования;
- эффективной мощности станка;
- вида и габаритных размеров фрезы;
- метода крепления вставных зубьев, а также формы и расположения режущих кромок фрезы.

При расчете числа зубьев необходимо стремиться к соблюдению одного из основных правил фрезерования: *в процессе резания должно одновременно участвовать не менее двух зубьев*. Это приводит к более равномерному фрезерованию и увеличивает чистоту обработанной поверхности.

Число режущих зубьев  $z_p$  определяется по формуле

$$z_p = z\psi/360 + bztg\omega/\pi D \geq 3,$$

где  $\psi$  – угол контакта, град;  $b$  – ширина срезаемого слоя;  $\omega$  – угол наклона винтовых зубьев, град;  $D$  – диаметр фрезы, мм; 3 – число зубьев фрезы.

В табл. 5.4 приводятся значения толщины слоя, снимаемого за одну переточку для разных типов фрез (в направлении, перпендикулярном к задней поверхности).

Таблица 5.4  
Толщина слоя, снимаемого за один проход  
для разных типов фрез

Виды обработки		Тип фрез									
		цилиндриче- ские	торце- вые	концевые			дисковые	шлице- вые	фасонные		
Сталь	Чугун	0,15— 0,25	0,2— 0,3	0,35— 0,45	Сталь, чугун		Сталь (чугун)	Сталь, чугун	Остроко- нечные:	Затылованные	
					D < 15	D > 15					
					При B > 1 мм						
Черновая	0,1— 0,12	0,12— 0,15	0,15— 0,2	0,15— 0,20	0,15— 0,25	0,08— 0,1	0,3—0,5 0,2—0,25	0,2— 0,25	Сталь	1,8-2,5	
											0,1
Чистовая	0,1— 0,12	0,12— 0,15	0,15— 0,2	0,1	0,15	0,08	Мерные 0,15—0,2 Угловые 0,15—0,25	—	0,12—0,2	1,3-1,8	

При выборе числа зубьев у затылованных фасонных фрез следует учитывать следующие обстоятельства:

- число зубьев должно обеспечивать необходимую ширину зуба, допускающую значительное число переточек;
- число зубьев должно быть назначено с учетом обеспечения достаточного пространства для размещения стружки на минимальном диаметре с минимальной высотой зуба.

Проектируя фрезы, необходимо назначать возможно большее число зубьев.

При обдирочном фрезеровании, когда за один проход снимается значительный припуск, с предельно допустимой подачей у переточенной фрезы создается опасность защемления стружки в пространстве между зубьями. В этом случае для цилиндрических, концевых, дисковых, шлицевых, пазовых и фасонных фрез наибольшее число зубьев определяется по формуле

$$z = 0,2D/t_{\max}^{0,5}S_{z\max}^{0,5},$$

где  $t_{\max}$  – наибольшая глубина резания, мм;  $S_{z\max}$  – наибольшая подача на зуб, мм/зуб.

Для торцевых фрез

$$z = 0,6D/t_{\max}^{0,5}S_{\max}^{0,5}.$$

При чистовом фрезеровании, когда срезается небольшой припуск, необходимо, чтобы зубья фрезы допускали наибольшее число переточек с сохранением равномерного фрезерования.

В этом случае расчет ведется по формуле

$$z \approx \pi D/4ix,$$

где  $D$  – диаметр фрезы, мм;  $i$  – число переточек до полной амортизации фрезы;  $x$  – величина слоя, снимаемого за одну переточку.

Для фрез сборной конструкции, оснащенных твердым сплавом, число зубьев фрезы определяется исходя из эффективной мощности резания.

Поскольку эффективная мощность резания при фрезеровании прямо пропорциональна числу зубьев фрезы, то наибольшее число зубьев фрезы может рассчитываться в зависимости от эффективной мощности, параметров режима резания и диаметра фрезы по формулам:

а) при обработке сталей

$$z_{\max} = N_e D^{0,1} / 3,6 \cdot 10^{-5} t_{\max}^{1,14} B_{\max}^{0,93} S_{z_{\max}}^{0,74} n ;$$

б) при обработке чугунов

$$z_{\max} = N_e D^{0,14} / 2,53 \cdot 10^5 t_{\max}^{1,14} B_{\max}^{0,9} S_{z_{\max}}^{0,4} n .$$

Для сборных конструкций фрез максимально допустимое число вставных зубьев (резцов) определяется возможностью их размещения в корпусе фрезы в соответствии с принятой конструкцией крепления вставных резцов.

Фрезы цельные или с припаянными к корпусу пластинками допускают большее число зубьев, но они в ряде случаев неэкономичны с точки зрения удельного расхода твердого сплава.

Фрезы сборные наиболее прогрессивные, но имеют меньшее число зубьев.

Размещение большего числа зубьев фрезы требует уменьшения габаритных размеров отдельных деталей, иногда всего механизма крепления при сохранении удобного его расположения в корпусе фрезы.

**Форма зубьев фрезы.** При выборе формы зуба фрезы необходимо считаться с технико-экономической целесообразностью, которая характеризуется следующими условиями:

- получение зуба фрезы необходимой прочности;
- впадина между зубьями по своей форме должна обеспечить свободное размещение срезаемой стружки при наименьшей ее деформации;
- получение зуба фрезы, обеспечивающего по форме и размерам наибольшую долговечность при наибольшем допускаемом числе переточек;
- создание формы зуба, наиболее благоприятной с технологической точки зрения.

По форме зуба фрезы могут выполняться с прямыми, наклонными, винтовыми и разнонаправленными зубьями. Кроме того, форма зуба зависит от конструктивного выполнения фрез, которые могут быть цельными из инструментальных сталей или изготовленными из

твердого сплава (монолитные). Монолитные фрезы, в свою очередь, разделяются на фрезы-коронки, целиком изготовленные из твердого сплава, фрезы с пластинами из твердого сплава, припаянными к корпусу фрезы, и литые фрезы, где твердые пластины заливаются одновременно с отливкой корпуса фрезы. Цельные фрезы характеризуются небольшими диаметрами ( $D < 9$  мм). Они отличаются простотой изготовления и позволяют при малых габаритах фрез размещать относительно большее число зубьев. По форме зубьев фрезы разделяются на острозаточенные (рис. 5.12, а – д) и затылованные (рис. 5.12, е).

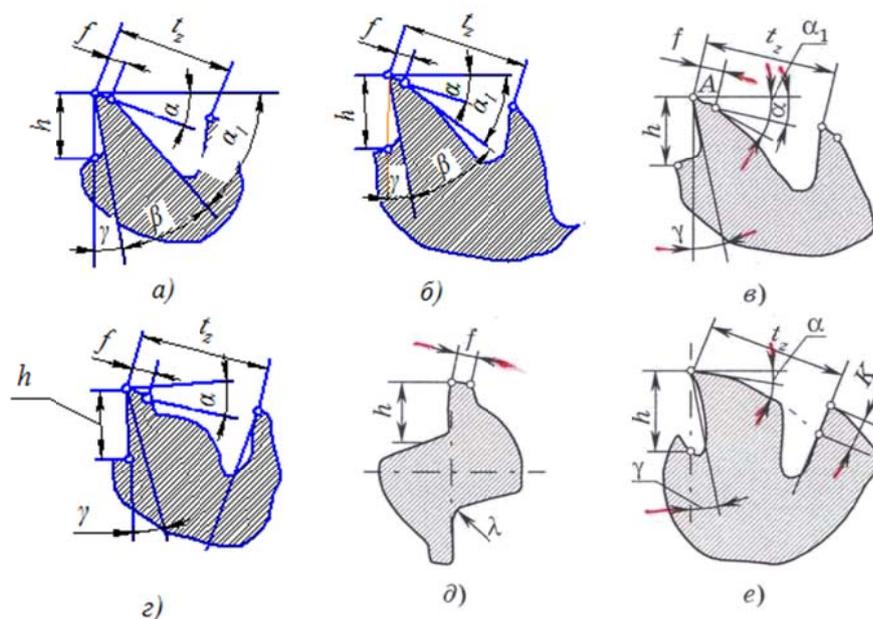


Рис. 5.12. Формы зубьев фрезы: а – д – острозаточенные; е – затылованная

*Острозаточенная форма зубьев* – наиболее распространенная, достаточно технологичная в изготовлении, универсальная с точки зрения доработки ее геометрии под различные условия обработки, при переточках во время эксплуатации.

*Затылованная форма зубьев* целесообразна для некоторых видов фасонного инструмента, в основном зуборезного, но в инструменте общего назначения не нашла широкого применения.

Особенности разновидностей острозаточенных зубьев следует оценивать с учетом прочности зуба, определяемой углом заострения (угол заострения фрез должен быть не меньше  $45 - 50^\circ$ ) или формой и

размерами передней и задней поверхностей, и объема стружечной канавки, зависящего от формы задней поверхности и высоты зуба, технологичности изготовления, переточек.

*Одноуголовая форма зуба* (см. рис. 5.12, *а*) – наиболее простая и технологичная, образована угловой фрезой за один проход, задний угол  $\alpha$  выполняется на ширине ленточки при заточке зуба. Такая форма применяется на торцевых зубьях цельных фрез, у зубьев, расположенных по цилиндру, у фрез малых диаметров с  $z > 0,3d$ , у зубьев фасонных фрез. Передняя грань зуба на высоте  $h$  может быть прямой на участке, прилегающем к вершине, и криволинейной – на некотором расстоянии от вершины. Для наглядности эти формы передней грани (криволинейная и комбинированная) изображены на отдельных видах зубьев, хотя следует иметь в виду, что такие формы передней грани могут применяться у зубьев любой формы.

На рис. 5.12, *б* изображена *форма зуба с ломаной спинкой*, выполняемой за два прохода при фрезеровании. Такая форма широко применяется как на цилиндрических, так и на торцевых фрезах, в особенности на фрезах, оснащенных твердым сплавом. Недостаток – большая трудоемкость изготовления, чем формы, приведенной на рис. 5.12, *а*. Этот недостаток устранен у фрез (см. рис. 5.12, *в*), где ломаная форма спинки заменена на выпуклую криволинейную, обычно параболическую. Такая форма отличается равнопрочностью и достаточно большим объемом стружечных канавок. Применяется для зубьев на цилиндрической части концевых фрез из быстрорежущих сталей.

*Параболическая форма спинки* обычно заменяется близкой к ней цилиндрической формой, при этом радиус кривизны спинки для концевых фрез диаметром 20 – 50 мм принимается равным  $(0,3 - 0,45)d$ . При выборе радиуса кривизны спинки следует стремиться, чтобы этот радиус плавно сопрягался с прямой, наклоненной под углом  $\alpha_1$  (причем  $\alpha_1 > \alpha$ , где  $\alpha$  – задний угол, образуемый при заточке, а  $\alpha_1$  – угол между касательной в точке  $A$  и задней гранью). Недостатком профиля считается сложность получения равномерной ленточки  $f$  при допустимых ошибках в изготовлении параболической или радиусной спинки: даже небольшое смещение спинки относительно оси вызывает резкое увеличение ширины ленточки, что ужесточает требования к точности изготовления, а значит, и повышает трудоемкость формооб-

разования. Этот недостаток формы зуба устранен применением выступающей ленточки (см. рис. 5.12, *г, д*). Криволинейная форма затылка при такой форме зуба сохраняется. Эта форма имеет все достоинства формы зуба (см. рис. 5.12, *в*). Применяется она у концевых и насадных фрез для зубьев, расположенных по цилиндру. Недостатком формы является повышение требований к точности изготовления инструмента второго порядка и точности настройки станка. Большая часть концевых фрез зарубежных фирм выполняется с такой формой зуба. Профиль зуба формы, приведенной на рис. 5.12, *е*, применяется редко, отличается затылованной формой задней поверхности, спад которой  $k$  определяется требуемым для резания значением заднего угла  $\alpha$ , который при переточке фрезы по передней поверхности должен оставаться постоянным.

Важным параметром, характеризующим зуб фрезы, считается также его высота  $h$ . С увеличением высоты зуба повышаются число возможных переточек и объем стружечных канавок, но одновременно возрастает нагрузка на корневое сечение зуба за счет увеличения изгибающего момента. Высота зуба обычно характеризуется коэффициентом высоты  $K$  и связана с ним зависимостью  $h = Kd/z$ . На основании практических наблюдений установлены значения коэффициента высоты зуба  $K$  для различных типов фрез (табл. 5.5).

Для стандартных концевых фрез значение высоты зуба установлено из зависимости

$$h = (0,06...0,25) d.$$

Таблица 5.5

Значения коэффициента высоты зуба  $K$  для различных типов фрез

Типы фрез	Коэффициент высоты зуба $K$
Концевые	0,9 – 1,2
Торцевые и цилиндрические:	
с крупными зубьями	1,2 – 1,5
с мелкими зубьями	0,8 – 0,9
Дисковые двух- и трехсторонние	1,4 – 1,8
Торцевые, дисковые и цилиндрические для легких сплавов	0,7 – 0,9

Не менее важным параметром формы зуба можно назвать радиус  $r$  перехода от спинки к передней грани зуба. Как было показано

выше, он является концентратором напряжений в зоне перехода и от него зависит прочность фрезы. С целью снижения напряжений необходимо стремиться к увеличению радиуса  $r$ , но при этом ослабляется сам зуб и изменяется (в нежелательную сторону) форма передней поверхности. Уменьшение радиуса  $r$  увеличивает напряжения на дне канавки и препятствует свободному сходу стружки. Проверка радиуса с точки зрения стружкоотвода и размещения стружки может быть произведена по формуле

$$r = \sqrt{\frac{S_z t k_c}{\pi}},$$

где  $t$  – глубина резания, мм,  $k_c$  – коэффициент размещения стружки (обычно  $k_c = 3 - 4$ ).

Упрощенно 
$$r = \sqrt{S_z t}.$$

Обычно радиус  $r$  выбирается из конструктивных соображений в пределах  $(0,4 - 0,75)h$  и значительно превосходит величину, рассчитанную из условия стружкоотвода.

Параметры формы зубьев концевых фрез с  $\gamma_N = 15^\circ$ ,  $\alpha = 14^\circ$ ,  $\omega = 30 - 45$  соответствующего профиля (см. рис. 5.11, д) приведены в табл. 5.6.

Снижению колебаний во время резания способствует и неравномерное размещение зубьев по окружности. В табл. 5.7 даны рекомендуемые значения центральных углов между соседними зубьями по окружности наружного диаметра.

Таблица 5.6

Параметры формы зубьев концевых фрез, мм

$d$	3	4	5	6	8	10	14	20	25	45
при $z = 3$										
$h$	0,8	1,05	1,35	1,6	2,15	2,7	3,0	4,8	6,0	–
$r_1$	0,4	0,5	0,65	0,8	1,05	1,3	1,5	2,4	3,0	–
$r_2$	1,15	1,55	0,75	2,1	2,8	3,5	3,5	7,2	–	–
при $z = 4$								при $z = 5$		при $z = 6$
$h$	0,65	0,95	1,2	1,4	2,0	2,4	3,0	3,6	4,5	7,0
$r_1$	0,25	0,35	0,45	0,55	0,7	1,0	1,5	2,0	2,5	4,0
$r_2$	1,3	1,75	2,25	2,7	3,6	4,5	–	7,2	9,0	14

Таблица 5.7

Величина центральных углов  
между соседними зубьями фрез, град

Число зубьев	$\varphi_1$	$\varphi_2$	$\varphi_3$	$\varphi_4$	$\varphi_5$	$\varphi_6$	$\varphi_7$	$\varphi_8$
3	110	123	127	—	—	—	—	—
4	90	85	90	95	—	—	—	—
5	68	72	76	68	76	—	—	—
6	57	63	57	63	57	63	—	—
8	42	48	42	48	42	48	42	48

**Пример 1.** Определить радиус у основания зуба концевой фрезы:  $d = 20$  мм, глубина резания  $t = 20$  мм,  $S_z = 0,15$  мм.

Решение

$$r = \sqrt{\frac{0,15 \cdot 20 \cdot 3}{3,14}} = 1,7 \text{ мм.}$$

**Пример 2.** Определить радиус у основания зубьев торцевой фрезы:  $D = 110$  мм,  $t = 70$  мм,  $S_z = 0,2$  мм.

Решение

$$r = \sqrt{0,2 \cdot 70 \cdot 3 / 3,14} = 3,65 \text{ мм.}$$

При конструировании формы зубьев цельных фрез можно руководствоваться данными табл. 5.8 – 5.9.

Таблица 5.8

Параметры формы зубьев цельных фрез

Характеристика фрезер	Высота зуба $h$ , мм	Радиус впадины $t$ , мм	Угол канавок		Угол спинки		Ширина задней поверхности $f$ , мм
			по цилиндру $\theta$	по торцу $\theta_1$	по цилиндру $d$	по торцу $d$	
Торцевые: с крупными зубьями	$(0,35 - 0,45)t_m$	3 – 4	55	30 – 35	30	20	1,5 – 2
с мелкими зубьями	$(0,5 - 0,65)t_m$	1,5 – 2	45	60	35	25	1 – 1,5

Окончание табл. 5.8

Характеристика фрезер	Высота зуба $h$ , мм	Радиус впадины $t$ , мм	Угол канавок		Угол спинки		Ширина задней поверхности $f$ , мм
			по цилиндру $\theta$	по торцу $\theta_1$	по цилиндру $d$	по торцу $d$	
Цилиндрические: с крупными зубьями	$(0,35 - 0,4)t_m$	2 – 3	55 – 60	–	30	–	1,5 – 2
	$(0,4 - 0,65)t_m$	1,5 – 2	40 – 45		35		1 – 1,5
Отрезные	$(0,4 - 0,45)t_m$	$(0,22 - 0,25)t_m$	–	–	–	–	$0,12t_m$
Концевые с крупными зубьями	$(0,28 - 0,35)t_m$	2 – 3	60	30	30	20	1

Таблица 5.9

### Размеры зубьев цельных фрез

Область применения	Виды фрез										
	Дисковые трехсторонние			Цилиндрические			Торцевые			Концевые	
	$D$	$d$	$z$	$D$	$d$	$z$	$D$	$d$	$z$	$d$	$z$
Обработка легких сплавов	–	–	–	40	16	3	40	16	4	2 – 6	2
	50	16	4	50	22	4	50	22	5	8 – 20	3
	63	22	6	60	27	4	63	27	5	22 – 45	4
	80	22	6	80	32	4	80	27	6	50 – 63	5
	100	27	8	100	40	5	100	32	6	–	–
	160	40	10	–	–	–	160	40	8	–	–
	200	40	10	–	–	–	200	50	10	–	–

### 5.4. Конструирование наборов фрез

**Набором фрез** называют группу фрез, установленных на общей оправке для одновременной обработки поверхностей заготовок.

При составлении набора фрез необходимо соблюдать следующие условия.

1. Осевая сила должна быть уравновешена. Это достигается путем правильного сочетания и установки фрез с винтовыми зубьями

(рис. 5.13). Неуравновешенную часть составляющей силы резания обычно направляют в сторону шпинделя станка.

2. Фрезы при обработке пазов и внутренних поверхностей должны иметь направление винтовых зубьев, обеспечивающее лучший отвод стружки (см. рис. 5.13).

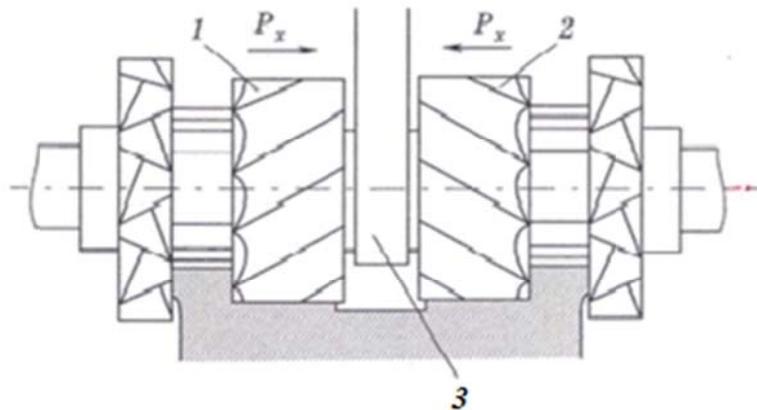


Рис. 5.13. Набор фрез с уравниванием составляющих сил резания: 1, 2 – фрезы с левым и правым наклоном зубьев; 3 – дополнительная опора

3. Предупреждение вибраций. Равномерность фрезерования можно получить, сместив зубья одной фрезы относительно другой за счет изменения расположения шпоночного гнезда фрезы, если обычный подбор сделать этого не позволяет.

4. Применение дополнительной опоры за счет установки второй серьги повышает жесткость закрепления набора фрез.

5. Обработка поверхностей заготовок набором фрез повышает расходуемую на резание мощность как главного привода, так и привода подачи. Чтобы избежать поломок, нужно сопоставить потребную нагрузку с допустимой, указанной в паспорте станка.

6. Скорость резания назначается по фрезе наибольшего диаметра.

Горизонтальные поверхности заготовки обрабатываются зубьями цилиндрических частей фрез набора. Достижение точных размеров, закрытых допусками, между поверхностями, которые расположены на разных уровнях, возможно только путем предварительного шлифования фрез по их наружному диаметру.

Для случая фрезерования уступа (рис. 5.14, а) исполнительные диаметры фрез, как правило, определяются по следующим формулам:

$$D = (D_M + \Delta - 2\delta) - 2(\Delta - \delta);$$

$$D_1 = (D + 2A + \Delta - 2\delta) - 2(\Delta - \delta);$$

$$H = (A + \delta - \Delta) + 2(\Delta - \delta),$$

где  $D_M$  – диаметр меньшей фрезы, принимаемый при ее конструировании;  $D$  и  $D_1$  – исполнительные номинальные диаметры фрез;  $\Delta$  – половина допуска на размер  $A$ ;  $\delta$  – допустимое биение фрез;  $H = (D_1 - D)/2$ ;  $2(\Delta - \delta)$  – допуски на диаметры  $D$ ,  $D_1$  и размер  $H$ .

Если допуск на размер  $A$  уступа задан на чертеже несимметрично, надо произвести перерасчет данного размера  $A$ .

Приведем пример расчета осевых размеров при фрезеровании паза и двух бобышек рычага одной дисковой трехсторонней фрезой 2 и двумя двухсторонними фрезами 1 и 3 (рис. 5.14, б).

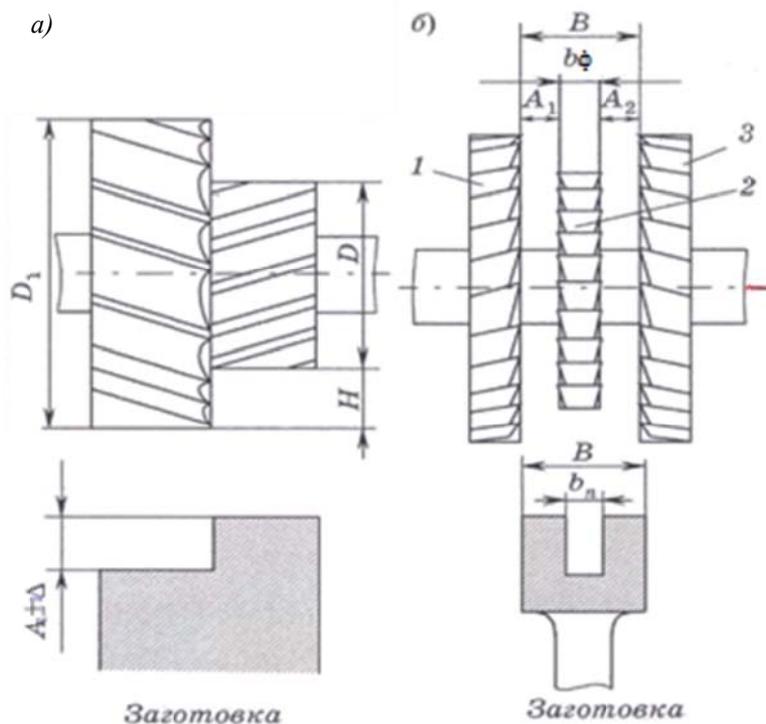


Рис. 5.14. Примеры наборов фрез с указанием рассчитываемых размеров: а – фрезерование уступа; б – фрезерование паза

Для определения расстояния между фрезами, по которым нужно подбирать установочные кольца, надо знать  $b_\phi$  – ширину дисковой фрезы 2 и расстояние между фрезами 1 и 3. Размеры фрезы 2 рассчитывают в зависимости от наибольшей и наименьшей ширины паза:

$$b_{\text{ф.нб}} = b_{\text{п.нм}} + \delta b_n - (\Delta_\delta + \Delta_\phi);$$

$$b_{\text{ф.нм}} = b_{\text{п.нм}} + \delta b_n - (\Delta_\delta + \Delta_\phi) - \delta b_\phi,$$

где  $b_{\text{ф.нб}}$  и  $b_{\text{ф.нм}}$  – наибольшая и наименьшая ширина фрезы;  $b_{\text{п.нм}}$  – наименьшая ширина паза по чертежу детали;  $\delta b_n$  – допускаемое отклонение на ширину паза по чертежу;  $\Delta_\delta$  – величина торцевого биения фрезы;  $\Delta_\phi$  – погрешность обработки («разбивание» паза);  $\delta b_\phi$  – допустимое отклонение на изготовление фрезы (по ширине).

Величину разбивания паза  $\Delta_\phi$  в зависимости от биения торца фрезы  $\Delta_\delta$  можно принять согласно табл. 5.10.

Таблица 5.10

Зависимость разбивания паза от биения торца фрезы

$D$ , мм	$\Delta_\delta$ , мм	$\Delta_\phi$ , мм
До 50	0,03	0,06
50 – 125	0,05	0,09
Свыше 125	0,08	0,12

Значения торцевого биения зависят от диаметра фрез. Для дисковых трехсторонних фрез можно пользоваться данными, которые отражают зависимость биения от диаметра фрезы. Допустимые отклонения  $\delta b$  на изготовление фрезы даны в табл. 5.11.

Таблица 5.11

Допустимые отклонения  $\delta b$ ,  
в зависимости от допуска на ширину паза, мм

$b_{\text{п.нм}}$	$\delta b_{\text{п}}$	$\delta b_{\text{ф}}$	$b_{\text{п.нм}}$	$\delta b_{\text{п}}$	$\delta b_{\text{ф}}$
3 – 6	+0,08	-0,02	11 – 18	+0,12	0,03
	+0,16	-0,03		+0,24	0,05
	+0,3	-0,1		+0,3	-0,1
7 – 10	+0,1	-0,03	19 – 30	+0,14	-0,04
	+0,2	-0,04		+0,28	-0,06
	+0,3	-0,1		0,3	-0,1

Расстояние между фрезами в первую очередь зависит от размера  $B$  детали (см. рис. 5.14, б). На этот размер влияют также погрешность обработки (разбивание)  $\Delta_\phi$ ; биение торцевых зубьев фрезы  $\Delta_\delta$ ; износ фрез  $\Delta_{\text{и}}$ ; погрешность установки фрез  $\Delta_{\text{уст}}$ . Допуск на размер  $B$

$$\delta B = 2\Delta_\phi + 2\Delta_\delta + 2\Delta_{\text{и}} + 2\Delta_{\text{уст}}.$$

Исходя из этого можно определить допуск на износ торцевых зубьев фрез

$$\Delta_{\text{и}} = 0,5(\delta B - \Delta_{\text{уст}}) - (\Delta_{\phi} + \Delta_{\delta}).$$

Величину  $\Delta_{\text{уст}}$ , как правило, принимают на основе статистических данных.

Установочный размер  $B'$  определяется по формулам:

$$B'_{\text{нб}} = B_{\text{нм}} + \delta B - 2(\Delta_{\phi} + \Delta_{\delta} - \Delta_{\text{и}});$$

$$B'_{\text{нм}} = B_{\text{нм}} + \delta B - 2(\Delta_{\phi} + \Delta_{\delta} - \Delta_{\text{и}}) - \Delta_{\text{уст}}.$$

Для подбора установочных колец (при симметричной установке фрез  $A_1 = A_2 = A$ ) находим

$$A_{\text{нб}} = 0,5(B'_{\text{нб}} - b_{\text{ф.нм}});$$

$$A_{\text{нм}} = 0,5(B'_{\text{нм}} - b_{\text{ф.нб}}).$$

Установочные кольца бывают в четырех исполнениях (1, 2, 3, 4). Для быстрого составления комплекта колец требуемого размера комплектовку, как правило, начинают с тонких колец, которые содержат сотые и десятые доли миллиметра. Их подбирают таким образом, чтобы остаток составлял целое число миллиметров. Затем берут кольцо наибольшей ширины, после чего – еще одно кольцо, дополняющее набор до заданной суммы.

Некоторое распространение получили регулируемые распорные кольца, позволяющие точно установить фрезы набора (рис. 5.15). В этом случае сначала набирают несколько нормальных установочных колец на длину, несколько меньшую разности заданного расстояния между фрезами и минимальной ширины регулируемого кольца (муфты), после чего с помощью муфты регулируют расстояние между фрезами на заданный размер.

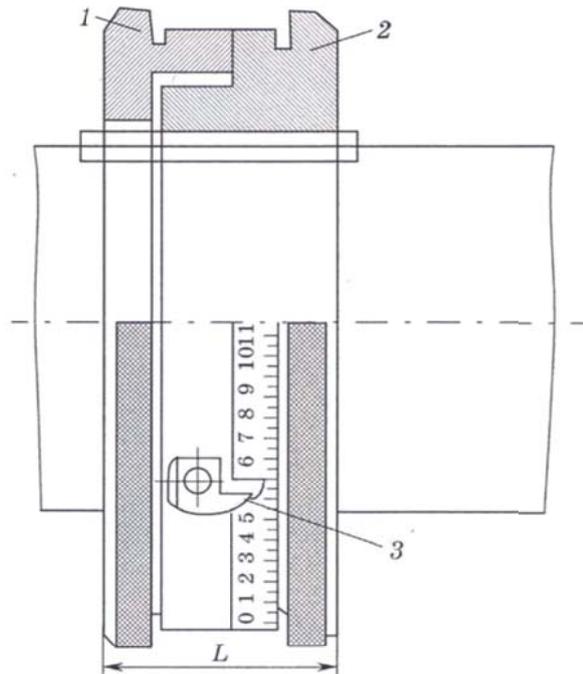


Рис. 5.15. Регулируемое распорное кольцо:  
1 – гайка; 2 – основание кольца с делениями; 3 – указатель отсчета

## Глава 6

### РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ФАСОННЫХ ФРЕЗ

#### 6.1. Особенности конструкции фасонных фрез

**Фасонные фрезы** применяются для обработки сложных сопрягаемых наружных поверхностей. Наилучшим образом преимущества фасонных фрез сказываются при обработке изделий с большим отношением длины к ширине фрезеруемых поверхностей.

Фасонные фрезы по методу образования задней поверхности в основном являются затылованными. Фрезы с затылованными зубьями обеспечивают неизменный и идентичный профиль обрабатываемой детали в течение всего периода эксплуатации. Фрезы затачивают по передней поверхности. Пространство для размещения стружки по мере переточки увеличивается для затылованных фрез (рис. 6.1, а), уменьшается для фрез с остроконечными зубьями (рис. 6.1, б).

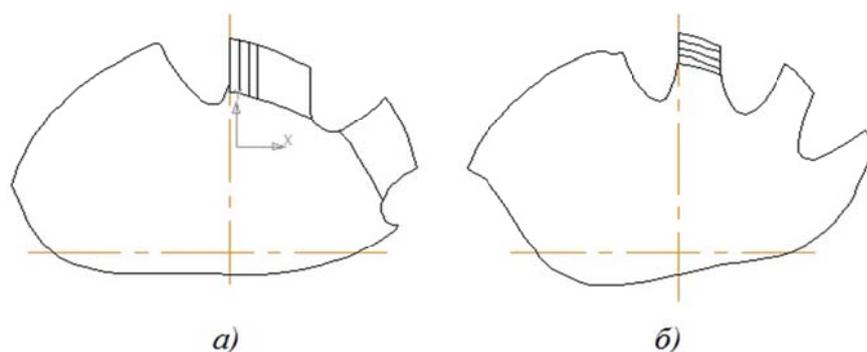


Рис. 6.1. Форма зубьев и заточка фрез:  
а – затылованных; б – острозаточенных

В качестве кривой для затылования зуба в большинстве случаев принимается *спираль Архимеда* (рис. 6.2, а).

Уравнение спирали Архимеда в полярной системе координат имеет вид

$$\rho = b\theta,$$

где  $\rho$  и  $\theta$  – соответственно радиус-вектор и полярный угол в радианах рассматриваемой точки спирали;  $b$  – постоянный коэффициент пропорциональности, характеризующий размеры спирали. При угле

$\theta = 2\pi$  радиус-вектор  $\rho = a$ , тогда  $b = \frac{b}{2\pi}$  и уравнение спирали будет иметь вид

$$\rho = \frac{a}{2\pi} \theta.$$

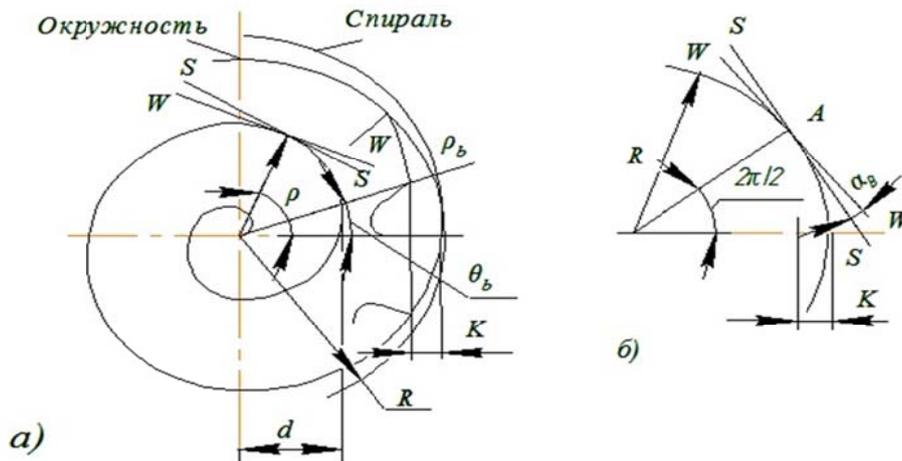


Рис. 6.2. Затылование зубьев по спирали Архимеда

Применительно к зубу фрезы уравнение спирали Архимеда по вершине имеет вид

$$\rho_b = R - \frac{a}{2\pi} \theta,$$

где  $R$  – наружный радиус фрезы.

Задний угол  $\alpha$  между касательной к спирали  $S - S$  и касательной к окружности  $W - W$ , проведенными в точке  $A$  (рис. 6.2, б), будет равен

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d\rho}{\rho d\theta}, \quad \frac{d\rho}{d\theta} = \frac{\alpha}{2\pi}, \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{\alpha}{2\pi\rho} = \frac{1}{\theta}$$

или  $\operatorname{ctg} \alpha = \theta$ .

Угол  $\alpha$  получен с использованием формулы из дифференциальной геометрии.

Подъем спирали  $K = a/z$ , где  $K$  – подъем спирали, соответствующий шагу зубьев;  $z$  – число зубьев фрезы.

Следовательно,

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{Kz}{2\pi\rho}$$

Полагая  $\rho = R$ , находим зависимость между задним углом на вершине зуба  $\alpha_b$ , радиусом  $R$ , числом зубьев  $z$  и величиной затылования фрезы:

$$\operatorname{tg} \alpha_b = \frac{Kz}{2\pi R}$$

Тогда величина затылования будет равна

$$E = \frac{\pi D}{z} \operatorname{tg} \alpha_b,$$

где  $D$  – диаметр фрезы.

Эту величину можно выбирать из табл. 6.1.

На рис. 6.3 показана принципиальная схема взаимного расположения фрезы и кулачка при затыловании. В начальный момент расстояние между осями фрезы и кулачка

$$L = R + l + r_k + \Delta,$$

где  $l$  – длина затыловочного резца;  $r_k$  – наименьший радиус кулачка;  $\Delta$  – величина отхода резца от фрезы.

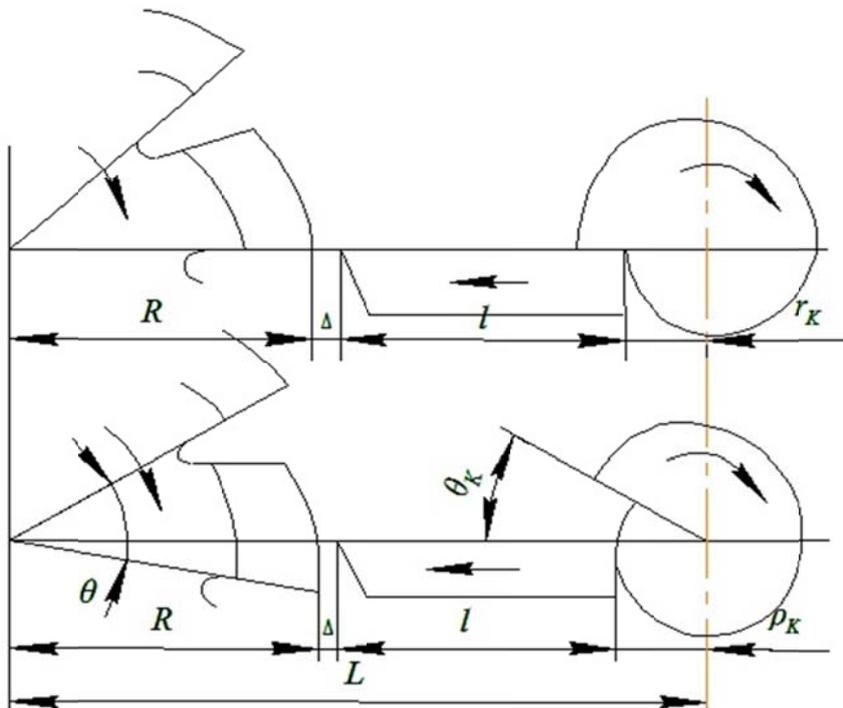


Рис. 6.3. Зависимость между величиной затылования зуба фрезы и величиной спада кулачка

D, мм	Для фрез с числом зубьев z														
	6	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24	26			
35	3,0	2,5	2,0	1,5	1,5	1,5	1,0								
40	3,5	2,5	2,5	2,0	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0						
45	4,0	3,0	2,5	2,5	2,0	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0					
50	4,5	3,5	3,0	2,5	2,0	2,0	1,5	1,5	1,0	1,0					
55	5,0	3,5	3,5	3,0	2,5	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0			
60	5,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5			
65	6,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5			
70	6,5	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5			
75	6,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5			
80	7,0	5,5	5,0	4,5	3,5	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5			
85	7,5	5,5	5,0	4,5	4,0	3,0	3,0	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5			
90	8,0	6,0	5,5	5,0	4,0	3,6	3,0	3,0	2,5	2,0	2,0	2,0			
95	8,5	6,5	5,5	5,0	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0			
100	9,0	6,5	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0			
110	9,0	6,5	6,0	5,5	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0			
120	11,0	8,0	7,0	6,5	5,5	4,5	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,5			
130	—	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5			
140	—	9,5	8,5	7,5	6,5	5,5	4,5	4,0	3,5	3,5	3,0	3,0			
150	—	10	9,0	8,0	6,5	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,5	3,5			

При повороте фрезы на некоторый угол  $\theta$ , соответствующий углу поворота кулачка  $\theta_k$ , расстояние  $L$  определяется по формуле

$$L = \rho_b + l + \rho_k + \Delta,$$

где  $\rho_b$  – радиус-вектор точки касания наружной кривой затылования по вершине резца;  $\rho_k$  – радиус-вектор точки касания кулачка и резца.

Приравняв оба выражения, получим:

$$\rho_b = R + r - \rho_k.$$

При повороте фрезы на шаг  $\theta = \frac{2\pi}{z}$  кулачок поворачивается на угол  $\theta_k = 2\pi$ . Разделив одно на другое, получим:

$$\frac{\theta}{\theta_k} = \frac{1}{z},$$

откуда  $\theta = \frac{\theta_k}{z}$ , что после замены  $\rho_b$  и  $\theta$  дает уравнение кулачка

$$\rho_b = r + \frac{\alpha}{2\pi z} \theta_k.$$

Из формулы видно, что данное уравнение является также уравнением спирали Архимеда.

Подставляя  $a = kz$ , получаем:

$$\rho_k = r + \frac{k}{2\pi z} \theta_k. \quad (6.1)$$

Формула (6.1) позволяет сделать вывод, что для кулачка, предназначенного для затылования по спирали Архимеда, величина спада за один оборот равна величине затылования. Таким образом, в противоположность другим кривым затылования (например логарифмическая прямая) размеры кулачка для спирали Архимеда не зависят от диаметра фрезы и определяются только величиной затылования.

#### **Определение задних углов для различных точек фрезы**

Пользуясь уравнением для заднего угла  $\text{ctg } \alpha = \theta$ , можно определить значение заднего угла  $\alpha_2$  для точки 2 ( $\rho_2, \theta_2$ ), если известен задний угол  $\alpha_1$  для другой точки 1 ( $\rho_1, \theta_1$ ) (рис. 6.4, а). Эти углы рассматриваются в плоскости, перпендикулярной к оси отверствия фрезы:

$$\text{ctg } \alpha_1 = \theta_1 \text{ и } \text{ctg } \alpha_2 = \theta_2.$$

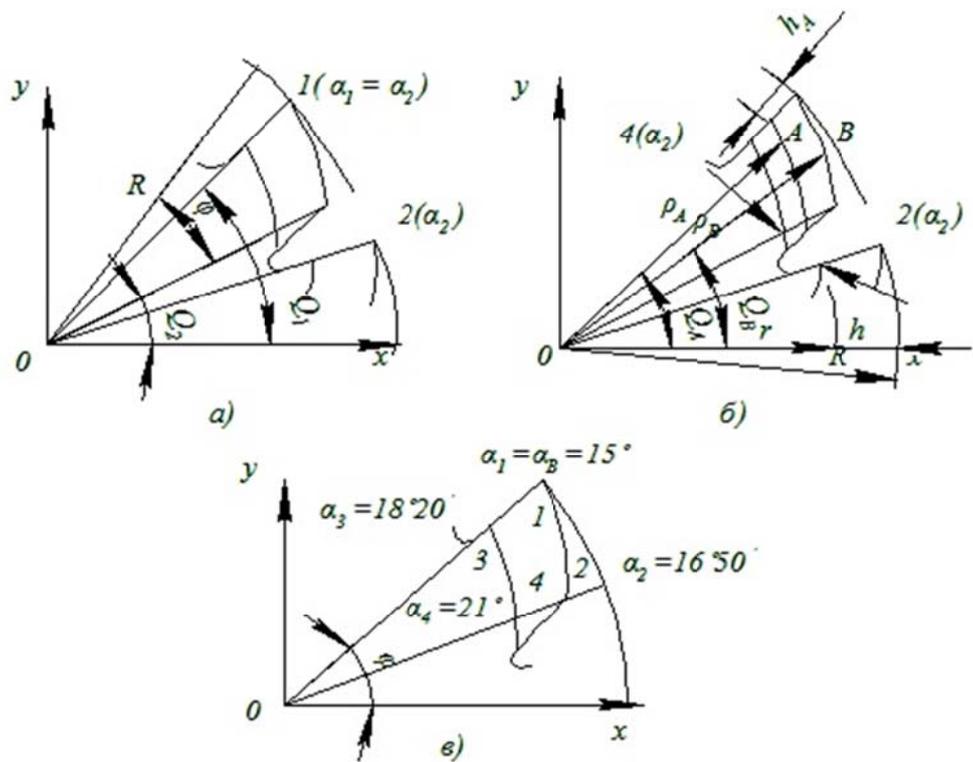


Рис. 6.4. Определение задних углов в различных точках зуба фрезы

Вычитая почленно, имеем:

$$\operatorname{ctg} \alpha_1 - \operatorname{ctg} \alpha_2 = \theta_1 - \theta_2 = \varphi,$$

откуда

$$\operatorname{ctg} \alpha_2 = \operatorname{ctg} (\alpha_1 - \varphi),$$

где  $\varphi = \theta_1 - \theta_2$  — есть угол поворота радиуса-вектора при переходе из одного положения в другое.

Предположим, что задан задний угол на вершине зуба  $\alpha_B = \alpha_1 = 15^\circ$ , тогда задний угол  $\alpha_2$  у конца спинки, считая ширину зуба равной  $2/3$  окружного шага зубьев и число зубьев  $z = 10$ , определится таким образом:

$$\varphi = \frac{2\pi}{z} \cdot \frac{2}{3} = 0,42;$$

$$\operatorname{ctg} \alpha_2 = \operatorname{ctg} \alpha_1 - \varphi = 3,73 - 0,42 = 3,31,$$

откуда  $\alpha_2 = 16^\circ 50'$ .

Высота профиля зуба фрезы должна оставаться неизменной после каждой переточки. Поэтому все кривые затылования, проведенные через другие точки, лежащие между вершиной и впадиной, должны быть расположены во всех радиальных сечениях на одинаковом расстоянии от кривой по вершине зуба (рис. 6.4, б). Эти кривые являются конхоидами спирали Архимеда.

Уравнение спирали Архимеда по вершине зуба фрезы имеет вид

$$\rho_a = R - \frac{a}{2\pi} \theta_a.$$

Для любой точки кривой (с радиусом-вектором  $\rho_k$ ), отстоящей от кривой по вершине зуба на расстоянии  $h_k$ , уравнение может быть записано следующим образом:

$$\rho_k = \rho_a - h_k = R - \frac{a}{2\pi} \theta_a - h_k.$$

Для кривой у дна впадины

$$\rho_k = \rho_a - h$$

или

$$\rho_a = R - \frac{a}{2\pi} \theta_a - h = r - \frac{a}{2\pi} \theta_a.$$

Радиус  $r = R - h$  есть радиус окружности, проходящей через заданную точку  $3$  у дна впадин, отстоящую от вершины зуба на расстоянии  $h$ .

Задний угол  $\alpha_A$  для любой точки  $A$  определяется аналогичным образом, как и задний угол  $\alpha_B$  на вершине зуба, а именно (рис. 6.4, в):

$$\operatorname{tg} \alpha_a = \frac{d\rho_a}{\rho_a d\theta};$$

$$\operatorname{tg} \alpha_A = \frac{d\rho_A}{\rho_A d\theta_A} = \frac{d(\rho_a - h_A)}{(\rho_a - h_A) d\theta_A}.$$

Делим одно выражение на другое и получаем

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha_A}{\operatorname{tg} \alpha_a} = \frac{\rho_a}{\rho_A} = \frac{\rho_a}{\rho_a - h_A},$$

откуда

$$\operatorname{tg} \alpha_A = \frac{\rho_a}{\rho_a - h_A} \operatorname{tg} \alpha_a.$$

Предположим, что задний угол на вершине зуба  $\alpha_B = 15^\circ$ , число зубьев  $z = 10$ , высота профиля  $h = 7$  мм, радиус фрезы  $R = 35$  мм; тогда задний угол  $\alpha_3$  для точки 3, лежащей на кривой у дна впадины на расстоянии  $R - h - r$ , будет равен

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = \frac{R}{r} \operatorname{tg} \alpha_B = \frac{35}{28} \operatorname{tg} 15^\circ = 0,334,$$

откуда  $\alpha_3 = 18^\circ 20'$ .

Задний угол  $\alpha_4$  для точки пересечения 4 радиальной прямой, проходящей через последнюю точку спинки зуба, и нижней кривой затылования определяется по одной из следующих формул:

$$\operatorname{tg} \alpha_4 = \operatorname{tg} \alpha_2 \frac{R}{r} \quad \text{или} \quad \operatorname{ctg} \alpha_4 = \operatorname{ctg} \alpha_3 - \varphi,$$

что при тех же данных дает  $\alpha_4 = 21^\circ$ .

На рис. 6.4, в показаны значения задних углов  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  в соответствующих предельных точках зуба фрезы. Наименьшее значение имеет угол  $\alpha_1$ , относящийся к вершине зуба, тогда как задние углы для всех других точек будут иметь повышенные значения, что является положительным фактором (см. рис. 6.4, в). Из этого следует, что спираль Архимеда как кривая затылования обеспечивает вполне благоприятные задние углы для всех точек профиля зуба.

До сих пор мы рассматривали задние углы в плоскости  $P - P$ , перпендикулярной к оси фрезы (рис. 6.5, а).

Как известно, в общем виде задний угол в измеряемой плоскости заключается между плоскостью, касательной к затылованной поверхности зуба, и плоскостью, касательной к поверхности, образованной при вращении режущей кромки (например вершины зуба). Обе плоскости являются касательными, проведенными к одной и той же точке, через которую можно провести бесконечное количество измеряемых плоскостей. Однако нас интересуют только три плоскости измерения (см. рис. 6.5, а): 1)  $P - P$  – плоскость, перпендикулярная к оси отверстия фрезы; 2)  $O - O$  – плоскость, параллельная оси отверстия; 3)  $N - N$  – плоскость, перпендикулярная к проекции боковой режущей кромки на плоскость, перпендикулярную к передней поверхности (на рис. 6.5, а плоскость чертежа).

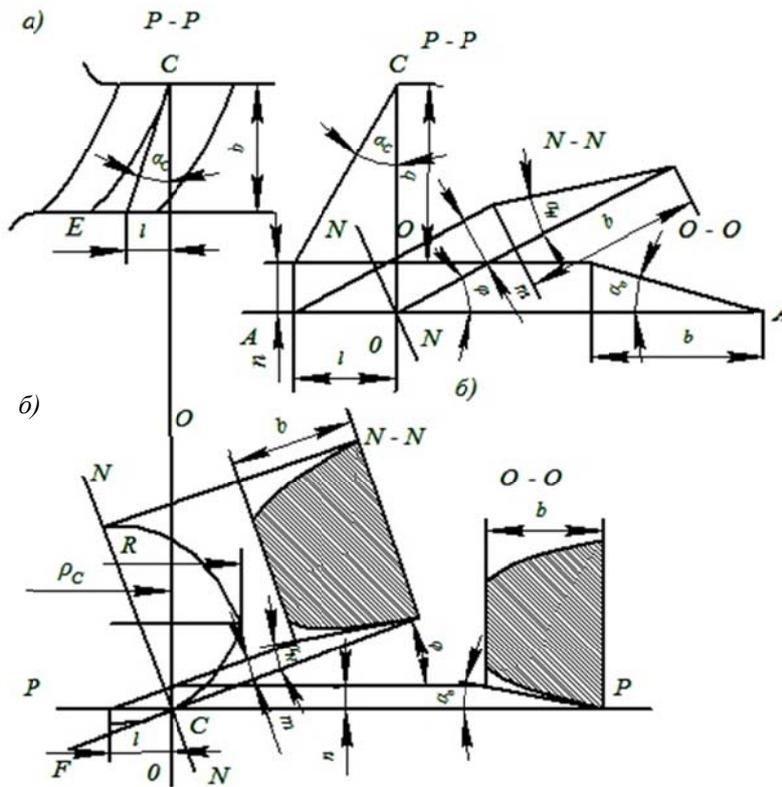


Рис. 6.5. Определение задних углов в различных секущих плоскостях для произвольной точки зуба фрезы

Касательная плоскость к затылованной поверхности может быть задана двумя касательными к одной и той же точке  $C$  прямыми, расположенными в этой плоскости. Одна из них – прямая  $CE$ , касательная к спирали Архимеда, другая  $CF$  – касательная к кривой профиля зуба.

Касательная плоскость к поверхности цилиндра может быть задана также двумя касательными к той же точке  $C$  прямыми, расположенными в этой плоскости. Одна из них прямая  $CN$ , перпендикулярная к радиусу-вектору (например  $\rho_c$  – для точки  $C$ ), другая  $CF$  касательная к кривой профиля зуба.

Обозначим задние углы в измеряемых плоскостях: в плоскости  $P - P$ ,  $\alpha_0$  – в плоскости  $O - O$  и  $\alpha_N$  в плоскости  $N - N$  и, кроме того, через  $\alpha_B$  – угол на вершине.

Ранее была выведена формула

$$\operatorname{tg} \alpha_c = \frac{R}{\rho_c} \operatorname{tg} \alpha_a.$$

Угол  $\alpha_c$  (рис. 6.5, б) определяется следующим образом:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{n}{b};$$

$$n = l \operatorname{tg} \varphi;$$

$$b = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha_c}.$$

После подстановки имеем

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \operatorname{tg} \alpha_c \operatorname{tg} \varphi = \frac{R}{\rho_c} \operatorname{tg} \alpha_a \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $\varphi$  – угол, заключенный между касательной к профилю и осью профиля (т.е. прямой, перпендикулярной к оси фрезы). Угол  $\alpha_N$  определяется следующим образом:

$$\operatorname{tg} \alpha_N = \frac{m}{b};$$

$$b = \frac{l}{\operatorname{tg} \alpha_c};$$

$$m = l \sin \varphi.$$

После подстановки получаем

$$\operatorname{tg} \alpha_N = \operatorname{tg} \alpha_c \sin \varphi = \frac{R}{\rho_c} \operatorname{tg} \alpha_a \sin \varphi. \quad (6.2)$$

Из выражения (6.2) видно, что угол  $\alpha_N$  является минимальным по своей величине по сравнению с задним углом в других сечениях. Разница между  $\alpha_0$  и  $\alpha_N$  практически мала и для максимального значения  $\alpha_B = 15^\circ$  имеем  $\alpha_N = 0,97\alpha_0$ . Тем не менее при расчете угла  $\alpha_B$  пользуются величиной  $\alpha_N$ .

С уменьшением угла  $\varphi$  угол  $\alpha_N$  становится меньше и на участках режущих кромок с  $\varphi = 0$  задний угол  $\alpha_N$  получается равным нулю. При расчете обычно задаемся минимально допустимым задним углом  $\alpha_N$  на боковых кромках в пределах  $2 - 3^\circ$  и только в исключительных случаях его можно снизить до  $1 - 1,5^\circ$ .

Затем аналитическим путем или графически определяем угол  $\varphi$  для самой неблагоприятной точки боковой кромки, т.е. минимальное его значение. Если оно оказывается меньше  $5^\circ$ , то необходимо принять меры к его повышению какими-либо искусственными методами.

Например, для дисковых зуборезных фрез проводится прямая под углом  $5^\circ$  (срезающая часть эвольвенты), для фрез с полукруглыми выпуклыми и вогнутыми профилями предусмотрены скосы под углом  $10^\circ$  (рис. 6.6) и т. д.

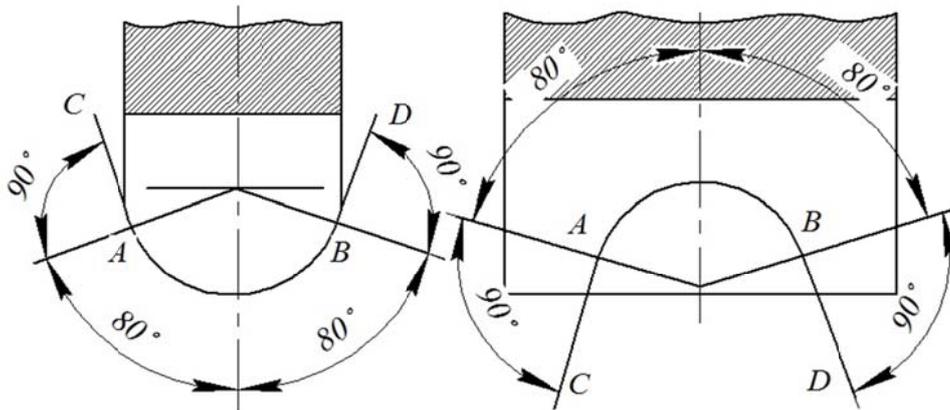


Рис. 6.6. Полукруглые профили зубьев

Зная  $\varphi$  и  $\alpha_N$ , находим задний угол  $\alpha_B$  на вершине зуба фрезы согласно формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_B = \frac{\rho \operatorname{tg} \alpha_N}{R \sin \varphi}.$$

После этого определяем величину затылования и подбираем из ряда размеров кулачков наиболее подходящий при соответствующем округлении величины его спада.

На практике применяют задний угол на вершине зуба в пределах  $8 - 15^\circ$ , чаще всего  $\alpha_B = 10 - 12^\circ$ . Выбор меньшего угла на вершине зуба вызывает резкое уменьшение заднего угла на боковой кромке. Выбор угла  $\alpha_B$  свыше  $15 - 17^\circ$  вызывает из-за большой величины затылования ослабление тела фрезы. Из-за этого при термической обработке фреза может получить трещину от дна впадины до шпоночной канавки.

## 6.2. Угловое затылование фасонных фрез

На практике часто приходится иметь дело с фрезами, профиль которых обладает участками с углом  $\varphi = 0$ , а следовательно, и углом

$\alpha_N = 0$ . Если конфигурация профиля не дает возможности искусственным путем повысить угол  $\varphi$ , тогда целесообразно применить для таких фрез **угловое затылование** под некоторым углом  $\tau$  к прямой, перпендикулярной оси фрезы (рис. 6.7).

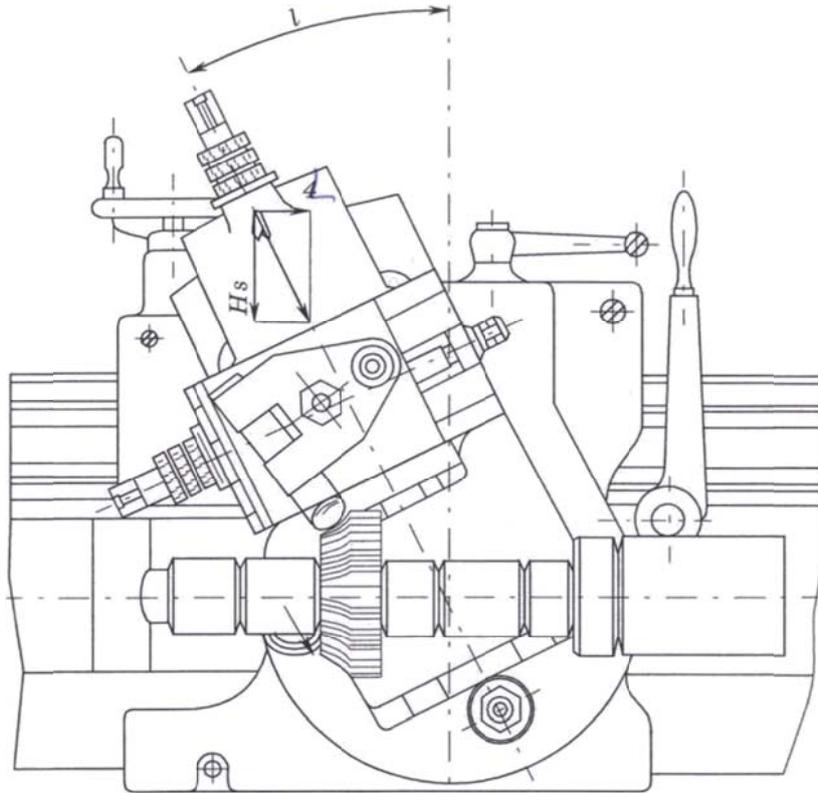


Рис. 6.7. Расположение суппорта при угловом затыловании фрезы

Перемещение резца под углом обеспечивается поворотом суппорта. Некоторые виды профилей приходится обрабатывать при помощи углового затылования (рис. 6.8). Оно может осуществляться различными методами:

- а) в несколько переходов отдельно для правых и левых боковых участков профиля (рис. 6.8, а);
- б) в одну операцию одновременно;
- в) отдельно боковые и цилиндрические зубья (рис. 6.8, б).

Выбор того или иного метода для конкретного случая зависит в основном от формы профиля. Она влияет на величину задних углов на вершине  $\alpha_B$  и на боковых режущих кромках  $\alpha_N$  (см. рис. 6.5), а также на связанные с ними величины затылования в заданном и требуемом (угловом) направлениях.

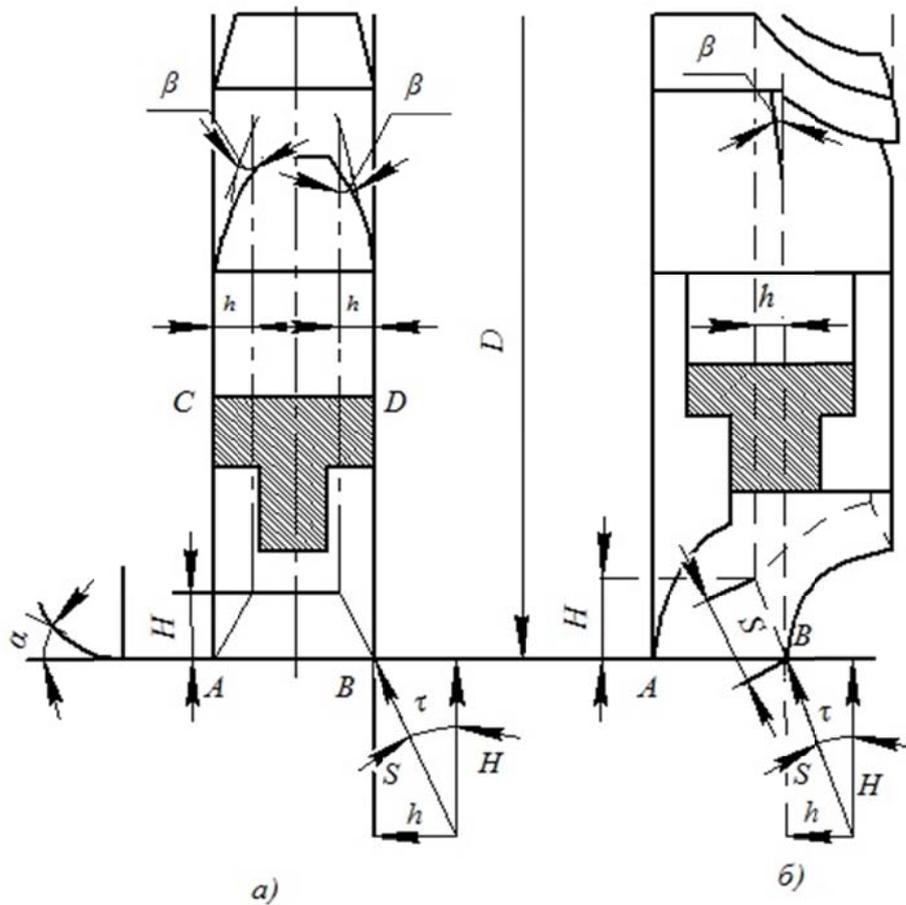


Рис. 6.8. Профили, требующие углового затылования:  
 а – прямой; б – сферический

Рассмотрим на примере расчет данных для углового затылования.

На рис. 6.9, а приведен профиль фрезы, характеризуемый углом  $\varphi^1$ . Пунктирными линиями показан совмещенный профиль второго зуба. Величина затылования  $s$ , соответствующая затылованию под углом  $\tau$ , определяется из косоугольного треугольника ABC по формуле

$$S = \frac{k \sin \varphi}{\sin(\varphi + \tau)}, \quad (6.3)$$

где  $k$  – величина затылования в плоскости, перпендикулярной оси фрезы;

$$k = \frac{\pi D}{z} \operatorname{tg} \alpha.$$

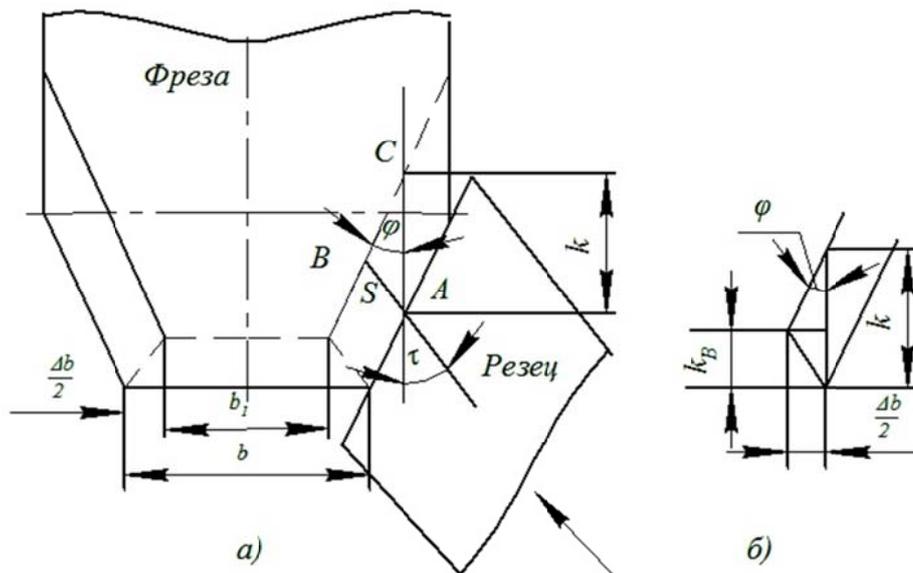


Рис. 6.9. Расчет данных при угловом затыловании

В формуле (6.3) два неизвестных  $s$  и  $\tau$ . Обычно задают угол  $\tau$  в пределах  $3 - 6^\circ$  и определяют  $s$ . Если величина  $s$  получилась незначительной, то следует уменьшить угол  $\tau$ . При проектировании необходимо выбирать угол  $\tau$  как можно меньше, а величину затылования  $s$  как можно больше. Если профиль фрезы очерчен по кривой, то угол  $\varphi$  необходимо брать для самой неблагоприятной точки, т. е. там, где он имеет минимальную величину.

Предположим, дан профиль фрезы, зубья которой необходимо затыловать одновременно при помощи одного кулачка как по периферии, так и с торца. Заданы следующие данные: величины затылования для цилиндрических зубьев  $k$  и для торцевых  $h$ .

Тогда угол наклона суппорта и величина затылования определяются по формулам

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{h}{k'}$$

$$s = \frac{k}{2bs \tau}$$

или

$$s = \frac{h}{2bs \tau}$$

Величина  $s$  подлежит округлению до ближайшего числа ряда размеров кулачков.

Необходимо отметить, что угловое затылование вызывает изменение ширины профиля при переточках фрезы. Это изменение зависит от формы профиля. Например, если затылование фрезы с симметричным профилем осуществляется тремя резцами (рис. 6.9, б), то величина сужения профиля у вершины при переточке зуба на половину окружного шага определяется таким образом:

$$\frac{\Delta b}{2} = (k - k_b) \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $\Delta b$  – величина сужения;  $k$  – величина затылования в плоскости, перпендикулярной к оси зуба фрезы;  $k_b$  – величина затылования у вершины зуба.

Величина  $k$  может быть определена из формулы (6.3)

$$k = \frac{s \sin(\varphi + \tau)}{\sin \varphi}.$$

После подстановки

$$\frac{\Delta b}{2} = \frac{s \sin(\varphi + \tau)}{\sin \varphi} - k_b \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $s$  и  $\tau$  – величина затылования и угол поворота суппорта при угловом затыловании. Тогда ширина зуба

$$b_1 = b - \Delta b.$$

Угловое затылование применяют в основном для фрез, предназначенных для предварительной обработки. Для чистовых фрез оно рекомендуется в том случае, если они сделаны разъемными. Это позволяет путем постановки прокладок компенсировать уменьшение ширины профиля. Толщина прокладок также меняется при переточках фрезы.

### ***Конструктивные элементы затылованных фрез***

При проектировании затылованных фрез необходимо рассматривать наружный диаметр, диаметр отверстия, длину фрезы, число зубьев, угол и форму впадины (рис. 6.10).

Наружный диаметр при заданной высоте профиля  $h$  определяется по формуле

$$D = (2 \dots 2,2) d_0 + 2,2 h + (2 \dots 6),$$

где  $d_0$  – диаметр посадочного отверстия, мм;  $h$  – высота профиля, мм (рис. 6.10, а).

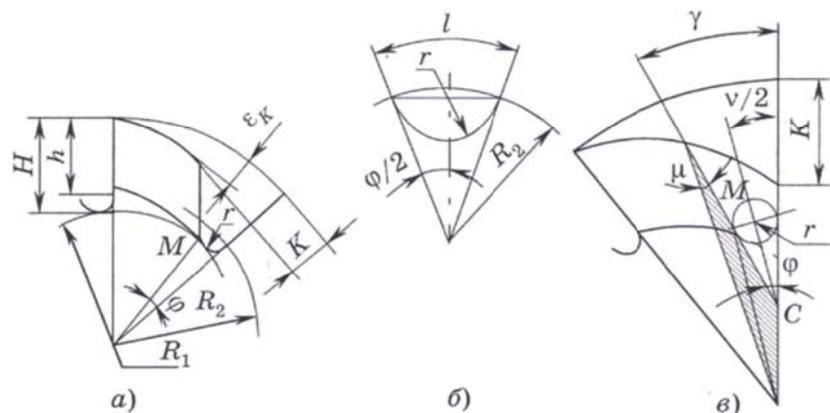


Рис. 6.10. Схема определения конструктивных элементов зубьев затылованной фрезы

Меньшие значения коэффициентов при  $d_0$  принимаются для фрез больших диаметров. Полная высота зуба определяется из формулы

$$H = h + r + k.$$

При этом проверяют толщину ступицы фрезы, которая должна соответствовать

$$\alpha = \frac{D - d_0 2H}{2}.$$

Для предварительных расчетов наружный диаметр фрез можно выбирать из табл. 6.2.

Таблица 6.2

Наружный диаметр  $D$  фрез с затылованной формой зубьев

$D$ , мм	Для высоты профиля $h$ , мм														
	5	6	8	10	12	15	18	20	22	25	28	30	32	35	40
13	45	45	50	55											
16	50	50	55	60	65	70									
22	–	–	65	70	75	85	90	95							
27	–	–	75	80	90	95	100	105	110	115					
32	–	–	–	90	95	105	115	120	125	130	135	140	–	–	–
40	–	–	–	105	110	120	125	130	135	140	150	155	160	165	170

Номенклатура диаметров затылованных фрез шире, чем остроконечных. Согласно стандартам, затылованные насадные фрезы изготавливают диаметром 40 – 120 мм через каждые 5 мм и до 230 мм с различными интервалами (10 – 15 мм).

Диаметр отверстия выбирается на основании расчета оправки на прочность и виброустойчивость и зависит в основном от высоты профиля  $h$ , а также от ширины фрезерования  $B$ .

Для обычных условий профильного фрезерования можно использовать данные табл. 6.3.

Таблица 6.3

Диаметры отверстий под оправку  $d_0$   
фрез с затылованной формой зубьев

Ширина фрезерования $B$ , мм	$d_0$ для условий работы	
	обычных	тяжелых
До 6	13	13
6 – 12	16	22
12 – 25	22	27
25 – 40	27	32
40 – 60	32	40
60 – 100	40	50

Радиус скругления дна впадины играет большую роль как для прочности зуба, так и для изготовления фрезы (см. рис. 6.10, б)

Скругление дна впадины (см. рис. 6.10, в) выполняется от последней точки  $M$  затылования. Центр скругления должен лежать посередине дуги  $l$  или хорды, стягивающей центральный угол  $\varphi$ .

Радиус  $r$  определяется по следующим формулам:

$$r = R_2 \sin \frac{\varphi}{2} \text{ (по хорде),}$$

$$r = \frac{1}{2} = 0,017 \frac{R_2 \varphi}{2} \text{ (по дуге),}$$

где  $\varphi$  – центральный угол.

Меньшие значения коэффициентов при  $d_0$  принимаются для фрез больших диаметров. Полная высота зуба определяется из формулы

$$H = h + r + k.$$

При этом проверяют толщину ступицы фрезы, которая должна соответствовать

$$\alpha = \frac{D - d_0 2H}{2}$$

Для предварительных расчетов наружный диаметр фрез можно выбирать из табл. 6.2, из которой видно, что высота профиля  $h$  выросла в 16 раз, высота зуба  $H$  – в 5,9 раза, тогда как диаметр фрезы – в 3,4 раза. Если сохранить для диаметра повышение в 5,9 раза, то он будет равен 300 мм. Этот диаметр очень велик для обычных горизонтально-фрезерных станков, и поэтому необходимо принимать меньший диаметр фрезы, а следовательно, и меньшее число зубьев.

При выборе числа зубьев можно пользоваться ориентировочными данными для фрез с нешлифованным профилем (табл. 6.4).

Таблица 6.4

Число зубьев фрез с нешлифованным профилем

Число зубьев, $z$	18	16	14	12	11	10	9	8
Диаметр фрезы $D$ , мм	40	40 – 45	50 – 55	60 – 75	80 – 105	110 – 125	130 – 140	150 – 230

**Угол впадины между зубьями.** Согласно рис. 6.11 угол впадины  $\vartheta$  определяется по формуле

$$\vartheta = \mu + \varphi.$$

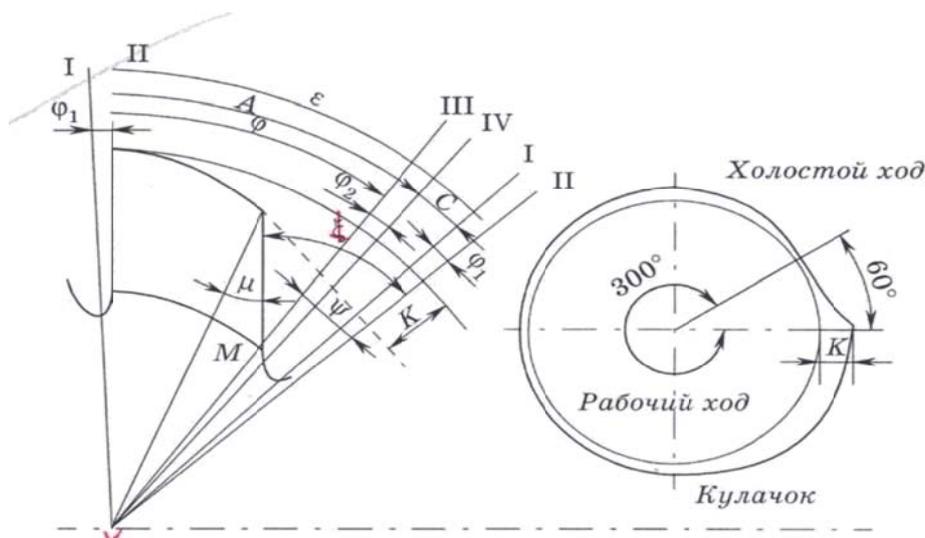


Рис. 6.11. Зависимость между параметрами зуба фрезы и кулачком для затылования

В целях обеспечения достаточной прочности сточенного зуба сторона впадины у спинки зуба должна быть наклонена под углом  $I$  к радиальной прямой, проходящей через последнюю точку на вершине зуба. Угол  $\mu$  принимается равным  $15 - 20^\circ$ . Это утолщение у основания полностью сточенного зуба предохраняет его от поломки в том месте, где в процессе фрезерования действует наибольший изгибающий момент.

При  $\mu = 0$  толщина зуба у периферии получается излишне массивной, что может вызвать деформации при термической обработке и трудности при затыловании и шлифовании (из-за седловины).

Выбор угла  $\varphi$  обусловлен соотношением между углами фрезы и кулачка для затылования (см. рис. 6.11).

Во избежание смятия вершины зуба при входе резца и образования неснятого усика из-за преждевременного выхода резца из соприкосновения с поверхностью фрезы необходимо предусмотреть дополнительные углы  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  на перебеги резца. Таким образом, начало рабочего хода резца совпадает с линией  $0 - I$ , а конец – с линией  $0 - IV$ , отстоящей на угол  $\varphi_2$  от линии  $0 - III$ , проведенной через последнюю точку  $M$  нижней кривой затылования. Углы  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  берутся небольшими, и сумма их ( $B = \varphi_1 + \varphi_2$ ) не должна превышать  $1,5 - 2^\circ$ . Угол  $A$ , равный  $\varphi + B$ , соответствует рабочему ходу резца, а угол  $C$  – холостому ходу резца. Отношение  $A/C$  зависит от формы кулачка. В практике встречаются кулачки  $60$  и  $90^\circ$ , т. е.  $\frac{A+N}{N} = 6$  или  $4$ .

Кулачки  $90^\circ$  применяются для фрез, для которых требуется увеличенная ширина впадины (например для некоторых фрез со шлифованным профилем с целью обеспечения свободного выхода круга или для фрез, образующих при резании большое количество стружки). Кулачки  $60^\circ$  получили преобладающее распространение на практике и применяются для фрез с обычной формой впадины.

При затыловании каждому обороту кулачка соответствует поворот зуба фрезы на угол  $(A + C)$ , причем на долю рабочего хода (для  $A$ ) приходится  $300$  или  $270^\circ$ , а на долю холостого хода (для  $C$ ) –  $60$  или  $90^\circ$ . На основании этого

$$A = (5/6 \text{ или } 3/4)\varepsilon; C = (1/6 \text{ или } 1/4)\varepsilon.$$

$$\text{Кроме того, } \varphi = A - B; B = \varphi_1 + \varphi_2; \psi = \varepsilon - \varphi.$$

После расчета величина угла  $\vartheta$  округляется до ближайшего значения ряда углов, принятых для фрезерования впадин затылованных фрез, а именно:  $18^\circ$ ,  $22^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $30^\circ$  и только в редких случаях  $45^\circ$  (например для резьбонарезных гребенчатых фрез).

Для ориентировочных подсчетов можно принимать ширину зуба равной  $0,65 - 0,7$ , а ширину впадины равной  $0,35 - 0,3$  окружного шага.

**Форма основания впадины.** При симметричном профиле, большой его высоте и малой длине основание впадины обычно располагается параллельно ее оси. Однако в большинстве случаев целесообразно фрезеровать впадину с наклоном под одним или несколькими углами. Это дает возможность придать зубу более прочную форму, как это наглядно видно из сравнения двух вариантов выполнения основания впадины по  $1 - 1$  и  $1 - 2$  (рис. 6.12, а). При одностороннем профиле направление наклона основания впадины определяется путем проведения касательной к наиболее глубокой точке  $M$  профиля (рис. 6.12, б). Параллельно прямой  $NN$  на расстоянии, равном  $x = k + r$ , откладываем перпендикулярно оси фрезы, проводят прямую  $W - W$ , которая и является основанием впадины.

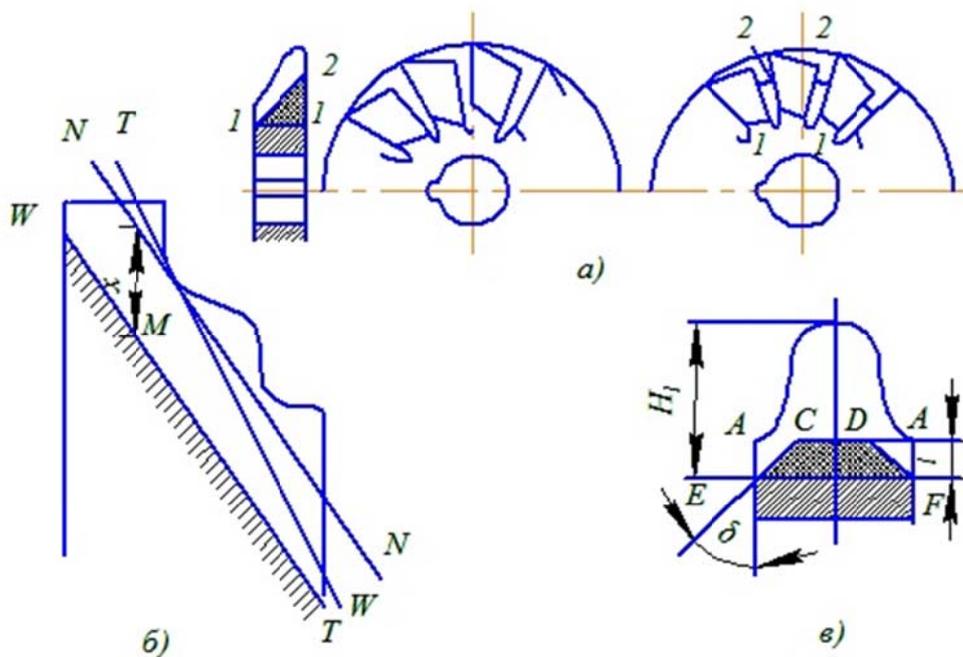


Рис. 6.12. Формы основания впадины между зубьями

На рис. 6.13, а дно впадины образовано при помощи тройного фрезерования и может быть заточено в два прохода по прямым  $EK$  и  $GF$ . Глубина впадины  $H$  приблизительно равна  $h + x$ , где  $x = k + r$ .

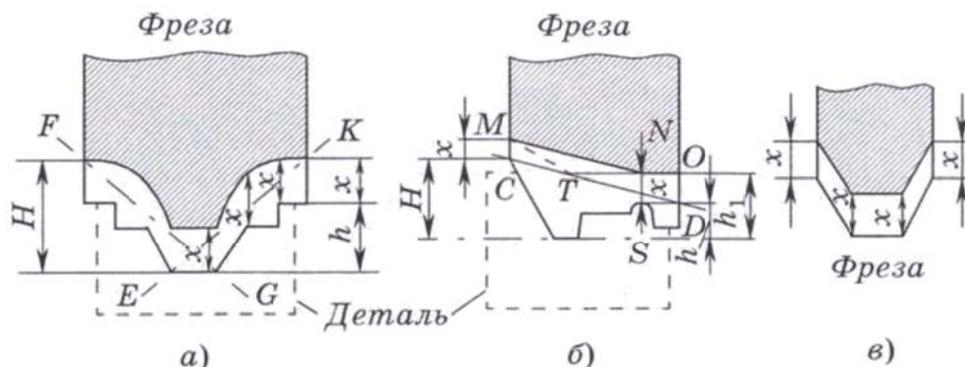


Рис. 6.13. Оформление основания впадины между зубьями для характерных профилей

Для получения минимальной высоты зуба  $H$  для фрезы достаточно исходить из высоты профиля детали  $h$ , а не профиля  $h_1$  (рис. 6.13, б). Поэтому через конечную точку  $S$  проводим прямую  $CD$ , касательную к ней, и от нее откладываем расстояние  $x = k + r$ . Ломаная линия  $MNO$  и будет служить основанием впадины. Она может быть заменена и другой ломаной, например  $МТО$ . Фрезерование такой впадины осуществляется в два прохода (по  $MN$  и  $NO$ ), а заточка – в один (по линии  $CD$ ).

При симметричном профиле, когда кромки сходятся под углом и не имеют криволинейных участков, глубина профиля детали может быть принята условно за нуль, и высота зуба будет состоять из одной величины  $x = k + r$  (рис. 6.13, в). Впадину фрезеруют и затачивают в три прохода.

Заточка в три прохода требует дополнительных затрат времени и не всегда дает хорошие результаты, так как снять одинаковый слой металла при всех трех проходах затруднительно. В результате этого передняя поверхность будет покрыта уступами. Кроме того, из-за повышения средней части впадины (см. рис. 6.12, в) пространство для помещения стружки оказывается малым. Для избежания этих недостатков целесообразно основание впадины фрезеровать таким образом, чтобы горизонтальный участок  $CD$  не лежал выше конечных точек  $A - A$  профиля детали. При таком оформлении заточка может

быть осуществлена за один проход. Наклонные участки  $EC$  и  $DF$  фрезеруются отдельно. Наличие их исключает надобность в опускании горизонтального участка  $CD$  на величину  $X = K + G$ , что усиливает зуб на величину  $CDEF$ . Глубина боковых прорезей  $H_1$  определяется по формуле (см. рис. 6.12, *в*)

$$H_1 = R - R_2 + \frac{r}{\sin \delta'}$$

где  $R_2$  – радиус окружности, проходящей через последнюю точку на нижней кривой затылования;  $\delta'$  – угол фрезерования прорезей, который обычно выбирается равным углу наклона профиля зуба на этом участке (в общем случае оба угла могут быть и не равны друг другу).

**Фрезы с передним углом.** Затылованные фрезы большей частью изготавливаются с передним углом  $\gamma = 0$ . Объясняется это тем, что положительный передний угол осложняет расчет, изготовление и контроль фрез, а также вносит погрешность в профиль детали после первой переточки, несмотря на то, что новая фреза никаких искажений не дает. Однако фрезы с положительным передним углом работают в более легких условиях, поэтому на практике их применение целесообразно.

Для устранения погрешности, вызванной наличием угла  $\gamma > 0$  (рис. 6.14, *а*), профиль фрезы должен быть подвергнут корректированию. При угле  $\gamma = 0$  в образовании профиля детали участвуют одновременно все точки 1, 2, 3... и т.д. (рис. 6.14, *б*) профиля фрезы, так как все они расположены в диаметральной плоскости  $MO$ , перпендикулярной к направлению фрезерования.

В этом случае высота профиля детали получается равной высоте профиля фрезы. Если угол  $\gamma > 0$ , то точки режущей кромки зуба фрезы вступают в работу постепенно в порядке очереди, по мере совпадения каждой точки фрезы с плоскостью, перпендикулярной к направлению резания. В процессе фрезерования точка  $P$  движется по окружности радиусом  $R_x$  и при пересечении диаметральной плоскости образует на профиле детали точку  $A$  (рис. 6.14, *а*). При  $\gamma = 0$  отрезки спиралей пересекаются с радиальной прямой  $MO$  в точках 1, 2, 3 и т. д. При  $\gamma > 0$  они пересекаются с прямой  $MW$  в точках 1', 2', 3' и т. д., расположенных ниже и правее (рис. 6.14, *б*). При отсутствии корректирования фреза с расположением передней поверхности по

прямой  $MN$  дает на детали несколько удлиненный профиль, так как высота профиля ее  $h_{\Delta}$  больше высоты профиля зуба фрезы  $h$ . Для получения требуемой высоты профиля детали необходимо корректировать профиль фрезы, т. е. уменьшить его на величину  $k_x = h_{\Delta} - h$  (рис. 6.14, в).

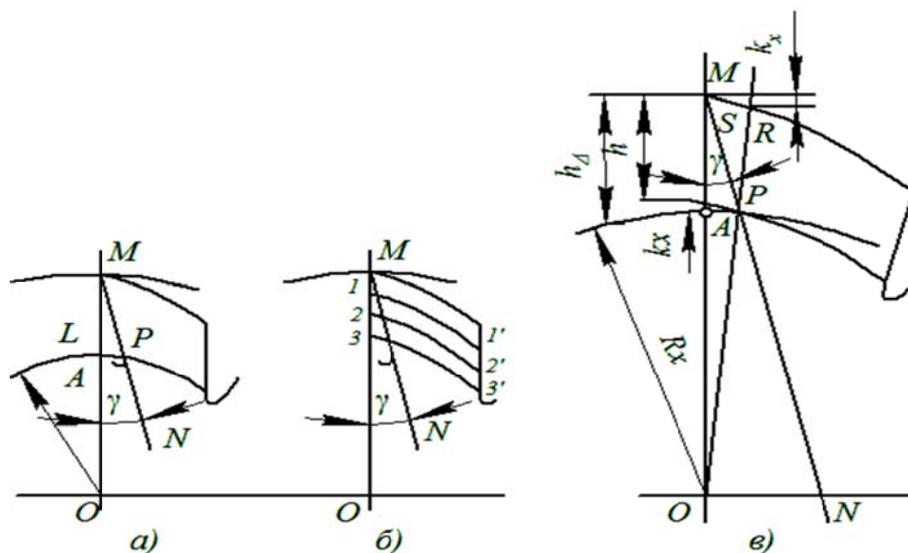


Рис. 6.14. Определение профиля зуба фрезы с положительным передним углом

Корректированию подвергаются все высотные размеры профиля, тогда как осевые размеры из-за отсутствия искажения остаются без изменения. Величина понижения профиля для рассматриваемой точки  $P$  определяется таким образом:

$$k_x = h_{\Delta} - h,$$

где  $k_x = \frac{kz\theta_x}{360^\circ}$ .

$$Q_x = \eta_x - \gamma; \sin \eta_x = \frac{R \sin \gamma}{R_x}; R_x = R - h_{\Delta},$$

где  $\eta_x$  – угол между  $MP$  и  $OP$  (см. рис. 6.14, в).

По этим формулам можно найти величину понижения высоты для каждой точки профиля фрезы, задаваясь различными значениями  $R_x$ . Из-за искажения высоты профиля искажается также и угол профиля. При заданном угле наклона профиля детали (например  $60^\circ$  для метрической резьбы) угол профиля фрезы находим по формуле

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \operatorname{tg} \varepsilon_s \frac{h_s}{h}.$$

Все указанные формулы необходимы для расчета профиля новой фрезы. Однако точность его нарушается уже после первой переточки. Погрешность профиля зависит от двух причин: метода переточки фрезы; метода установки резца при затыловании.

Передний угол (см. рис. 6.14) определяется по формуле

$$\sin \gamma = \frac{r_0}{R_H},$$

где  $r_0$  – радиус вспомогательной окружности;  $R_H$  – радиус наружной окружности переточенной фрезы.

При переточках можно оставлять постоянными  $\gamma$  или  $r_0$ . В первом случае радиус  $r_0$  будет уменьшаться, во втором случае передний угол  $\gamma$  будет увеличиваться. Как первый, так и второй способы переточки являются источниками погрешности профиля детали. Расчеты показывают, что погрешность получается меньше при переточках фрезы на постоянный угол.

При затыловании резец может быть установлен по одному из трех методов (рис. 6.15):

1) передняя поверхность резца совпадает с передней поверхностью фрезы, причем резец имеет угол  $\gamma = 0$ ;

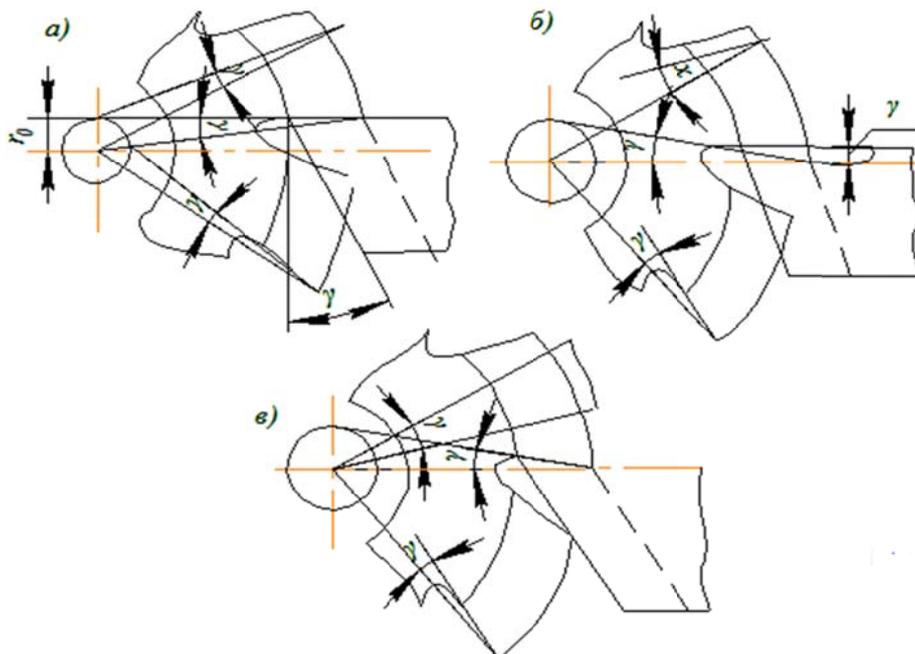


Рис. 6.15. Методы установки резца при затыловании

2) передняя поверхность резца совпадает с передней поверхностью фрезы, причем величины передних углов обоих инструментов одни и те же;

3) передняя поверхность резца проходит через ось фрезы, причем угол  $\gamma$  резца равен нулю.

Пунктирными линиями на рис. 6.15 показаны последовательные положения передней поверхности резца при затыловании.

Третий способ затылования наиболее простой, так как не требует никаких затруднений при установке резца по сравнению с другими способами. Из трех способов наибольшую точность дает второй. Погрешность профиля детали может быть устранена, если при каждой переточке принимать новый передний угол, соответствующий диаметру переточенной фрезы. Уменьшение диаметра фрезы при каждой переточке прямо пропорционально уменьшению переднего угла.

Для фрез с углом  $\gamma = 0$  профиль детали не зависит от формы кривой, принятой для затылования, и он не меняется при переточках. Фрезы с  $\gamma > 0$  вызывают погрешность профиля детали при каждой переточке, причем величина погрешности изменяется в зависимости от метода установки резца при затыловании. Если третий метод обеспечивает получение для всех точек профиля фрезы кривых затылования в виде архимедовой спирали, то первые два метода дают архимедову спираль только на вершине зуба. Для всех остальных точек кривые затылования имеют другую форму. Отсюда следует, что точность профиля детали, полученного при обработке фрезой с  $\gamma > 0$ , зависит от формы кривой затылования. Это позволяет сделать вывод, что для фрез с  $\gamma > 0$  может быть найдена такая кривая затылования, при которой влияние переточек фрезы не будет сказываться на точности профиля детали. Пользуясь этой кривой, можем найти также и кривую для кулачка, при помощи которого производится затылование рассматриваемой фрезы.

**Фрезы с переменным наклоном зубьев.** Подобно фрезам с остrokонечными зубьями, в практике встречаются затылованные фрезы с переменным наклоном зубьев (рис. 6.16). Такая конструкция обеспечивает ряд преимуществ по сравнению с фрезами с углом  $\gamma > 0$ .

При наличии угла  $\gamma > 0$ , на участке  $AB$  (рис. 6.16, *a*) режущая кромка будет иметь выгодные передние углы, тогда как на участках  $AD$  и  $BC$  угол  $\gamma = 0$ . Если дать наклон зубу под некоторым углом  $X$

(рис. 6.16, б) к оси фрезы так, чтобы прямая  $MN$  пересекала ось профиля посередине, то для части зубьев (например четных) на участках  $NP$  получатся удовлетворительные передние углы, а на участках  $MP$  – неудовлетворительные. Для другой части зубьев (нечетных) удовлетворительные углы на участках  $KT$  и неудовлетворительные – на участках  $TL$ . Следовательно, одна половина зубьев режет правой стороной, а другая – левой. Каждый зуб работает только одной стороной, снабженной острыми режущими кромками.

Другая же сторона как не участвующая в работе срезается, что способствует увеличению пространства для стружки. Фрезы работают плавно благодаря постепенному врезанию в обрабатываемый материал и допускают более высокие величины подачи на один зуб. Несмотря на то что они работают через зуб, их эффективность и стойкость выше, чем у фрез с расположением зубьев параллельно оси, так как они допускают значительное повышение величины подачи на зуб ( $S_z$ ).

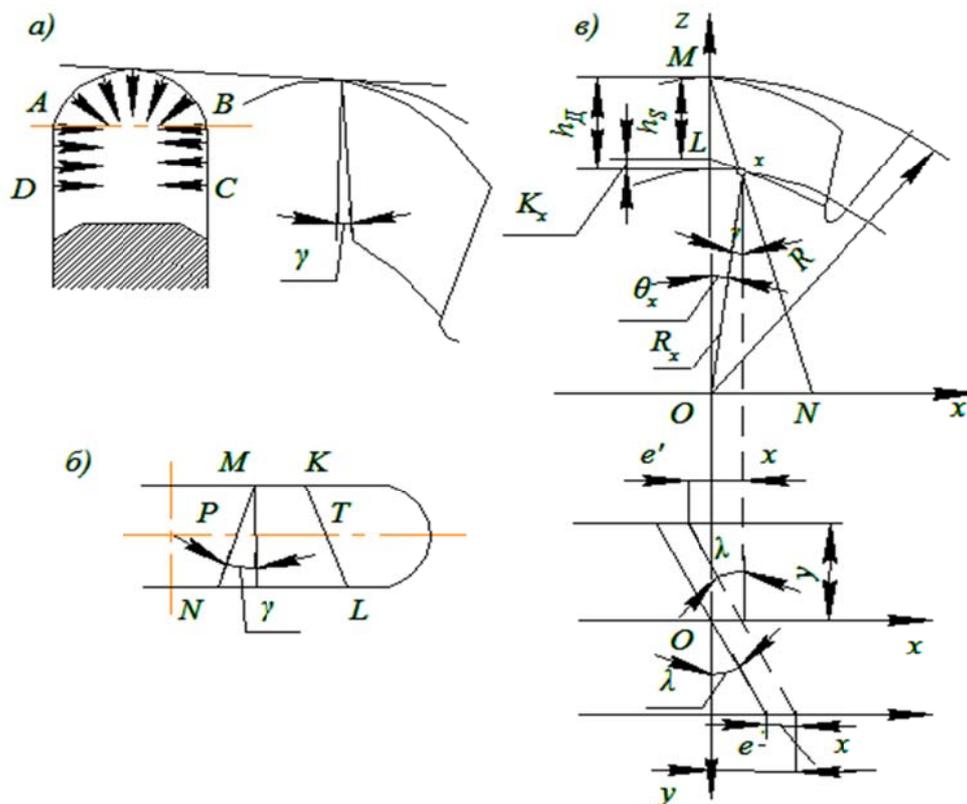


Рис. 6.16. Определение профиля зуба фрезы с переменным наклоном зубьев

Угол наклона зубьев  $\lambda$  выбирается в пределах  $10 - 20^\circ$ . Из-за наличия углов  $\gamma$  и  $\lambda$  профиль фрезы получает искажение, а поэтому для устранения погрешности его необходимо корректировать. Из-за сложности расчета на практике часто прибегают к механическому воспроизведению требуемого профиля фрезы. Для этой цели изготавливают заготовку для фрезы с осевым профилем, совпадающим с осевым профилем детали. Затем фрезеруют канавки таким образом, чтобы обеспечить получение заданных углов  $\gamma$  и  $\lambda$ . При таком методе изготовления профиль фрезы на передней поверхности получается правильным, без искажения. По этому профилю выполняют шаблон для проверки фрезы при затыловании.

Профиль фрезы может быть скорректирован по следующим формулам (рис. 6.16, в):

– для левой удлиненной половины профиля

$$h = h_s + \frac{kz}{360^\circ} \theta'_x;$$

$$\sin \theta'_x = \frac{e'}{R_x};$$

$$e' = y \operatorname{tg} \lambda - x;$$

– для правой укороченной половины профиля

$$h = h_s + \frac{kz}{360^\circ} \theta'_x; \quad \sin \theta'_x = \frac{e''}{R_x}; \quad e'' = y \operatorname{tg} \lambda - x.$$

Величина  $x = R_x \sin \theta = (R - h) \sin \theta_x$ , причем  $\theta_x$  определяется из формулы

$$\sin(\gamma + \theta_x) = \frac{R \sin \gamma}{R_x},$$

где  $R_x = R - h$ .

Профиль фрезы в диаметральной сечении плоскостью, проходящей через центр, получается несимметричным. Например, для полукруглого профиля детали он будет с одной стороны вытянутым, а с другой – сплюсненным, причем рабочей стороной является удлиненная, у которой передний угол на всем протяжении режущей кромки имеет положительную величину.

**Фрезы с двойным затылованием.** Как было сказано выше, для фрез со шлифованным профилем приходится выбирать меньшее число зубьев по сравнению с фрезами с нешлифованным профилем. Однако не

всегда возможно путем уменьшения количества зубьев избежать задевания шлифовальным кругом соседнего зуба. Тогда шлифование производят не на всю ширину зуба, а с оставлением части *BFHC* непрошлифованной (рис. 6.17). В процессе эксплуатации фреза подвергается переточке только на ширине шлифованной части *MEFB*.

При таком шлифовании не будет снят слой металла на вершине и на боковых сторонах зуба нешлифованной части и зуб получает ступенчатую форму (утолщение в задней части зуба) – так называемую седловину. Вследствие этого может наступить такой момент,

когда нешлифованная часть начнет принимать участие в процессе резания, что приведет к браку деталей. Для устранения увеличенной по высоте и по сторонам части зуба необходимо нешлифованную часть несколько опустить относительно шлифованной части. Таким образом, нешлифованная часть должна быть очерчена на вершине зуба по кривой, проходящей ниже кривой шлифованной части и иметь некоторое утончение по толщине зуба. Только при этих условиях обеспечивается

возможность свободного выхода круга на боковых сторонах профиля и устранение седловины. Наличие седловины вызывает погрешность профиля обрабатываемой детали по мере переточек фрезы.

Нешлифованную часть (см. рис. 6.17) подвергают затылованию резцом при помощи кулачка, величина спада которого  $k_1$  делается примерно в 1,5 – 1,75 раза больше величины спада  $k$  кулачка для шлифованной части. Величина затылования  $k_1$  должна быть отнесена к диаметру  $D_1$ , несколько большему, чем диаметр фрезы  $D$ . Например, если шлифованная часть составляет половину ширины зуба, то  $D_1 = D + 2a$ , где  $a = b = \frac{k_1 - k}{2}$ . Перед началом затылования резец находится в точке *A* и начинает обработку только в точке *B*, срезая

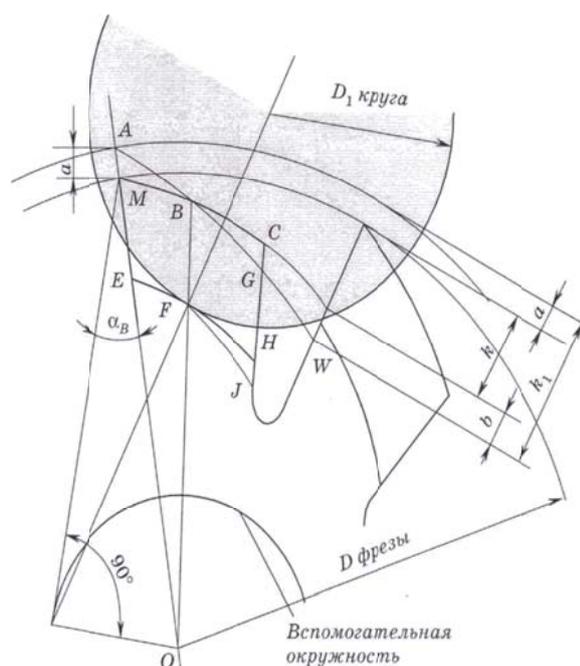


Рис. 6.17. Зуб с двойным затылованием

часть  $BCG$  спинки зуба, часть  $FHJ$  основания, а также и на боковых поверхностях. Двойное затылование может быть выполнено: а) при помощи отдельного затылования двумя отдельными кулачками с величинами спада  $k$  и  $k_1$ ; б) при помощи одного кулачка, снабженного двумя величинами спада  $k$  и  $k_1$ .

Первый метод требует большей затраты времени по сравнению со вторым, так как отдельное затылование связано со сменой кулачков и выполнением операции в два приема. Для достижения более свободного выхода круга на боковых сторонах профиля без седловины и большего заднего угла на них рекомендуется производить второе затылование при повороте суппорта примерно на  $15^\circ$ .

Второй метод затылования имеет преимущества перед первым в отношении производительности и чистоты поверхности нешлифованной части. Однако он требует тщательного выполнения комбинированного кулачка. Во избежание удара и повреждения резца при переходе от шлифованной к нешлифованной части основная кривая спада кулачка (для шлифованной части) должна иметь плавное сопряжение с дополнительной кривой (для нешлифованной части). По данным Московского инструментального завода (МИЗ), для затылования червячных зуборезных фрез основная кривая должна обнимать центральный угол  $165^\circ$ , дополнительная кривая угол  $135^\circ$  для кулачков с углом  $60^\circ$  для холостого хода. На практике применяют еще один метод. Затылование при помощи резца осуществляется кулачком со спадом на  $0,5 - 1,0$  мм больше, чем величина спада кулачка, предназначенного для шлифования профиля. Недостаток этого метода в том, что по мере приближения к задней части зуба выход шлифовального круга все более и более усложняется. В результате этого зуб постепенно утолщается, что вызывает с каждой новой переточкой непрерывно повышающуюся погрешность в профиле обрабатываемой детали. Другим недостатком можно назвать необходимость при шлифовании профиля снятия дополнительного припуска, обусловленного погрешностями предварительных операций и разностью величин спада кулачков для затылования и шлифования. Последняя характеризует величину припуска по толщине зуба, подлежащего удалению при шлифовании профиля. Величина припуска иногда получается значительной, что приводит к повышению дополнительных затрат времени на эту трудоемкую операцию. Этот недостаток также служит причиной появления значительного утолщения зуба по мере удаления от передней поверхности.



1. Возможность применения высоких режимов резания, что обеспечивает большую производительность.

2. Незначительная нагрузка, приходящаяся на единицу кромки, что уменьшает опасность поломки зубьев при напряженных режимах резания.

3. Хорошее разделение стружки и отвод ее из зоны резания, большая протяженность режущей кромки, что положительно влияет на отвод тепла и способствует повышению стойкости, в особенности при обработке материалов повышенной твердости.

4. Сравнительно малый расход энергии при фрезеровании. Особенно хорошо показывают себя фрезы при обработке глубоких пазов, характеризующихся большой шириной резания, значительным углом обхвата и трудностью отвода стружки.

Эти преимущества обусловлены особенностями конструкции. Режущие кромки зубьев расположены на кольцевых выступах трапециевидальной формы, которые смещены относительно друг друга на некоторую величину  $x$ , как это видно из представленной на рис. 6.18, в развертки зубьев. Вершины режущих кромок располагаются по винтовой линии с шагом  $S = xz$ , где  $z$  – число зубьев. Величина смещения  $x$  выбирается такой, чтобы кольцевые выступы каждых следующих друг за другом зубьев перекрывали друг друга. Величина  $x$  обычно принимается в пределах 1,2 – 1,67 мм, причем для каждой фрезы она остается постоянной. Это необходимо для облегчения затылования.

Кольцевые выступы являются стружколомателями, которые в процессе резания производят разделение крупной стружки на ряд мелких. Затылование стружколомателей осуществляется на универсально-затыловочном станке с настройкой на шаг винтовой линии при повороте суппорта с резцом на ту же величину  $x$ . Эти два перемещения обеспечивают движение резца относительно заготовки по винтовой линии. При настройке станка необходимо учитывать направление резания фрезы (праворежущая или леворежущая).

Фрезу можно рассматривать как обычную цилиндрическую с остrokонечными винтовыми зубьями, однако ее режущая кромка по длине разделена на отдельные участки, представляющие зубья с шагом  $S$ . Разделенная форма кромки получена путем ее прорезания второй винтовой канавкой с углом наклона  $\beta$ , величина которого определяется заданными значениями диаметра фрезы и шага  $S$  стружколомателей (по стандарту угол  $\beta$  принят  $30^\circ$  и  $45^\circ$ ).

Для определения величины спада  $k$  кулачка и угла поворота суппорта  $\tau$  рассмотрим схему затылования в направлении оси фрезы через  $k_0$ , а величину затылования в направлении, перпендикулярном к оси фрезы, через  $k_T$ . Для получения кольцевого направления витка величина  $k_0$  должна быть равна величине смещения  $x$ . Можем написать

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{k_0}{k_T} = \frac{x}{k_T} = \frac{xz}{\pi D t g \alpha}$$

### 6.3. Заточка фасонных фрез

При *заточивании по передней поверхности затылованных фрез*, а также острозаточенных, имеющих фасонную впадину зуба (не параллельную оси фрезы), предъявляются следующие требования:

- следует выдерживать возможно постоянной глубину затачиваемой передней поверхности зуба фрезы в плоскости, нормальной к кривой дна канавки;
- контур дна канавки следует делать по возможности более пологим по сравнению с контуром фасонной фрезы в осевом сечении;
- радиус шлифовального круга не должен превышать минимального радиуса контура дна канавки.

Для определения контура копира вычерчивают профиль режущей кромки фасонной фрезы и дна канавки в плоскости  $A - A$  (плоскости заточки) (рис. 6.19), отстоящий от осевого профиля на величину  $a = R_{\phi} \sin \nu$ .

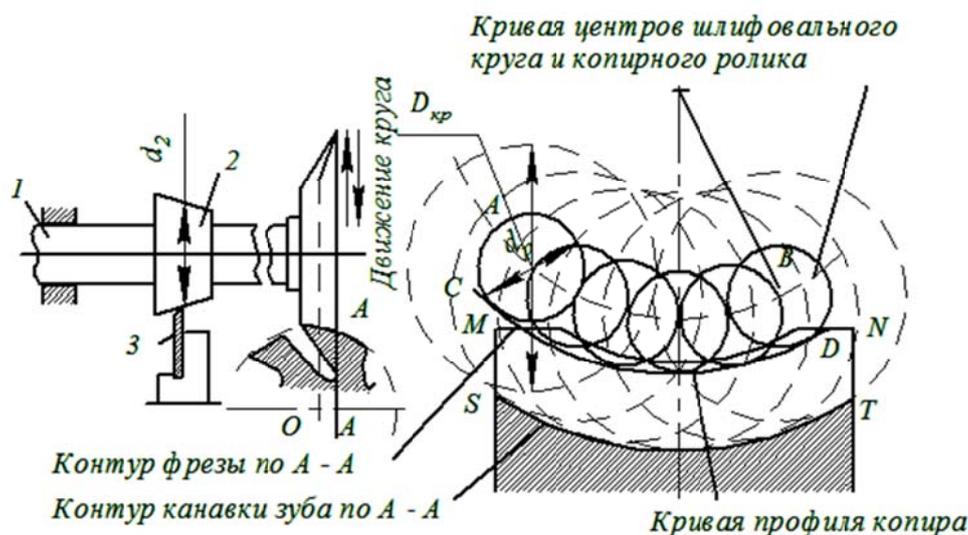


Рис. 6.19. Определение контура копира при заточке фасонной фрезы по передней поверхности с криволинейной формой дна впадины: 1 – шпиндель; 2 – копирный ролик; 3 – копир

На рис. 6.19 профиль режущей кромки обозначен  $MN$ , профиль дна канавки  $ST$ . Выбрав диаметр шлифовального круга, радиус которого не должен превышать минимальный радиус контура дна канавки, вычерчивают ряд его положений так, чтобы его окружности касались дна канавки – контура  $ST$ . Соединив центры этих окружностей, получим кривую  $AB$  центров шлифовального круга и копирного ролика.

Вычертив из центров, расположенных на линии  $AB$ , ряд положений окружностей  $d_p$ , равных диаметру копирного ролика, строим огибающую кривую  $CD$ , которая и является кривой профиля копира.

При заточке фасонных фрез по задней поверхности зуба вследствие наличия переднего угла  $\gamma$  передняя поверхность зуба должна быть смещена на величину  $a = R_\phi \sin \gamma$  (рис. 6.20) с тем, чтобы весь контур находился в плоскости, совпадающей с направлением перемещения шлифовального круга или фрезы по копиру. Для проектирования контура копира нужно определить профиль фрезы в сечении  $A - A$ , обеспечивающего обработку заданного контура на изделии. Пусть контур изделия в осевом сечении задан абсциссами  $x'_{пр}$  и  $x''_{пр}$ , ординатами  $y_{пр}$ ,  $y'_{пр}$ ,  $y''_{пр}$  (см. рис. 6.20).

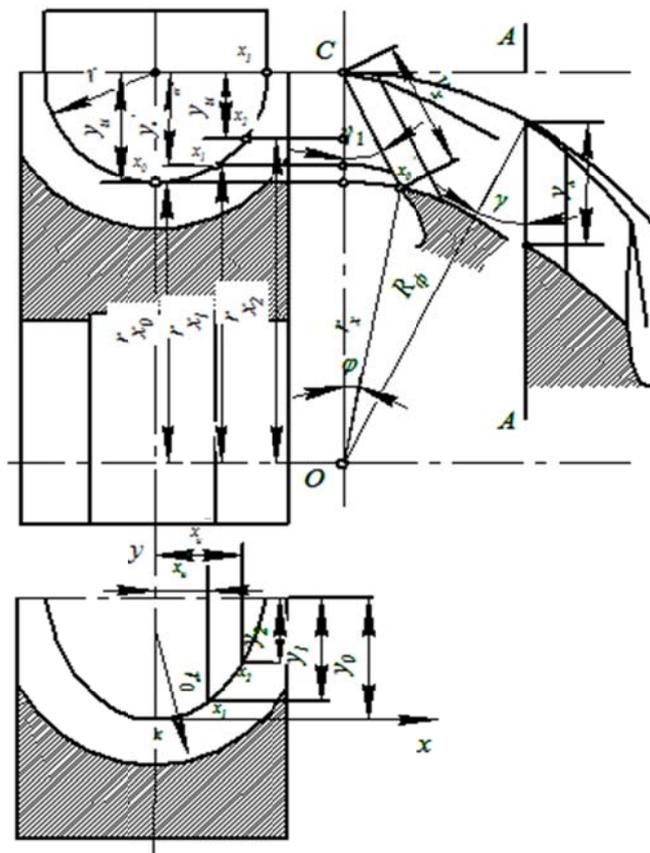


Рис. 6.20. Определение профиля зуба фасонной фрезы в плоскости  $A - A$

Так как осевые размеры фрезы не искажаются, то для определения ее профиля в сечении  $A - A$  необходимо определить ординаты  $y_0, y_1, y_2$ .

При вращении фрезы произвольно выбранная точка контура  $x_0$  на изделии обрабатывается точкой  $c$  на передней поверхности фрезы с координатами  $O$  и  $y_x y_0$ . Задаваясь абсциссами  $x'_{пр}$  и  $x''_{пр}$ , расчетным путем находим соответственно ординаты  $y_0$  и  $y_1$ .

Из треугольника  $OCx'_0$  имеем

$$\frac{r_{x_0}}{\sin \gamma_1} = \frac{R_\phi}{\sin[180^\circ - (\gamma_1 + \varphi_{x_0})]} = \frac{R_\phi}{\sin(\gamma_1 + \varphi_{x_0})}.$$

Определив для каждой точки контура изделия значения  $u_x$  и  $r_x$ , а следовательно, и ординату  $y_x$ , получим искомый контур фрезы в сечении  $A - A$ , при котором путем графического построения определяют контур копира.

Графическое определение контура копира по заданному контуру фрезы производится следующим образом.

1. По заданному контуру фрезы в плоскости  $A - A$  ее передней поверхности строят траекторию движения центра радиусом  $r$  профиля шлифовального круга (рис. 6.21).

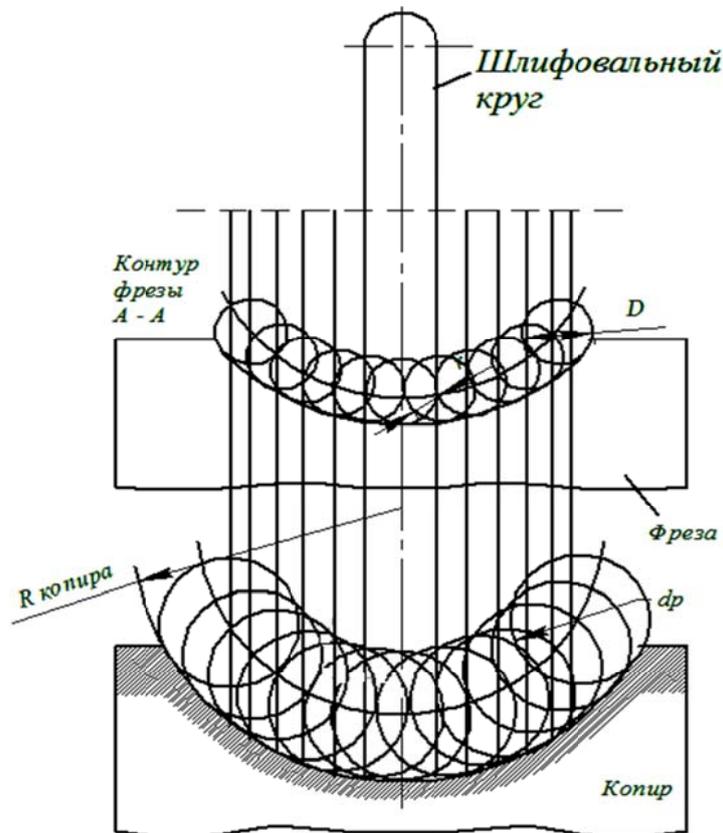


Рис. 6.21. Графическое определение контура копира по заданному контуру фрезы

2. Через зафиксированные центры  $O_k$  проводят вертикали и на равных расстояниях располагают центры окружности копирного пальца. Задавшись радиусом копирного пальца  $r_{кп}$ , проводим через найденные центры положения копирного пальца, соответствующие отдельным положениям шлифовального круга.

3. Кривая, огибающая копирный палец в его отдельных положениях, представляет собой искомый контур копира для заточки задней поверхности зуба фасонной фрезы. Кривую определяют или радиусами, или координатами ее отдельных точек.

При заточке по копиру и вообще для всех случаев заточки фрез плоскими кругами формы *III* величина образуемого заднего угла может быть связана с диаметром шлифовального круга. Кроме того, неправильно выбранный диаметр шлифовального круга может срезать режущую кромку соседнего зуба фрезы. По этим причинам необходимо производить подсчет наибольшего допустимого диаметра шлифовального круга для фрезы с определенным шагом зубьев и заданным задним углом. Смещение шлифовального круга  $C = x + B$  (рис. 6.22),

где  $B = \frac{D_k}{2} \sin(\alpha + \gamma)$ .

Подставляя значение  $x$  и  $B$ , получим:

$$C = R_\phi \sin \gamma + \frac{D_k}{2} \sin(\alpha + \gamma).$$

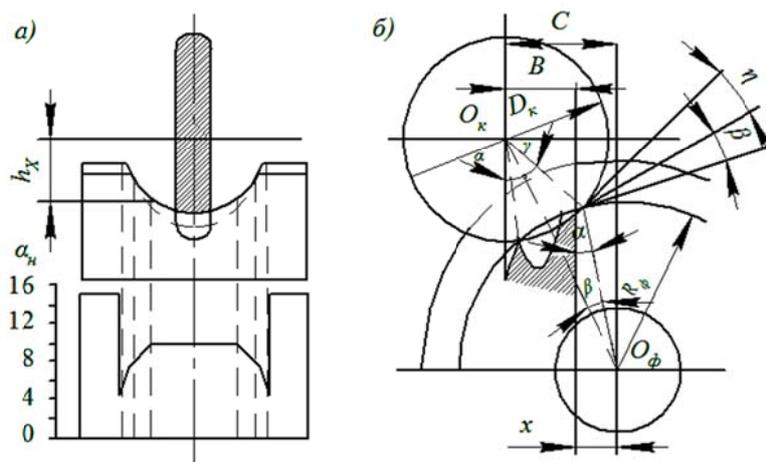


Рис. 6.22. Заточка задней поверхности по копиру

Половина центрального угла шага фрезы  $\beta = 180^\circ/2$ .

Увеличение заднего угла вследствие вогнутой цилиндрической формы затылованной поверхности

$$\eta = \alpha - \beta = \alpha - \frac{180}{2}.$$

Половина торцевого шага фрезы.

На рис. 6.23 показана заточка кругом формы усеченного конуса. Преимущество этого метода заточки состоит в том, что он обеспечивает в местах фасонного профиля, имеющего резко очерченный контур, получение больших задних углов. Как видно из фигуры, минимальный задний угол  $\alpha_{min} = 10^\circ$ . В случае затачивания такого контура плоским кругом получается минимальный задний угол  $\alpha = 10^\circ$  (см. рис. 6.22). Для затачивания конической частью круга надо переднюю поверхность зуба фрезы сместить на величину

$$a = R_\phi \sin \gamma.$$

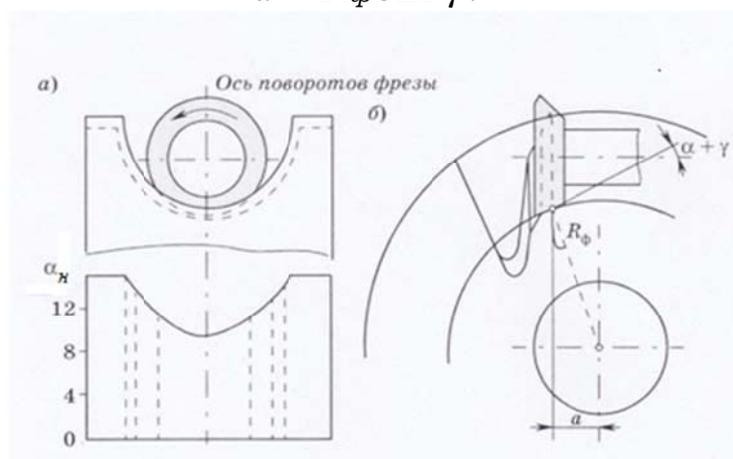


Рис. 6.23. Заточка задней поверхности кругом формы усеченного конуса

#### 6.4. Износ и стойкость фасонных фрез

Фасонные фрезы используются в основном при резании с малыми толщинами срезаемого слоя при повышенной длине периметра режущих кромок. Поэтому износ зубьев фрез протекает в основном по задней поверхности.

Величина износа по режущей кромке зуба распределяется неравномерно. Большой износ наблюдается в местах зубьев с наибольшей скоростью резания или в местах минимальных значений задних углов. Как известно, величина заднего угла в произвольно выбранной

точке режущей кромки фасонной затылованной фрезы определяется следующей зависимостью:

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha \sin \varepsilon \frac{R}{r_x},$$

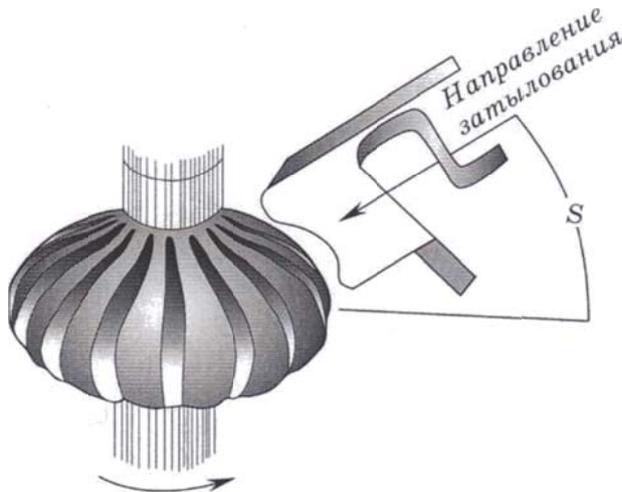
где  $\alpha_n$  – нормальный задний угол, град;  $\varepsilon$  – угол профиля, т. е. угол между линией, касательной к контуру зуба фрезы в рассматриваемой точке, и линией, перпендикулярной к оси фрезы, град;  $\alpha$  – задний угол в плоскости, перпендикулярной оси фрезы, град;  $R$  – наружный радиус фрезы, мм;  $r_x$  – радиус режущей кромки фрезы в рассматриваемой точке, мм.

С уменьшением угла профиля  $\varepsilon$  снижается и величина заднего угла  $\alpha_n$ , что приводит к увеличению износа по задней поверхности, а следовательно, к снижению стойкости фрезы.

Учитывая большое разнообразие профилей фасонных фрез, применяемых в производстве, с точки зрения изнашивания их можно разделить на две группы:

- 1) *фрезы фасонные с резко очерченным контуром*, т. е. фрезы, у которых минимальное значение угла профиля  $\varepsilon \leq 20^\circ$ ;
- 2) *фрезы фасонные с пологим контуром*, у которых минимальное значение угла профиля  $\varepsilon > 20^\circ$ .

Выполненные исследования показывают, что у фрез с резко очерченным фасонным профилем наибольшая величина износа наблюдается в местах минимальных значений заднего угла, а у фрез с пологим контуром – в местах наибольшей скорости резания.



Для улучшения распределения задних углов на режущей кромке зубьев фасонных фрез применяют ряд методов:

- косое затылование зубьев фрезы (рис. 6.24);
- превращение одностороннего резко очерченного контура в пологий путем поворота

Рис. 6.24. Косое затылование зубьев фрезы

детали вокруг некоторого центра. Поворот детали нужно сделать так, чтобы угол поворота был равен минимальному углу ее контура;

– заточка фасонных фрез по задней поверхности путем применения специальных приспособлений и устройств.

Последний метод в условиях крупносерийного и массового производства является наиболее эффективным, так как в этом случае резко снижается диапазон изменения задних углов  $\alpha_n$ , величина слоя, снимаемого за одну переточку, и резко уменьшается трудоемкость самой заточки.

В табл. 6.5 приведены данные, полученные при обработке канавок у сверл фасонными фрезами, заточенными как по передней, так и по задней поверхностям при работе в направлении подачи и против подачи. При работе по подаче стойкость фасонных острозаточенных фрез примерно в 2,5 раза выше по сравнению с затылованными. При работе против подачи с повышенной скоростью резания преимущества острозаточенных фрез сохраняются, но в несколько меньшей мере. В этом случае стойкость острозаточенных фрез по отношению к затылованным повышается только в 1,7 раза.

Таблица 6.5

Сравнительная стойкость фасонных фрез – затылованных и острозаточенных (по В. И. Лесной)

Конструкция фрезы	Режим резания		Стойкость T, мин	Метод резания
	V, м/мин	S <sub>z</sub> , мм		
Затылованная с z = 14; $\alpha = 18^\circ 30'$ и $\gamma = 10^\circ$	38	0,016	1444	По подаче
Острозаточенная с z = 14; $\alpha = 16^\circ$ и $\gamma = 10^\circ$	38	0,016	3596	–
Затылованная с z = 14; $\alpha = 18^\circ 30'$ и $\gamma = 10^\circ$	58	0,061	66	Против подачи
Острозаточенная с z = 14; $\alpha = 18^\circ$ и $\gamma = 10^\circ$	58	0,061	113	–

На рис. 6.25 показаны графики износа фасонных фрез, предназначенных для фрезерования винтовых канавок сверл.

Из этих графиков следует, что при фрезеровании с малыми подачами S<sub>z</sub> = 0,035 мм износ протекает по закону, близкому к прямой линии.

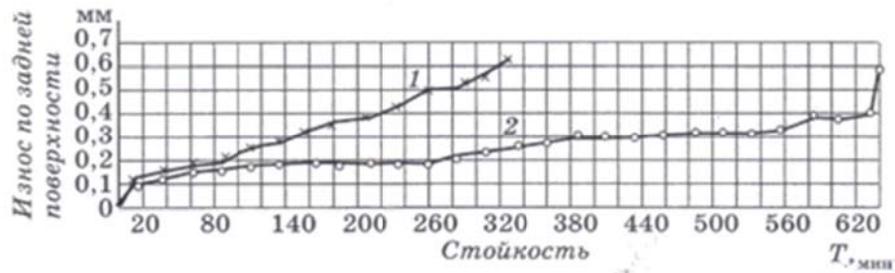


Рис. 6.25. Графики износа фасонных фрез:  $v = 38,8$  м/мин,  $S_M = 155$  мм/мин,  $S_Z = 0,035$  мм,  $t = 4$  мм,  $z = 14$ ,  $\alpha = 18^\circ$ ;  
1 – острозаточенные фрезы; 2 – затылованные фрезы

При работе с большими подачами износ по задней поверхности протекает по более сложной кривой (рис. 6.26).

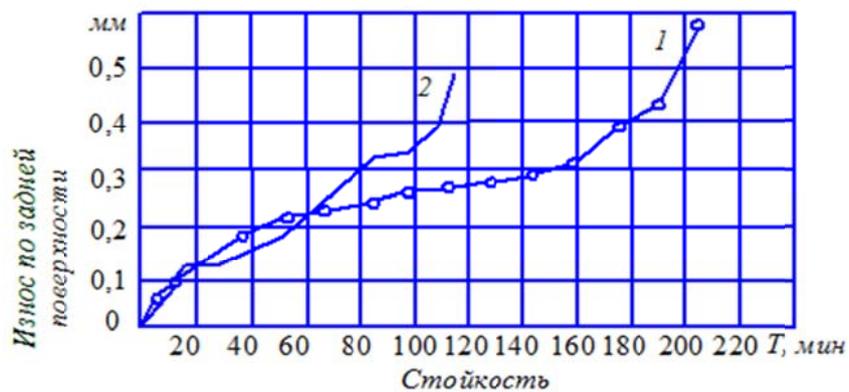


Рис. 6.26. Величина износа по задней поверхности фрезы

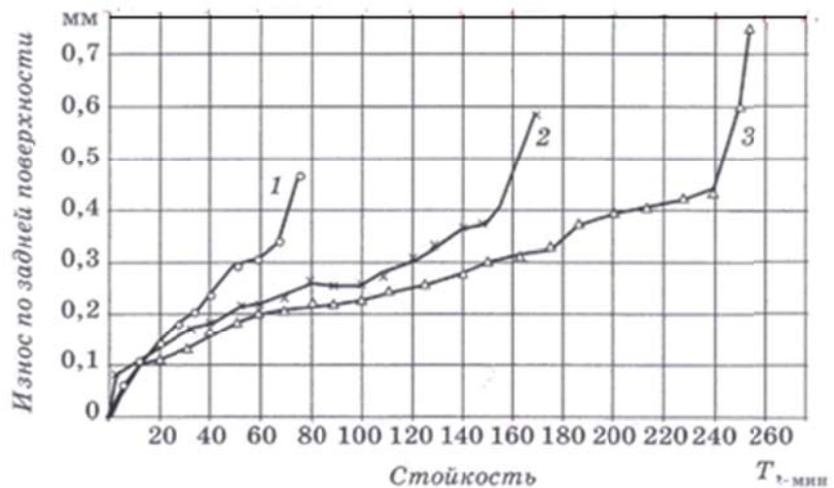


Рис. 6.27. Влияние скорости резания на износ острозаточенной фасонной фрезы:  $S_z = 0,055$  мм,  $t = 4$  мм,  $z = 18$ ,  $\alpha = 15^\circ$ ; 1 —  $v = 58$  м/мин; 2 —  $v = 47$  м/мин; 3 —  $v = 38,8$  м/мин

На рис. 6.27 и 6.28 показано влияние скорости резания на величину износа по задней поверхности при обработке винтовых канавок сверл острозаточенными и затылованными фрезами, выполненными из стали P18.

Для острозаточенных фрез перегиб кривых износа соответственно критерию затупления имеет место при  $h_3 = 0,33 - 0,43$  мм, а для затылованных фрез при  $h_3 = 0,38 - 0,45$  мм.

Изучение кривых износа, полученных при обработке винтовых канавок сверл фасонными фрезами, показывает, что в качестве критерия затупления может быть принята величина износа  $h_3 = 0,3 - 0,4$  для фрез фасонных острозаточенных и  $h_3 = 0,4 - 0,5$  для фрез фасонных затылованных.

### **Радиус округления режущей кромки фасонной фрезы**

Поскольку резание фасонными фрезами из быстрорежущей стали происходит в зоне малых подач  $S_z < 0,1$ , т. е. когда наибольшая толщина срезаемого слоя  $A_{\max}$  находится в пределах приблизительно 0,05 мм, для правильной эксплуатации фрез приобретает большое значение величина радиуса округления режущей кромки фрезы  $\rho$ .

Общее правило таково, что толщина срезаемого слоя должна быть равна или больше радиуса округления режущей кромки фрезы, т. е.

$$A_{\max} \geq \rho.$$

Согласно исследованиям, у фрез острозаточенных с доведенными режущими кромками  $\rho = 8 - 18$  мкм; у фрез затылованных —  $\rho = 20 - 25$  мкм. При затуплении радиус округления возрастает до значения  $\rho = 60 - 80$  мкм.

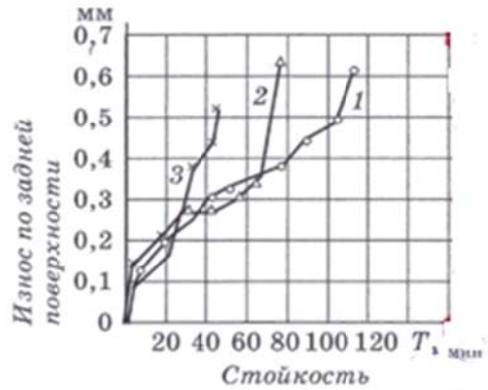


Рис. 6.28. Влияние скорости резания на износ затылованной фасонной фрезы:  $S_z = 0,055$  мм,  $t = 4$  мм,  $z = 14$ ,  $\alpha = 100^\circ$ ;

1 — при  $v = 38,8$  м/мин; 2 — при  $v = 47$  м/мин; 3 — при  $v = 58$  м/мин

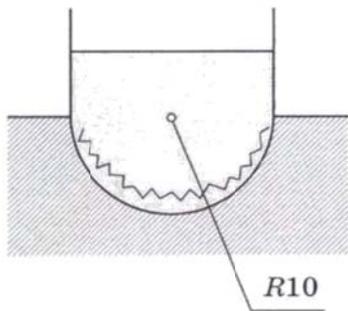


Рис. 6.29. Износ фасонной фрезы, оснащенной твердым сплавом, выпуклого полукруглого профиля

**Особенности износа фасонных фрез, оснащенных твердым сплавом.** Износ зубьев фасонных фрез, оснащенных твердым сплавом, протекает главным образом по задним поверхностям. На передней поверхности пластинки твердого сплава Т15К6 наблюдались незначительные признаки износа в виде оседания вершины, а на отдельных участках – образование едва заметной лунки.

Для выпуклых фрез полукруглого профиля величина износа у вершины больше, чем на боковых участках профиля (рис. 6.29).

На рис. 6.30 показана динамика износа зуба фрезы, оснащенной твердым сплавом при фрезеровании стали, а на рис. 6.31 – типичные выкрашивания режущей кромки.

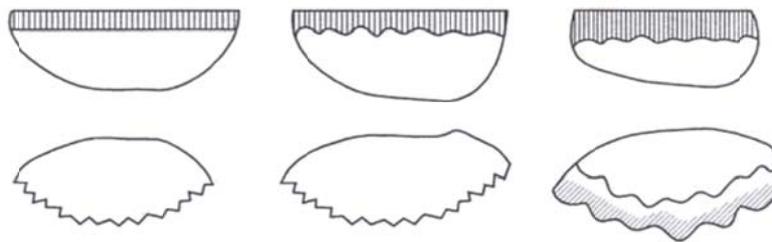


Рис. 6.30. Динамика износа зуба фасонной фрезы, оснащенной твердым сплавом

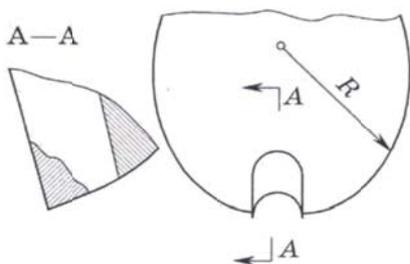


Рис. 6.31. Износ фрезы пилообразного вида

Износ зубьев фасонной фрезы характеризуется следующими этапами.

1. При начальной стадии износа образуется большое количество мелких рисок длиной от 0,05 до 0,1 мм, образующих ровную ленточку износа.

2. По мере дальнейшей работы фрезы риски, расположенные у вершины зуба, начинают увеличиваться, образуя более глубокие бороздки, расположенные друг от друга на расстоянии 0,15 – 0,25 мм.

3. Далее эти бороздки увеличиваются и углубляются, выступы округляются – вначале у вершины зуба, а несколько позднее – на боковых его сторонах.

В результате этого износ приобретает пилообразный вид (см. рис. 6.31). Кроме износа, по задней поверхности можно наблюдать небольшое снижение вершины режущей кромки и образование лунки шириной до 0,2 мм. Такая лунка образуется при фрезеровании со скоростями резания свыше 250 м/мин. При этом обеспечиваются плавность и постепенность врезания зубьев фрезы. Фрезерование со скоростями резания  $v < 120$  м/мин не может быть рекомендовано, так как обычно сопровождается выкрашиванием режущих кромок.

Согласно выполненным исследованиям, к фасонным поверхностям должны быть предъявлены следующие требования.

1. Шероховатость поверхности в пределах  $Ra = 0,63 \dots 0,32$  мкм.

2. Допустимые отклонения по профилю режущей кромки, в частности радиуса профиля, в пределах 0,1 – 0,3 мм.

На основе проведенных опытов критерием затупления фасонной фрезы является величина износа по задней поверхности  $h_3$ . В тех случаях, когда не предъявляются повышенные требования в отношении чистоты и точности фасонной поверхности, величина критерия затупления повышается до  $h_3 = 0,7 \dots 0,8$  мм.

Для получения шероховатости в пределах  $Ra = 0,63 \dots 0,32$  критерием затупления является износ  $h_3 = 0,3 \dots 0,4$  мм.

Увеличение износа  $h_3 > 0,8$  мм недопустимо, так как при этом затрудняются условия врезания зубьев фрезы в обрабатываемую заготовку и резко повышается неравномерность работы привода станка.

### ***Определение величины слоя, снимаемого при переточке зуба фасонной фрезы, и количество возможных переточек***

Величина слоя, снимаемого при переточке зубьев фрезы, помимо режима резания зависит еще от схемы переточки. Так, фрезы фасонные затылованные изнашиваются по задней, а перетачиваются по передней поверхностям. В этом случае величина слоя, снимаемого за переточку:

$$x_1 = h_3 + \Delta_n \text{ мм,}$$

где  $h_3$  – износ по задней поверхности;  $\Delta_n$  – дополнительная величина стачивания по передней поверхности.

Следует отметить, что в этом случае не выполняется основное положение, по которому переточка режущей части инструмента должна производиться по той поверхности, которая подвергается износу в процессе резания.

Это приводит к необходимости снимать большой слой инструментального материала при переточке, что сопровождается не только увеличением трудоемкости, но и снижением количества допускаемых переточек и уменьшением долговечности фрезы.

В качестве примера рассмотрим трудоемкость переточки и долговечность фасонной фрезы полукруглой, выпуклой формы, изготавливаемой с затылованными и остроконечными зубьями. Толщина зуба у этой фрезы  $p = 16$  мм. Величина слоя, снимаемого при переточке, – 0,55 мм. Величина допускаемого стачивания  $M = 10,8$  мм. Количество допустимых переточек – 20. При стойкости в 3 ч долговечность работы фрезы – 60 ч. Величина слоя металла, снимаемого за одну переточку на всех зубьях ( $z = 10$ ), – 3410 мм<sup>3</sup>. Эта же фреза может быть изготовлена с острозаточенными зубьями. В этом случае переточка ведется при помощи специальных приспособлений по задней поверхности.

Пусть перетачиваемый слой  $M = 5$  мм. При критерии затупления  $h_3 = 0,4$  мм и  $\Delta = 0,08$  мм за одну переточку снимается слой  $x_1 = 0,2$  мм; величина объема металла, снимаемого за одну переточку на всех зубьях, – 1815 мм<sup>3</sup>.

Таким образом, при эксплуатации фасонных остроконечных фрез трудоемкость переточки снижается в 1,88 раза, а долговечность возрастает в 2,5 раза.

Подсчет величины слоя, снимаемого при переточке фасонных острозаточенных фрез, зависит от метода измерения износа по задней поверхности.

При измерении износа при помощи микроскопа, мм:

$$x_1 = h_3 \frac{\sin \alpha}{\cos(\alpha + \gamma)} + \Delta.$$

При измерении износа при помощи лупы Бринеля, устанавливаемой на заднюю поверхность, как показано в табл. 6.7:

$$x_1 = h_3 \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos(\alpha + \gamma)} + \Delta.$$

Величина слоя, снимаемого при переточке фасонных фрез, оснащенных твердым сплавом, определяется по следующей зависимости:

$$x_1 = h_3 \frac{\sin \alpha}{\cos(\alpha + \gamma)} + \Delta.$$

Величина допускаемого стачивания зависит от формы зуба фасонной фрезы. Для затылования фасонных фрез величина допускаемого стачивания  $M$  зависит от толщины зуба  $p$ .

В этом случае

$$M = (0,6 \dots 0,7)p.$$

Для незатылованных фасонных фрез величина допускаемого стачивания определяется высотой зуба  $h$ . В этом случае

$$M = (0,4 \dots 0,5)h.$$

Количество возможных переточек рассчитывают по следующей зависимости:

$$i_{\max} = M/x_1 \cdot k,$$

где  $k$  – поправочный коэффициент, учитывающий случайное выкрашивание режущих кромок и поломки (табл. 6.6).

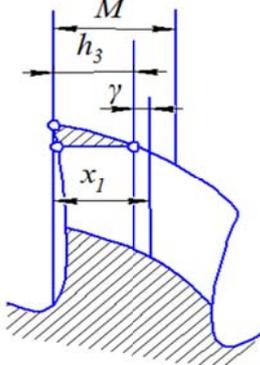
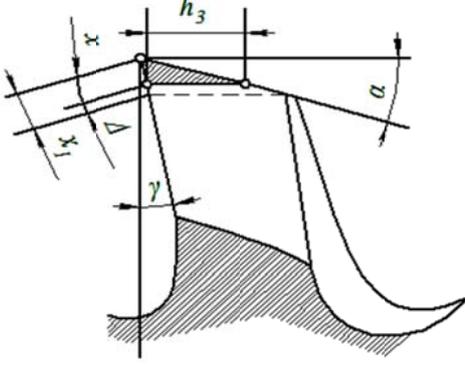
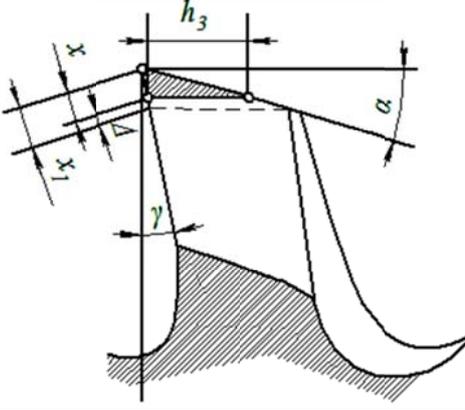
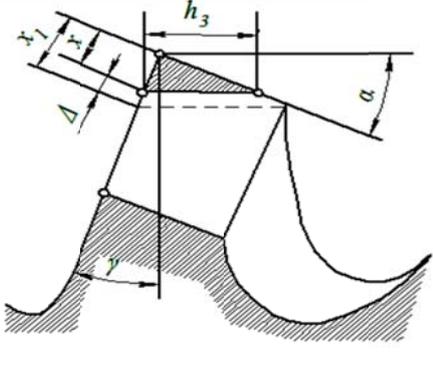
Таблица 6.6

Значение поправочных коэффициентов,  
учитывающих случайную убыль фасонных фрез

Фасонный тип фрезы	Диаметр фрез $D$ , мм		
	45 – 60	65 – 75	80 – 90
Затылованная	0,80	0,85	0,95
Острозаточенная	0,85	0,90	0,95
Острозаточенная, оснащенная твердым сплавом	0,75	0,80	0,90

Таблица 6.7

Определение величины слоя, срезанного  
за переточку для различных типов фрез

Тип фрез	Эскиз перетачиваемого слоя	Слой, снимаемый за одну переточку $x_1$
Затылованная из быстрорежущей стали		<p>Количество возможных переточек: <math>x_1 = h_3 + \Delta</math></p> $t_{\max} = \frac{M}{h_3 + \Delta}$
Острозагоченная из быстрорежущей стали		<p><math>h_3</math> – износ по задней грани, измеряемый при помощи цехового микроскопа: <math>x_1 = x + \Delta =</math></p> $= h_3 \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos(\alpha + \gamma)} + \Delta$
Острозагоченная из быстрорежущей стали		<p><math>h_3</math> – износ по задней грани, измеряемый лупой в направлении, перпендикулярном задней грани:</p> $x_1 = x + \Delta = h_3 \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos(\alpha + \gamma)} + \Delta$
Острозагощенная, оснащенная твердым сплавом		$x_1 = x + \Delta = h_3 \frac{\sin \alpha}{\cos(\alpha + \gamma)} + \Delta$ <p>где <math>\gamma</math> – отрицательный угол</p>

### ФРЕЗЕРНЫЙ ИНСТРУМЕНТ СБОРНОЙ КОНСТРУКЦИИ

#### 7.1. Классификация фрезерного инструмента сборной конструкции

Преимуществом применения фрез сборной конструкции являются уменьшенный расход инструментальных материалов, повышенная долговечность корпуса и сохранение точности геометрических параметров режущих кромок инструмента при переточках во время эксплуатации.

Сборный инструмент по конструктивному исполнению и технологичности классифицируют:

- 1) фрезы с напаянными пластинами;
- 2) фрезы с механическим креплением ножей, требующих последующей переточки;
- 3) фрезы с механическим креплением СМП.

Фрезы сборной конструкции состоят *из корпуса, режущих и крепежных элементов*. По способу крепления на станке фрезы сборной конструкции делятся на *насадные* и *хвостовые*.

Материал корпуса фрез, как правило, – конструкционная качественная сталь марок 45, 50 (ГОСТ 1050 – 88) или конструкционная легированная сталь марок 40X, 45X, 50X (ГОСТ 4543 – 71). Твердость корпуса после термообработки находится в пределах HRC 35 – 51.

Фрезы с механическим креплением ножей, требующих последующей переточки, по материалу рабочей части подразделяются на *быстрорежущие* и *твердосплавные*.

Фрезы сборные, оснащенные пластинками из быстрорежущей стали, затачиваются только в собранном виде. Фрезы торцевые, оснащенные пластинками твердого сплава, могут затачиваться как в собранном виде, так и с отдельной заточкой вставных зубьев (резцов).

Для уменьшения расхода твердого сплава в случае заточки фрезы в сборе к ее конструкции предъявляются следующие требования:

- увеличение точности установки вставных зубьев на размер (с помощью шаблонов и специальных регулировочных устройств);

- возможность регулирования вылета вставных зубьев в зависимости от величины и характера износа;
- устранение смещения вставных зубьев в процессе закрепления.

Для облегчения замены вставных зубьев к конструкции инструмента предъявляются следующие требования:

- сокращение количества перестановок вставных зубьев в процессе эксплуатации одного комплекта;
- возможность быстрой и легкой замены отдельных вставных зубьев, получивших повреждение (скол, крупные выкрашивания);
- быстросменность комплекта вставных зубьев;
- обеспечение простоты и удобства установки и регулирования на размер вставных зубьев в корпусе фрезы.

Технологичность конструкции сборной фрезы определяется:

- небольшим количеством деталей;
- простотой геометрической формы отдельных деталей;
- возможностью использования высокопроизводительного универсального инструмента 2-го порядка;
- отсутствием операций с высокой точностью обработки (пригоночных и отделочных).

Отсутствие специальных заточных станков и приспособлений вызывает необходимость в индивидуальной заточке вставных резцов торцевых фрез вне ее корпуса. После заточки и соответствующего контроля резцы устанавливаются в корпусе фрезы с точностью 0,02 – 0,03 мм.

## **7.2. Фрезерный инструмент с механическим креплением ножей**

### *Методы крепления при помощи плоского клина*

Закрепление осуществляется запрессовкой вставных зубьев в соответствующие пазы в корпусе. Крепящие, промежуточные и перемещающие элементы отсутствуют. Отдельные конструкции отличаются только формой клиновидного вставного зуба (рис. 7.1). Направление рифлений может быть радиальным, косым и осевым.

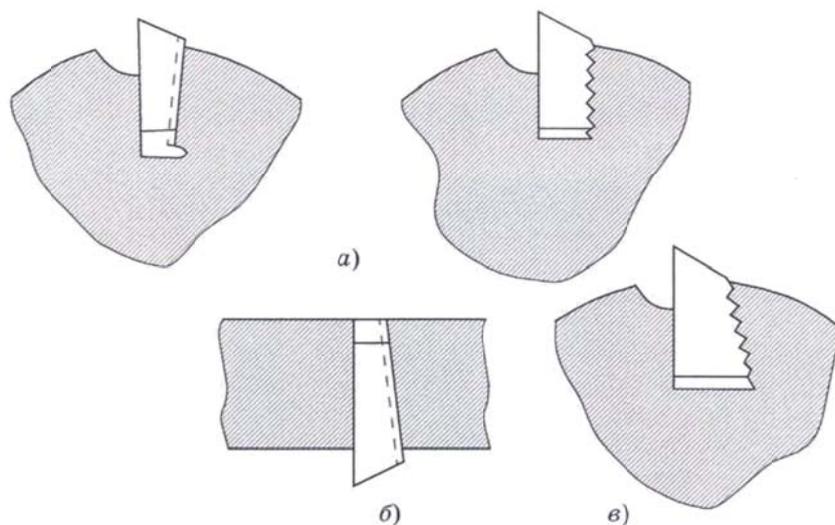


Рис. 7.1. Эскизы крепления вставного зуба при помощи плоского клина: а, б – одинарный клин; в – двойной клин

Положительные качества крепления при помощи плоского клина следующие:

- надежность и достаточная прочность конструкции;
- возможность размещения большого количества зубьев;
- быстросменность вставных зубьев;
- простота конструкции (некоторые усложнения встречаются лишь у фрез со вставными зубьями, имеющими форму двойного клина, а также при косом и радиальном направлениях рифлений).

Клиновидные конструкции крепления имеют и свои недостатки:

- неплотное прилегание сопряженных поверхностей корпуса и вставного зуба;
- значительные силы при закреплении, приводящие к короблению корпуса фрезы;
- небольшая точность установки вставных зубьев;
- трудность в замене отдельных вставных зубьев, снижающая их использование при различной степени изношенности;
- деформации и износ поверхности паза уменьшают срок службы корпуса.

Клиновидная конструкция крепления применяется в стандартных дисковых, цилиндрических и торцевых фрезах со вставными зубьями из быстрорежущих сталей и в торцевых фрезах, оснащенных пластинками твердых сплавов. Эта конструкция рекомендуется для

тех же видов фрез из быстрорежущей стали при условии напайки или стыковой сварки пластинок на стержень вставного зуба, а также для фрез, оснащенных пластинами твердого сплава, при обработке чугуновых отливок значительных габаритов, но с узкими обрабатываемыми плоскостями.

На рис. 7.2 показан перемещающийся элемент – клин, расположенный под вставным зубом клиновидной формы. Вставной зуб закрепляется запрессовкой перемещающегося клина после установки зуба в пазу корпуса.

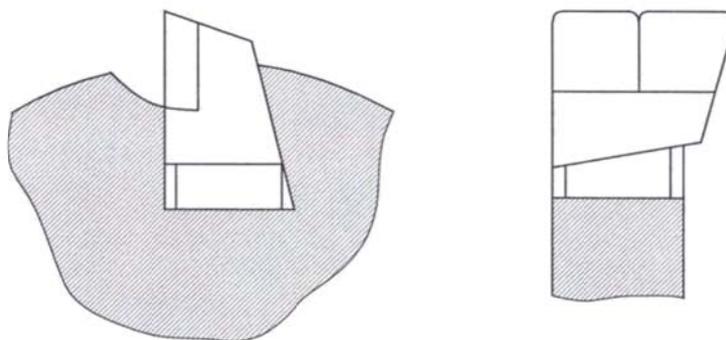


Рис. 7.2. Крепление клиновидного вставного зуба запрессовкой перемещающегося клина

В этой конструкции обеспечена надежность закрепления, возможность размещения значительного числа зубьев при достаточной прочности отдельных деталей. Недостатками данной конструкции крепления являются неплотное сопряжение поверхностей вставного зуба, корпуса, клина; различный вылет вставных зубьев при сборке; возможность смещения вставного зуба в осевом направлении при сборке; отсутствие радиального регулирования вставных зубьев; нетехнологичная форма паза под вставной зуб и повышенная точность, необходимая при изготовлении паза и вставного зуба. Эта конструкция находит применение на дисковых фрезах, оснащенных твердосплавными пластинками.

На рис. 7.3 показаны эскизы креплений, у которых вставные зубья имеют призматическую форму, причем их закрепление осуществляется запрессовкой клина в паз корпуса фрезы.

Отдельные конструкции различаются расположением клина (радиальным, осевым) или формой клина (односторонней и двойной). Вставной зуб регулируется с помощью прокладок и рифлений. До-

стоинствами этой конструкции являются надежность, простота и прочность отдельных деталей; возможность применения для фрез малого диаметра; возможность замены отдельных вставных зубьев, что позволяет использовать их при различной степени изношенности.

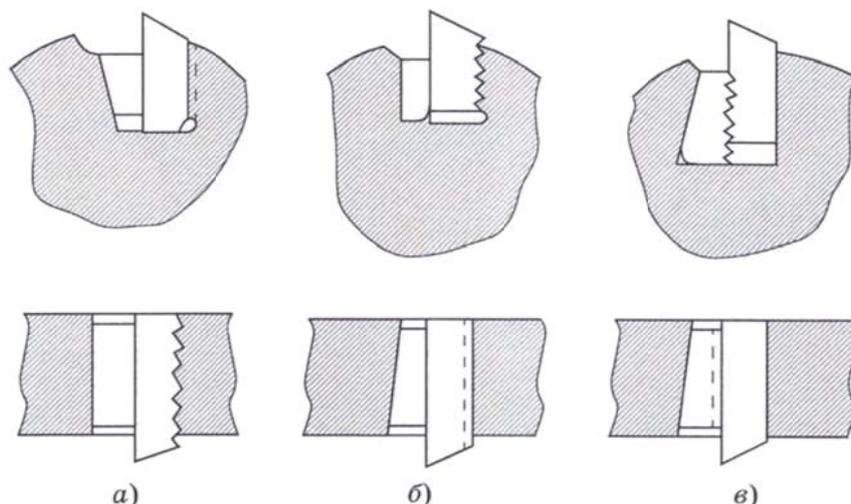


Рис. 7.3. Эскизы крепления вставного зуба при помощи плоского клина: а – радиальное; б – осевое; в – двойной клин

К недостаткам следует отнести неплотное прилегание сопряженных поверхностей; значительные силы закрепления, приводящие к короблению корпусов; невозможность точной установки вставных зубьев при отсутствии опор под вставной зуб в направлении запрессовки клина; затруднения разборки фрезы при радиальном расположении клина (рис. 7.3, а); нетехнологическая форма паза (рис. 7.3, в). Несмотря на указанные недостатки, такие конструкции могут рекомендоваться для дисковых и цилиндрических фрез при необходимости размещения значительного числа зубьев, для торцевых фрез с заточкой в собранном виде, для вставных зубьев, изготовленных как из быстрорежущей стали, так и оснащенных пластинками твердого сплава.

На рис. 7.4 показаны вставные зубья призматической формы, крепящий элемент – клин, перемещающий элемент – винт. Конструкция закрепляется с помощью винта или без него. Отдельные конструкции различаются расположением перемещающихся винтов относительно крепящих элементов и формой самих винтов.

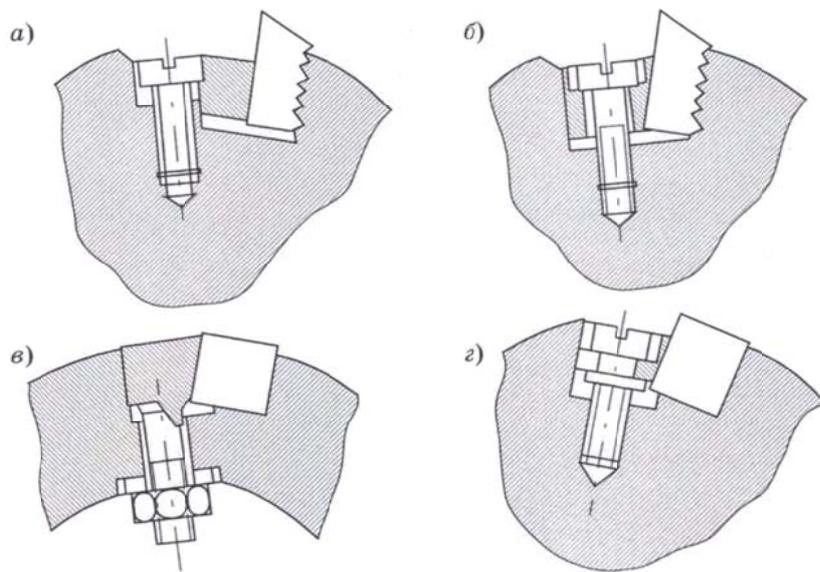


Рис. 7.4. Эскизы вставного зуба при помощи клиньев и винтов

Достоинствами таких конструкций креплений являются надежность, возможность замены отдельных вставных зубьев, точность установки вставных зубьев. К недостаткам следует отнести неплотное прилегание сопряженных поверхностей; возможность применения лишь для фрез большого диаметра при небольшом числе зубьев, трудность разборки фрезы (рис. 7.4, а, б, в), наличие резьбы в корпусе и опасность ее повреждения (рис. 7.4, а, б, г). Применяется этот вид креплений на дисковых и торцевых фрезах, оснащенных пластинками твердых сплавов. Рекомендуется также для торцевых фрез, затачиваемых в собранном виде.

**Методы крепления вставных зубьев, основанные на использовании круглого клина.** Крепящий элемент представляет собой *штифт с лыской*, наклоненной под определенным углом к оси. Вставные зубья призматической формы крепятся запрессовкой клина в паз корпуса.

Достоинствами конструкции считаются достаточная прочность крепления, возможность размещения большого числа зубьев, простота конструкции.

К недостаткам следует отнести некоторые технологические трудности получения точного расположения отверстий под штифт и изготовления лыски на штифтах небольшой длины, недолговечность

деталей крепления, возможность смещения вставного зуба при закреплении (рис. 7.5, а), трудность разборки (рис. 7.5, б).

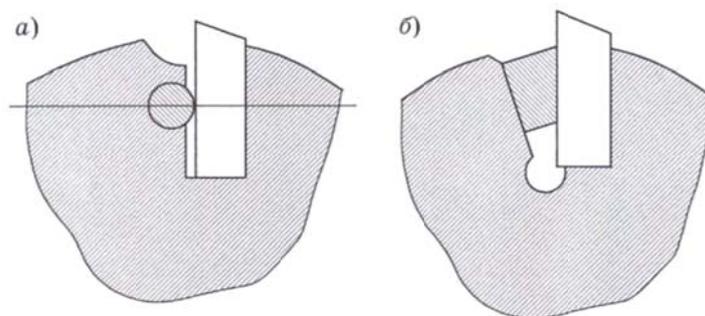


Рис. 7.5. Крепление вставных зубьев  
штифтами с лыской

Эти конструкции крепления находят сравнительно небольшое применение на дисковых и торцевых фрезах, оснащенных пластинками твердых сплавов. Их можно рекомендовать для фрез небольшой ширины при необходимости размещения большого числа зубьев.

На рис. 7.6 показаны крепящий элемент – штифт с лыской, промежуточный элемент – клиновидная прокладка с рифлениями. Вставные зубья призматической формы и со стороны передней грани имеют рифления. Вставной зуб закрепляется запрессовкой клина после установки зуба и прокладки. Конструкция обеспечивает надежность крепления без смещения вставных зубьев при сборке фрезы. К недостаткам следует отнести увеличение трудоемкости изготовления фрез ввиду наличия прокладки и необходимости изготовления закрытого паза; неплотное прилегание сопряженных поверхностей; неудобство изготовления лыски на штифтах; недолговечность крепящей детали. Эта конструкция находит сравнительно ограниченное применение на торцевых фрезах, оснащенных пластинками твердого сплава.

ных  
идной  
и и

На рис. 7.7 представлена схема крепления с использованием круглого клина. Промежуточный элемент здесь отсутствует. Перемещающий элемент – винт. Крепящий элемент – цилиндрическая втулка с лыской. Вставные зубья – трапециевидной формы или призматические с рифлениями. Вставной зуб закрепляется втулкой при подъеме ее винтом.

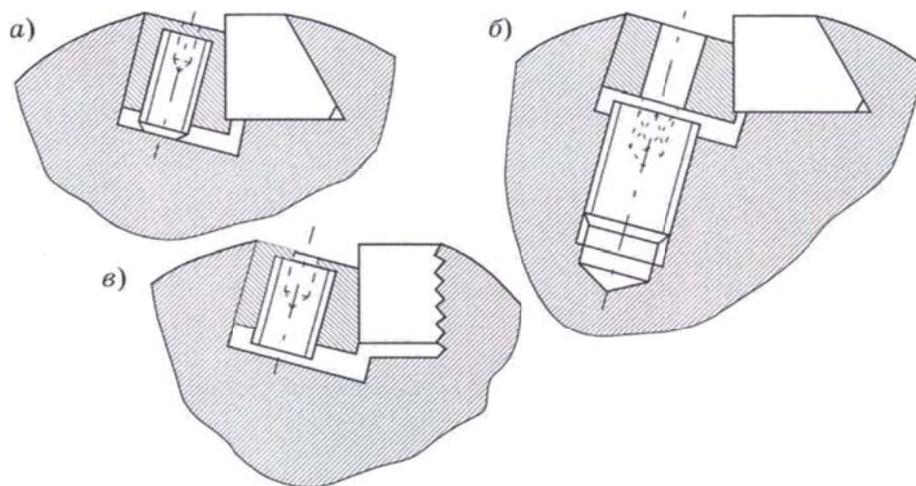


Рис. 7.7. Крепление вставных зубьев при помощи круглых втулок с лыской: а, б – вставные зубья трапецеидальной формы; в – вставной зуб призматической формы с рифлением

Отдельные конструкции отличаются формой вставного зуба и расположением перемещающего элемента. Достоинства рассматриваемой конструкции: возможность поворота втулки при закреплении и более равномерный прижим вставного зуба; быстросменность комплекта вставных зубьев, отсутствие легкоповреждаемых деталей, т. е. резьбы в корпусе (см. рис. 7.7, а, в); возможность использования вставных зубьев с различной степенью изношенности. К недостаткам следует отнести затруднения при радиальном регулировании вставных зубьев, относительное увеличение трудоемкости изготовления конструкции; возможность применения только на фрезах с  $D > 90$  мм при небольшом числе зубьев; возможность смещения вставного зуба при его закреплении. Рекомендуется для торцевых фрез с чугунными корпусами при необходимости обеспечения быстросменности вставных зубьев.

У конструкции крепления, показанной на рис. 7.8, промежуточный элемент отсутствует, крепящий элемент – винт. Вставные зубья – призматической формы. Закрепление вставного зуба осуществляется втулкой, затягиваемой винтом.

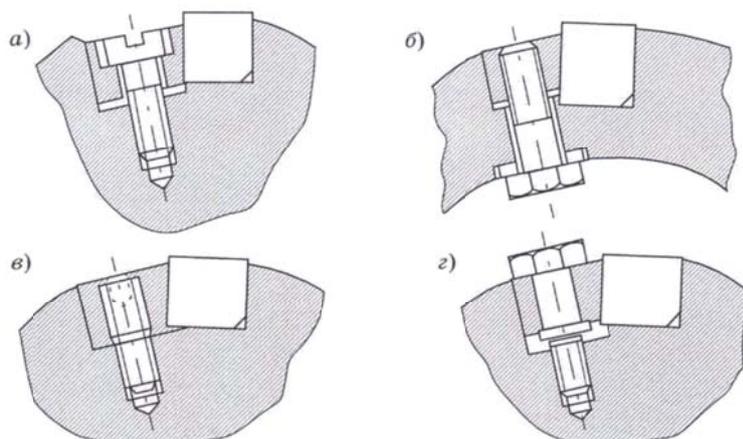


Рис. 7.8. Крепление вставных зубьев при помощи круглого клина: а – винтом; б – болтом; в – дифференциальным винтом; г – болтом с буртиком

Отдельные конструкции различаются расположением и формой перемещающего элемента и наличием специальных устройств, облегчающих разработку фрезы: дифференциальных винтов (рис. 7.8, в), болтов с буртиком (рис. 7.8, г) и др. Конструкция обеспечивает надежность крепления; возможность поворота втулки при закреплении и более равномерный прижим вставного зуба; точность установки вставных зубьев; использование на фрезе с отдельной заточкой вставных резцов; быстросменность комплекта вставных зубьев (рис. 7.8, б, в, г); возможность осевого и радиального регулирования. К недостаткам необходимо отнести возможность применения на фрезе свыше 90 мм при небольшом числе зубьев, наличие резьбы в корпусе. Указанное крепление применяется на дисковых и торцевых фрезе, оснащенных пластинками твердого сплава. Рекомендуется для торцевых фрез с отдельной заточкой вставных зубьев (резцов).

**Методы крепления при помощи клина конической формы.** В такой конструкции предполагается применять в качестве крепящего элемента конический штифт. Промежуточный элемент – упругая стенка корпуса. Вставные зубья призматической формы. Вставной зуб закрепляется запрессовкой штифта в паз корпуса. Отдельные кон-

струкции различаются количеством штифтов и размерами упругих стенок корпуса.

Эта конструкция обеспечивает равномерное распределение сил закрепления на поверхности вставного зуба, малые габаритные размеры крепящих деталей, возможность размещения большого числа зубьев, простоту разборки фрезы. Недостатками конструкции являются повышенная точность пазов и вставных зубьев по их толщине, наличие узких прорезей, недолговечность штифтов. Данный вид крепления применяется на дисковых фрезах с механическим креплением твердосплавных пластинок.

**Методы крепления с использованием эксцентриков.** Вставные зубья имеют призматическую форму и иногда снабжаются осевыми рифлениями. Вставной зуб закрепляется поворотом двух эксцентриков (рис. 7.9, а).

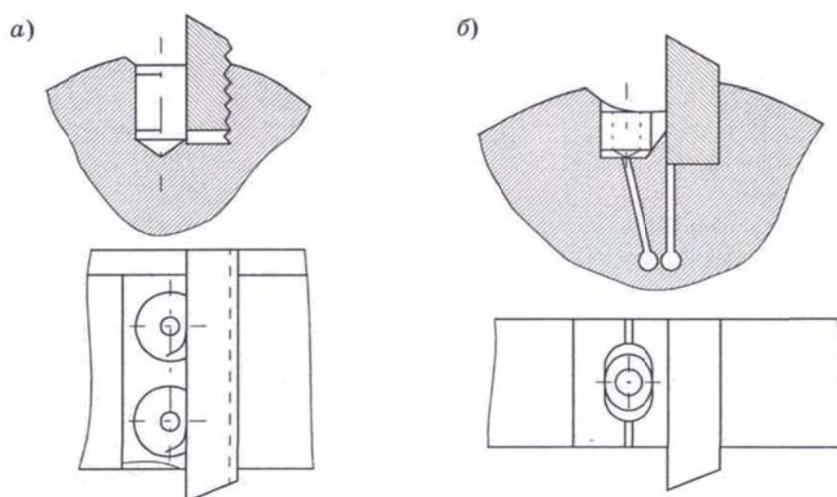


Рис. 7.9. Крепление вставных зубьев:  
а – двумя эксцентриками; б – одним эксцентриком

Эта конструкция крепления обеспечивает быстросменность вставных зубьев, возможность применения на фрезах малых диаметров, возможность использования на фрезах с большой длиной режущей кромки и при индивидуальном закреплении отдельных коротких вставных зубьев. Недостатками данной конструкции являются небольшая зона контакта эксцентрика со вставным зубом; недостаточная надежность крепления, что позволяет применять их лишь на фрезах, работающих в легких условиях; возможность смещения вставно-

го зуба при закреплении (здесь требуется введение дополнительной опоры со стороны заднего торца вставного зуба); недолговечность крепящей детали.

В конструкции, показанной на рис. 7.9, б, крепящий элемент тоже эксцентрик. Промежуточный элемент – упругая стенка корпуса фрезы. Вставные зубья призматической формы. Вставной зуб закрепляется поворотом эксцентрика. Отдельные конструкции отличаются друг от друга количеством эксцентриков на один вставной зуб. К достоинствам данной конструкции можно отнести равномерное распределение сил закрепления по поверхности вставного зуба, быстросменность вставных зубьев; малые габаритные размеры крепящих деталей; возможность применения на фрезах малого диаметра; возможность размещения большого числа зубьев и применения на цилиндрических фрезах при индивидуальном закреплении отдельных вставных зубьев (пластинок). Недостатками конструкции считаются повышенная точность пазов и вставных зубьев по их толщине, наличие узких прорезей, некоторые затруднения при изготовлении эксцентриков и их недолговечность. Разработанная конструкция крепления получила небольшое распространение. Она применяется на дисковых и концевых фрезах с механическим креплением пластинок. Может быть рекомендована для различных типов фрез при механическом закреплении пластинок твердого сплава.

**Методы крепления с использованием винтов.** В конструкциях данного метода крепления вставные зубья призматической формы. Закрепление вставного зуба осуществляется затягиванием винта (рис. 7.10). Отдельные конструкции различаются расположением вставных зубьев и винтов в корпусе фрезы. При этом обеспечиваются простота конструкции, быстросменность вставных зубьев, надежность крепления при использовании винтов значительных размеров с большими силами закрепления.

Недостатки конструкции: невозможность размещения большого числа зубьев (рис. 7.10, а), громоздкость (рис. 7.10, б), технологические затруднения при изготовлении закрытых пазов, недостаточная точность установки вставных зубьев, возможность смещения вставных зубьев при их закреплении, большие габаритные размеры крепящих деталей, значительные силы закрепления. Несмотря на это, описанная конструкция крепления находит широкое применение. Она

используется на торцевых и цилиндрических фрезах, оснащенных пластинками твердого сплава.

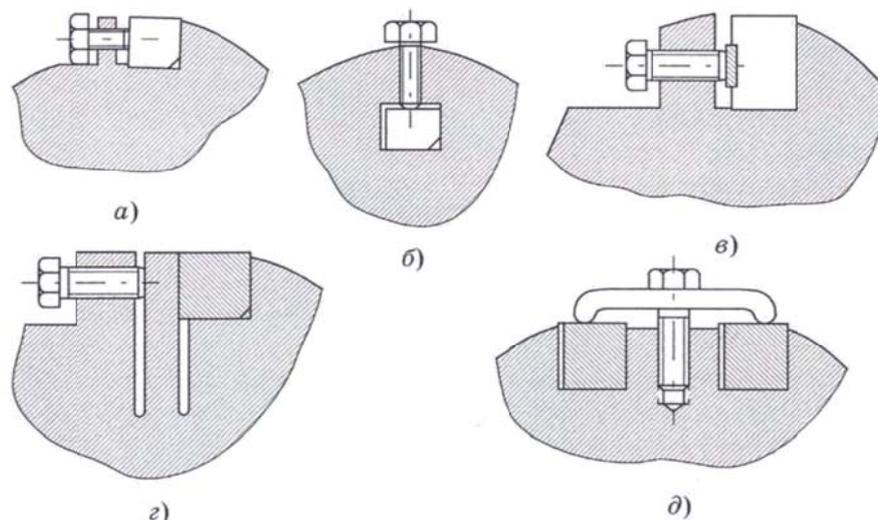


Рис. 7.10. Эскизы крепления вставных зубьев с использованием винтов

На рис. 7.10, в показана конструкция крепления, у которой промежуточный элемент – прокладка, крепящий элемент – винт. Достоинствами этого метода крепления являются простота конструкции, быстросменность вставных зубьев, удобство и надежность крепления зубьев. Недостатки: невозможность размещения большого числа зубьев, большие габаритные размеры крепящих деталей, необходимость значительных сил закрепления, отсутствие радиального регулирования вставных зубьев. Данная конструкция используется на торцевых фрезах, оснащенных пластинками твердых сплавов, не рекомендуется для широкого применения в промышленности.

На рис. 7.10, г представлена конструкция крепления, у которой промежуточный элемент – винт, перемещающий элемент отсутствует. Достоинства этой конструкции: равномерное распределение сил крепления по поверхности вставного зуба, быстросменность вставных зубьев, точность установки вставных зубьев. Недостатки ее: повышенная точность пазов и вставных зубьев по их толщине, наличие узких прорезей, невозможность размещения большого числа зубьев, большие габаритные размеры болтов для обеспечения долговечности корпуса.

У конструкции крепления, показанной на рис. 7.10, д, промежуточный элемент – накладка, крепящий элемент – болт. Закрепление

пары вставных зубьев осуществляется одним болтом через накладку. Отдельные конструкции различаются между собой формой накладок и их положением в корпусе фрезы. Достоинства такой конструкции крепления: возможность размещения большого числа зубьев, отсутствие смещений вставных зубьев при их закреплении, простота конструкции. Недостатки конструкции: пригодна лишь для больших диаметров фрез, необходимость значительных сил закрепления во избежание ослабления крепления в процессе фрезерования, увеличение габаритных размеров фрезы и наличие выступающих частей по наружному диаметру. Данный метод крепления нашел применение на торцевых фрезах, оснащенных пластинками твердых сплавов. Может быть использован для специальных торцевых фрез.

**Методы крепления, основанные на использовании специальных болтов.** При данном методе крепления вставные зубья имеют призматическую форму (рис. 7.11, а). Закрепление двух вставных зубьев производится одним специальным болтом.

Достоинства этой конструкции: возможность размещения большого числа зубьев, точная установка вставных зубьев, надежность закрепления при тяжелых условиях работы фрезы.

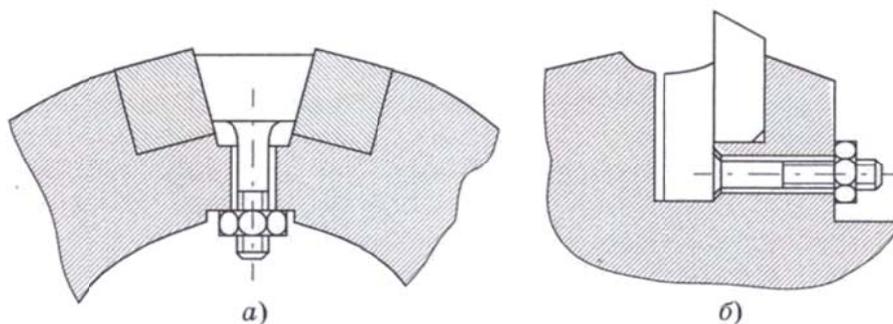


Рис. 7.11. Крепление вставных зубьев при помощи специальных болтов

Недостатки: необходимость точной пригонки клина головки болта, и больших сил закрепления, пригодность только для фрез больших диаметров, некоторые неудобства сборки и закрепления вставных зубьев. Эти конструкции не имеют широкого применения в промышленности. Используются для торцевых фрез, оснащенных пластинками твердых сплавов больших диаметров для обработки чугуновых заготовок. Могут быть использованы для специальных торцевых фрез.

У конструкции, показанной на рис. 7.11, б, крепящий элемент – болт с головкой особого фасонного профиля. Закрепление вставного зуба индивидуальное, с помощью болта. Недостатки: возможность размещения малого числа зубьев и нетехнологичность конструкции, используется для фрез небольших диаметров, главным образом с механическим креплением пластинок твердого сплава.

**Параметры вставных зубьев сборных фрез.** Величина вылета вставного зуба фрезы зависит от глубины срезаемого слоя и возможности свободного формирования и удаления стружки. Для надежной работы фрезы величина вылета вставного зуба (резца) должна быть минимально необходимой.

Вылет вставного зуба (резца)  $h_p$  складывается из следующих факторов: глубины срезаемого слоя  $t_0$ , превышения глубины срезаемого слоя  $k$ , запаса вылета для свободного формирования стружки. Величина  $k = 2 - 3$  мм.

Значение запаса вылета для свободного формирования стружки берется в зависимости от сечения резца в соответствии с табл. 7.1.

Таблица 7.1

Значения запаса вылета в зависимости от сечения резцов

Диаметр фрезы, мм	Сечение вставного зуба (резца), мм	Запас вылета $y$ , мм
75 – 90	12 x 12	9
110 – 130	14 x 14	11
150 – 175	16 x 16	12
200 – 400	20x20	15
500 – 1000	25x25	20

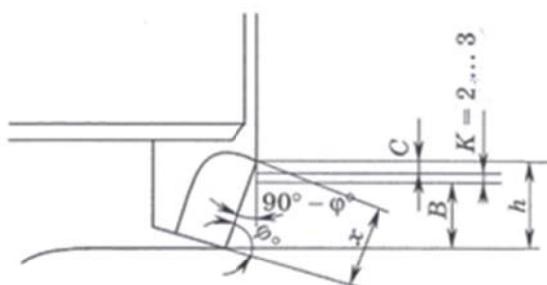


Рис. 7.12. Схема для расчета размеров пластинки из твердого сплава

Следовательно, величина вылета вставного зуба торцевой фрезы определяется следующим выражением:

$$h_p = t_0 + k + y.$$

Размер пластинки твердого сплава определяется исходя из величины вылета резца  $h_p$  и запаса на переточку  $C$  (рис. 7.12).

Длина пластинки  $x$  определяется по формуле

$$x = \frac{h_p}{\cos(90^\circ - \varphi)}$$

Определив длину пластинки  $x$  и выбрав нужную форму, подбирают номер пластинки по ГОСТ 2209-55.

Для прямоугольной формы вставных зубьев торцевых фрез можно рекомендовать значения вылета  $h_p$  [12] при работе с большими глубинами и подачами, представленные в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Значения вылета  $h_p$  вставных зубьев торцевых фрез

$D$ , мм	30 – 40	50 – 75	90 – 130	150 – 300
$b \times h$	12 x 16	16 x 18	18 x 20	20 x 22
$h_p$	10	12	14	16

При слишком большом вылете вставной зуб фрезы от действия окружной силы  $P$  будет изгибаться вокруг точки  $a$  (рис. 7.13), что в конечном счете может привести к раскалыванию пластины твердого сплава. Изгибающий момент на вставном резце, наклоненном к оси фрезы под углом  $\tau_2$ , определяется по формуле, кг · мм,

$$M_x = D \cdot b \cdot s \cdot \gamma_2 \cdot h_p.$$

Высота призматического резца торцевой фрезы может быть определена по выражению

$$h = A \sqrt[3]{D},$$

где  $A$  – коэффициент, равный 4 – 5 для фрез диаметром от 30 до 110 мм и 3,5 – 4,0 для фрез диаметром от 130 до 300 мм;  $D$  – диаметр фрезы, мм.

При определении ширины призматических резцов торцевой фрезы рекомендуется придерживаться следующих примерных отношений высоты вставного зуба (резца) к его ширине:

$$\frac{b}{h} = 1,3 \text{ для фрез диаметром до } 75 \text{ мм};$$

$$\frac{b}{h} = 1,1 \text{ для фрез диаметром от } 75 \text{ до } 300 \text{ мм}.$$

Длина призматического резца  $l$  определяется в зависимости от высоты корпуса торцевой фрезы  $H$ , величины вылета резца  $h_p$  и угла наклона вставного зуба к оси фрезы (см. рис. 7.13).

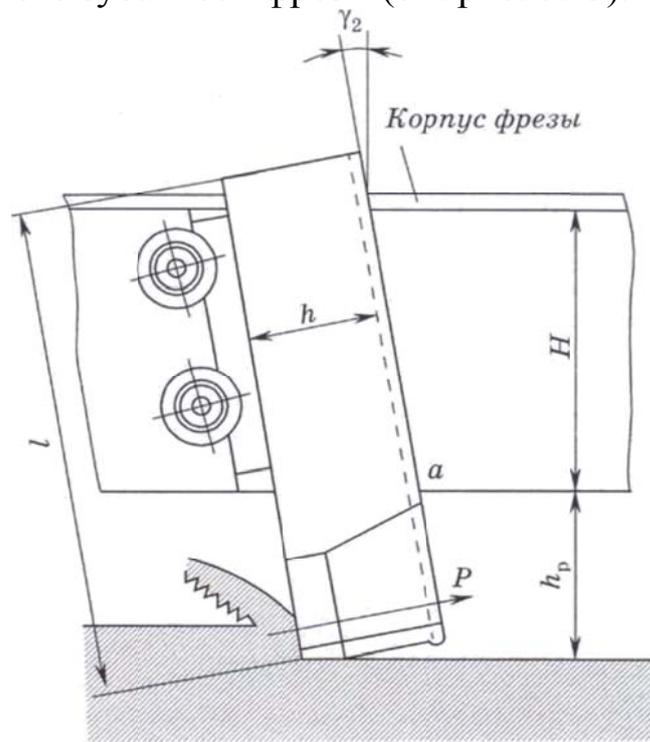


Рис. 7.13. Схема действия окружной силы на вставной зуб торцевой фрезы

Положение пазов под вставные зубья (резцы) характеризуется следующими параметрами: углом наклона  $\omega$  боковой стенки паза к оси фрезы, величиной резца  $h_p$  и смещением  $a$  паза относительно оси фрезы (рис. 7.14).

Предложенная И.Г. Барановым формула для определения угла наклона  $\omega$  имеет вид

$$\operatorname{tg} \omega = \operatorname{tg} \gamma_2 \cos \gamma_1,$$

где  $\gamma_2$  – продольный передний угол зуба фрезы;  $\gamma_1$  – поперечный передний угол фрезы.

$$a = -(R \sin \gamma_1 + h_p \operatorname{tg} \omega).$$

При обработке конструкционной стали ( $\sigma_b = 70 \text{ кг/мм}^2$ ) фрезами, оснащенными пластинками твердого сплава Т15К6, необходимая прочность режущей части может быть обеспечена при следующих размерах вставных зубьев и вылетах их из корпуса:

– для дисковых и цилиндрических фрез: толщина стержня вставного зуба (резца)  $C_n = 8...9 \text{ мм}$ ; толщина пластинки твердого сплава  $C_T = 2...2,5 \text{ мм}$ ; величина вылета резца  $h_p = 8...9 \text{ мм}$ ;

– для торцевых фрез: толщина вставного зуба (резца)  $C_n = 10...14 \text{ мм}$ ; толщина пластины твердого сплава  $C = 2,5...3,0 \text{ мм}$ ; величина вылета резца  $h_p = 8...10 \text{ мм}$  или  $h_p = (0,5...0,8)C_n$ .

Толщина пластинок для тяжелых работ фрезами с механическим креплением:

– на фрезах дисковых и цилиндрических  $C_T = 3,5...4 \text{ мм}$ ;

– на фрезах торцевых  $C_T = 4,5...5,0 \text{ мм}$ .

### 7.3. Фрезы с механическим креплением СМП

Фрезы с механическим креплением СМП широко применяются для обработки различных материалов.

Преимущество данных фрез по сравнению с фрезами с напаянными ножами состоит в повышении стойкости в два раза, сокращении до трех раз количества фрез, находящихся в обращении. Исключение – операции пайки и заточки ножей снижают количество брака при изготовлении, дают возможность использования новых марок твердого сплава, в том числе трудно поддающихся пайке.

Централизованно выпускаются стандартные фрезы с пятигранными (ГОСТ 22087-76) и круглыми (ГОСТ 22088-76) пластинами диаметром 60, 63 и 80 мм с коническим хвостовиком. Насадные торцевые фрезы с СМП (ГОСТ 26595-85) выпускаются диаметром 80, 100, 125, 160 – 200 мм и более.

Для снятия больших припусков применяются ступенчатые торцевые фрезы, обеспечивающие снятие больших припусков (до 25 мм) за один проход без возникновения вибраций, снижение мощности на резание до 20 – 30 % и увеличение производительности труда по отношению к одноступенчатым фрезам в зависимости от количества ступеней. Все более широкое распространение в металлообработке получают торцевые фрезы, оснащенные СМП из минералокерамики и пластинами из композита.

Применение фрез с пластинами из минералокерамики и композита наиболее целесообразно при получистовой и чистовой обработке закаленных сталей и чугунов.

### ***Конструкции и геометрические параметры фрез с СМП***

На рис. 7.15 показана типовая конструкция стандартной фрезы с СМП. В корпусе фрезы 1 выполнены пазы, в них устанавливают державки 6 со штифтом 7, на которые надеты режущие пластины 8. На корпусе расположено кольцо 2, имеющее отверстия для зажимных винтов 5, ввернутых в хвостовик державок 6. Для сборки фрезы предусмотрены пружины 3 и шайбы 4, поджимающие режущую пластину к базовым поверхностям корпуса и державки. Окончательно пластины закрепляются винтом 5 при втягивании державки в паз корпуса, которая штифтом прижимает режущую пластину к фаскам 9, выполненным в кольцевом желобе 10.

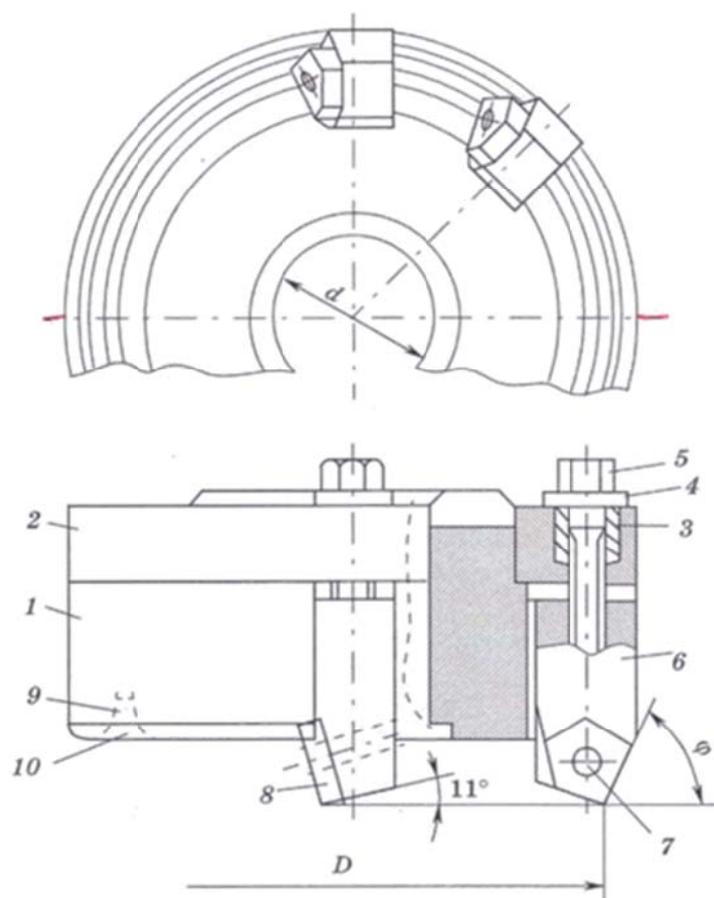


Рис. 7.15. Торцевая фреза с механическим креплением пятигранных неперетачиваемых пластин

Кольцевой желоб выполняется на торце корпуса фрезы и соответствует форме пластины.

По этому же принципу устроены и ступенчатые (двух- и трехступенчатые) фрезы с СМП. Их отличие от неступенчатых заключается в том, что их режущие зубья расположены волнообразно как в радиальном, так и в осевом направлении (рис. 7.16). Фреза снабжена дополнительным кольцом 3 с пазами и внешней ступенчатой конусной поверхностью, закрепляемой в корпусе 2 винтами 6. Аналогичные прорези и внутреннюю ступенчатую поверхность имеет корпус 2 фрезы.

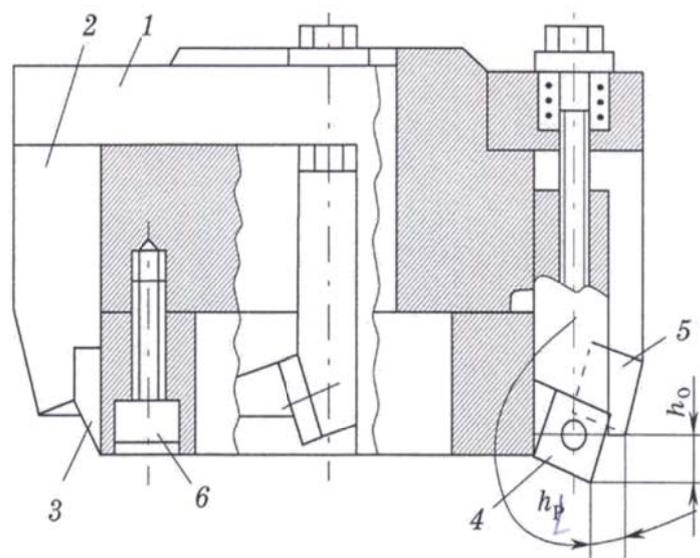


Рис. 7.16. Торцевая двухступенчатая фреза с механическим креплением пластин

Сочетание ступенчатых поверхностей кольца и корпуса образует ступенчатые гнезда под режущие пластины. После закрепления режущие кромки смежных зубьев 4 и 5 оказываются смещенными в радиальном направлении на  $h_p = 1$  мм, в осевом — на величину  $h_0$  ( $h_0 = 7...9$  мм для двухступенчатых и  $h_p = 6,5$  мм для трехступенчатых фрез). Передний угол  $\gamma$  образуется за счет наклона пластины в державке под углом  $\gamma_y = -11^\circ$  и смещения положения пластины относительно диаметральной плоскости с образованием  $\lambda = 7...8^\circ$ . Пластины с плоской передней поверхностью при этом будут иметь  $\gamma = -10^\circ$ , а пластины со стружколомающей канавкой и углом  $\gamma_n = 20^\circ$  после установки будут иметь  $\gamma = 10^\circ$ .

Фрезы с положительным передним углом рекомендуется применять:

- для обработки нежестких деталей или на нежестких станках;
- в условиях обработки на станках с недостаточной мощностью;
- при обработке вязких металлов.

При обработке чугуна, особо твердых металлов и в условиях больших ударных нагрузок необходимо применять фрезы с отрицательным передним углом.

Задний угол  $\alpha$  получается за счет установки режущей пластины в корпусе ( $\alpha = 10^\circ$  для всех типов фрез).

Таблица 7.3

Углы в плане  $\varphi$  и  $\varphi_1$  для многогранных пластин

Число граней пластины	Главный угол в плане $\varphi$	Вспомогательный угол в плане $\varphi_1$
4	5	6
75	67	55
15	5	5

Значения углов в плане  $\varphi$  и  $\varphi_1$  для круглых пластин зависят от глубины резания.

При проектировании фрез с механическим креплением СМП параметры, ориентирующие режущую пластину в корпусе фрезы в зависимости от заданной рабочей геометрии лезвия, можно определить из схемы (рис. 7.17) в следующей последовательности.

Выбирают передние и задние углы  $\gamma_N$  и  $\alpha_N$  и угол в плане  $\varphi$  по действующим нормативам в зависимости от марки обрабатываемого материала, определяют радиальный передний угол  $\gamma_{\text{рад}}$  по формуле

$$\text{tg } \gamma_{\text{рад}} = \text{tg } \gamma_N \sin \varphi.$$

Затем подсчитывают боковое смещение пластины

$$K = \frac{D_{\text{фр}}}{2} \sin \gamma_{\text{рад}};$$

радиальное смещение

$$E = \frac{D_{\varphi}}{2} \cos \gamma_{\text{рад}};$$

осевой наклон пластины

$$\sin \gamma_0 \approx \frac{\operatorname{tg} \alpha_N + \operatorname{tg} \gamma_N \sin^2 \varphi}{(1 - \operatorname{tg} \alpha_N \operatorname{tg} \gamma_N) \cos \varphi},$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{\text{рад}} = \operatorname{tg} \gamma_N \sin \varphi;$$

боковое смещение пластины

$$K = \frac{D_\phi}{2} \sin \gamma_{\text{рад}};$$

радиальное смещение

$$E = \frac{D_\phi}{2} \cos \gamma_{\text{рад}};$$

осевой наклон пластины

$$\sin \gamma_0 \approx \frac{\operatorname{tg} \alpha_N + \operatorname{tg} \gamma_N \sin^2 \varphi}{(1 - \operatorname{tg} \alpha_N \operatorname{tg} \gamma_N) \cos \varphi}.$$

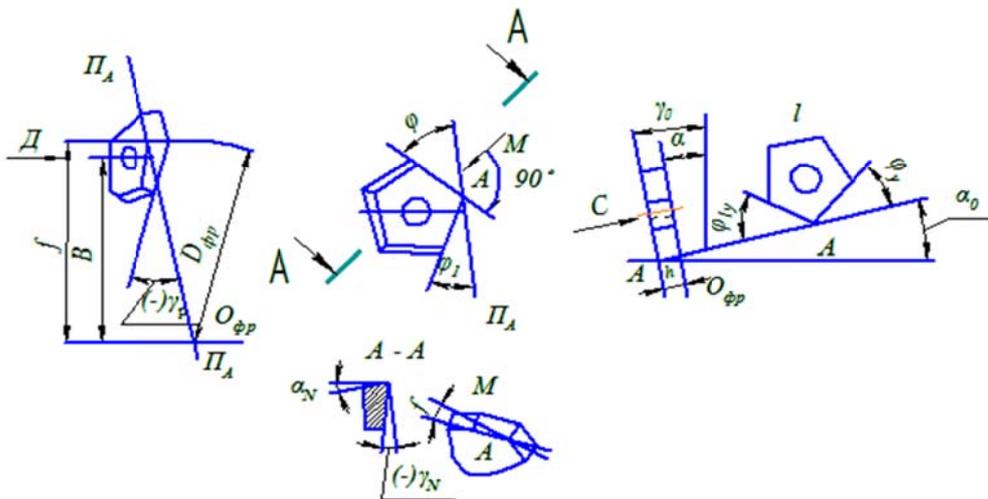


Рис. 7.17. Схема для расчета параметров ориентации СМП в корпусе фрезы

Установочный угол в плане  $\varphi_y$  с допустимой для практики точностью принимается равным углу в плане  $\varphi$ :

$$\varphi_y \approx \varphi.$$

Угол наклона режущей кромки определяется из уравнения

$$\operatorname{tg} \lambda = \operatorname{tg} (\psi - \gamma_{\text{рад}}) \cos \varphi,$$

где  $\operatorname{tg} \psi = \operatorname{tg} \varphi \sin \gamma_0$ .

На основании полученных параметров рассчитывают базовые размеры  $a_1$  и  $B$ .

#### 7.4. Прогрессивные конструкции торцевых фрез с механическим креплением СМП

Наряду со стандартными фрезами на производстве широко применяются прогрессивные конструкции торцевых фрез с механическим креплением СМП.

Торцевая фреза с коническим хвостовиком конструкции М. А. Зайцева отличается минимальным количеством зажимных элементов (рис. 7.18). Режущие пластины 2 закрепляют пружинящим коническим штифтом 4. Пружинящий эффект достигается за счет смещения оси отверстия под штифт в сторону опорной боковой базы корпуса 1 по отношению к оси отверстия пластины. В качестве боковых баз используются поверхности конической втулки 3 и боковая поверхность гнезда в корпусе. Втулку 3 устанавливают в центральном отверстии корпуса и закрепляют винтом 5.

Конструктивное исполнение обеспечивает изготовление фрез диаметром 40, 50 и 63 мм с числом зубьев 4 и 5, оснащенных пятигранными пластинами. Фреза имеет геометрические параметры: передний радиальный угол  $\gamma_p = 3^\circ$ , передний осевой угол  $\gamma_o = 11^\circ$ , задний угол  $\alpha = 3^\circ$ .

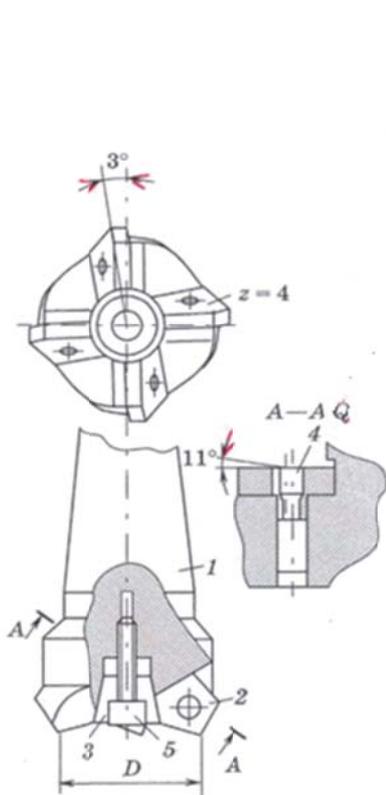


Рис. 7.18. Торцевая фреза конструкции М. А. Зайцева

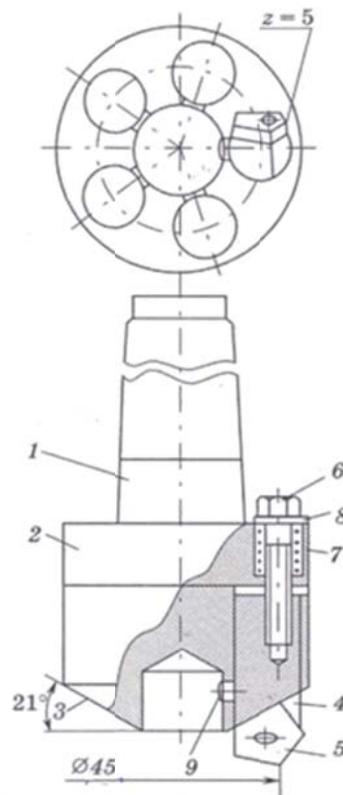
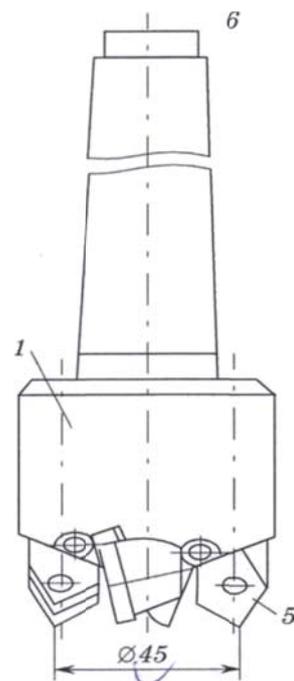


Рис. 7.19. Торцевая фреза с пятигранными пластинами

На рис. 7.15 – 7.24 приведены конструкции торцевых фрез, оснащенных режущими пластинами трех-, четырех- и пятигранной формы. Отличительная особенность данных фрез от стандартных в том, что базой при закреплении пластин является коническая поверхность корпуса, а не кольцевой желоб. Такое конструктивное исполнение обеспечивает получение различных значений углов в плане при использовании пластин одной формы за счет изменения угла конуса базовой поверхности корпуса.

На рис. 7.19 приведена конструкция фрезы диаметром 45 мм с числом режущих зубьев 5.

Фреза состоит из корпуса 1, кольца 2, державок 4, в которых на штифтах установлены режущие пластины 5. Узел крепления, как и у стандартных фрез, включает винт 6, пружину 7 и шайбу 8. Базовая коническая поверхность на корпусе 3 выполнена под углом  $21^\circ$  и обеспечивает при установке пластин в корпусе углы  $\varphi = 57^\circ$  и  $\varphi_1 = 13^\circ$ . Резьбовые отверстия под винты в державках 4 смещены относительно их осей в сторону наружного диаметра корпуса фрезы. Для предохранения от поворота державка снабжена штифтом 9, входящим в паз корпуса фрезы.



Торцевая фреза (рис. 7.20) отличается от рассмотренной конструкции тем, что винты для крепления державок установлены со стороны торца фрезы.

Фреза состоит из корпуса 1, в отверстиях которого установлены державки 2, оснащенные режущими пластинами 3. Пластины закрепляют винтами с конической головкой.

Винты установлены параллельно осям державок и своими коническими головками контактируют с продольными коническими лысками на державках.

На рис. 7.21 приведена конструкция торцевой насадной фрезы, оснащенной четырехгранными режущими пластинами.

Фреза состоит из корпуса 1, в отверстиях которого установлены и закреплены при помощи винтов 3 державки 2 с режущими пластинами 4. Режущие пластины одной своей гранью базируются на внутренний конус корпуса фрезы, который имеет наклон, обеспечивающий при установке пластины углы в плане  $\varphi = 75^\circ$  и  $\varphi_1 = 15^\circ$ .

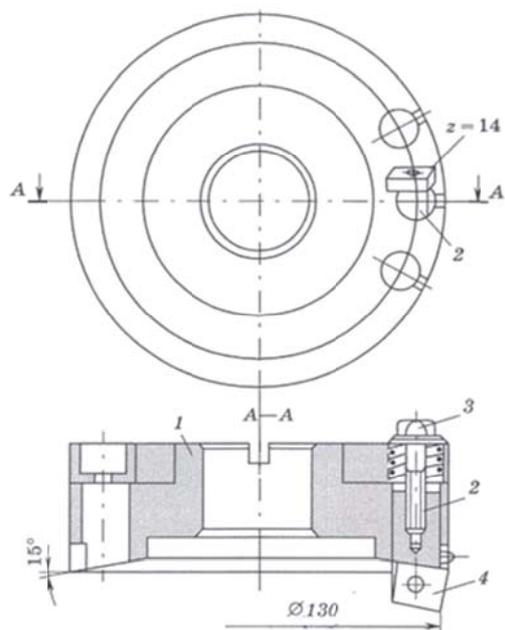


Рис. 7.21. Торцевая насадная фреза с четырехгранными пластинами

Фрезерная головка (рис. 7.22), оснащенная трехгранными режущими пластинами, предназначена для фрезерования плоскостей с уступом под углом  $90^\circ$ .

Фреза состоит из корпуса 1, кольца 2, державок 3, оснащенных режущими пластинами 4. Закрепление державок с пластинами осуществляется винтом 5. Резьбовые отверстия в державках 3 под винтом 5 выполнены со смещением в сторону наружного диаметра корпуса.

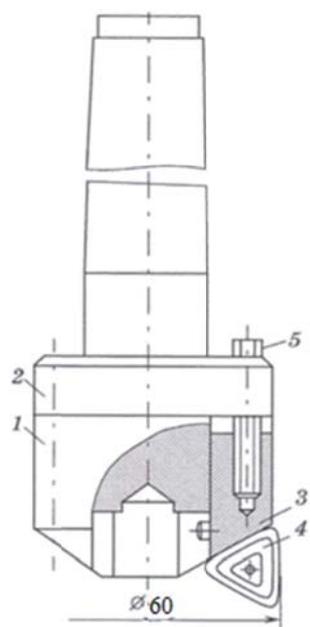


Рис. 7.22. Торцевая фреза с трехгранными пластинами

Отверстия под державки вскрыты со стороны наружного диаметра корпуса фрезы, а державки имеют лыски, что обеспечивает выступание режущих пластин за корпус фрезы. Режущие пластины одной своей гранью базируются на наружную коническую поверхность корпуса, обеспечивающую угол в плане  $\varphi = 90^\circ$ . Такое конструктивное решение позволяет обрабатывать не только плоскости, но и различные выемки типа карманов в корпусных деталях.

На рис. 7.23 показана конструкция торцевой двухступенчатой фрезы, оснащенной пятигранными режущими пластинами.

Фреза состоит из корпуса 1, в котором выполнены сквозные отверстия 2 двух диаметров  $D_1$  и  $D_2$  под державки пластин 5. Рабочий торец корпуса фрезы изготовлен в виде усеченного конуса с углом  $\varphi_k = 26^\circ$ , на котором имеются базовые поверхности 3 под режущие пластины 4. Державки закрепляются винтами 8. Для удобства сборки фрезы в конструкции предусмотрены конические пружины 6 и шайбы 7. Использование конических пружин исключает промежуточное кольцо.

Фреза предназначена для снятия припуска до 7,0 мм по 3,5 мм каждой ступенью. При снятии припуска 5,0 мм первой ступенью общий припуск составит 8,5 мм. Изменяя угол конуса корпуса фрезы, можно значительно расширить диапазон снимаемых припусков, не увеличивая диаметр фрезы.

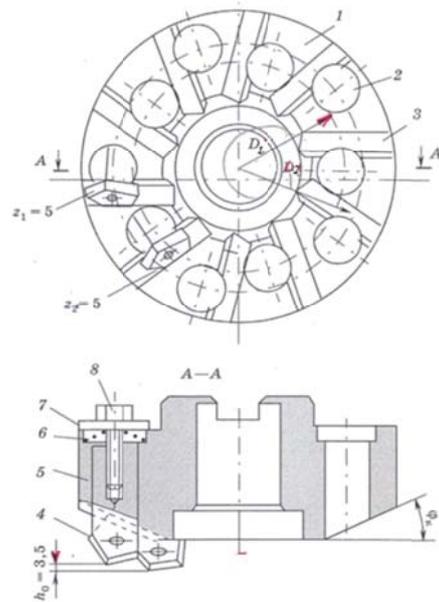


Рис. 7.23. Торцевая насадная двухступенчатая фреза с пятигранными пластинами

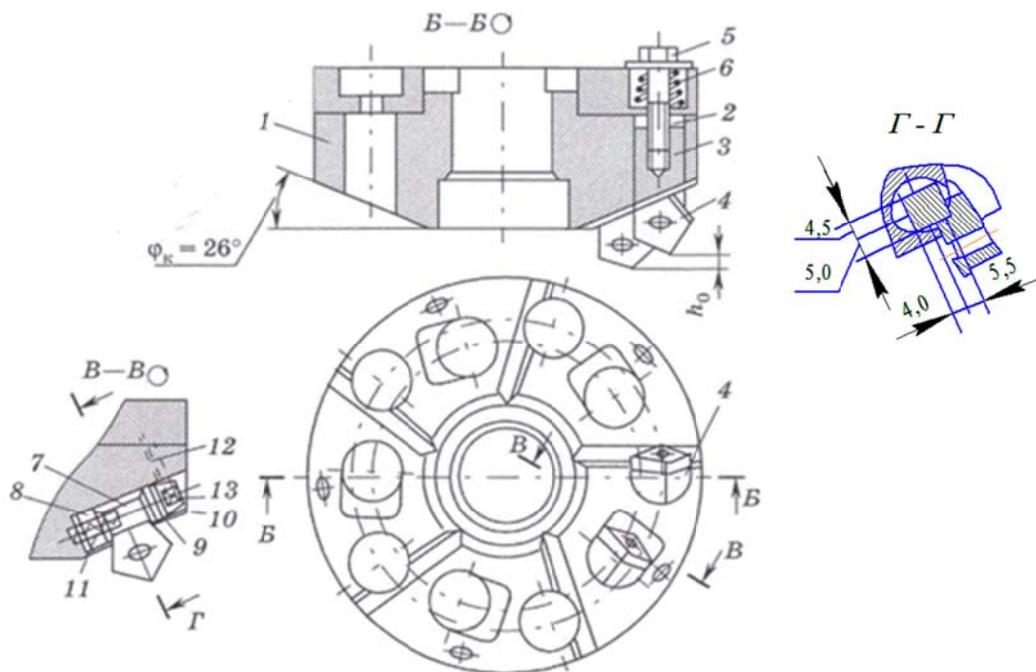


Рис. 7.24. Торцевая насадная двухступенчатая фреза с регулировкой пятигранных пластинок

Конструкция торцевой двухступенчатой фрезы (рис. 7.24) расширяет ее технологические возможности за счет регулировки режущих элементов второй ступени.

Фреза состоит из корпуса 1, рабочий торец которого выполнен в форме усеченного конуса с углом  $\varphi_k = 26^\circ$ . В отверстиях корпуса установлены резцовые державки 3 с пластинами 4, которые закрепляются в корпусе винтами 5 с пружиной 6. Параллельно образующей конуса установлены регулировочные элементы 7 для настройки режущих пластин второй ступени.

Регулировочный элемент изготовлен в виде четырехгранника, каждая сторона которого является опорной поверхностью для режущих пластин. Для базирования в отверстии корпуса регулировочный элемент имеет два цилиндрических пояска 8 и 9. Шаг каждой опорной поверхности относительно друг друга увеличивается на 0,5 мм.

Ориентация каждой опорной поверхности относительно боковой грани режущей пластины осуществляется при помощи запорного корпуса 10, выполненного в виде усеченной пирамиды с числом граней, соответствующих числу опорных поверхностей. Запорный конус своими гранями развернут относительно опорных поверхностей на угол  $\alpha$ , равный заднему углу резания. Под действием пружины 11 регулировочный элемент одной из граней прижимается к штифту 12, установленному в корпусе фрезы. Регулировочный элемент поворачивается при помощи квадрата 13. Регулировка пластин второй ступени увеличивает осевое смещение  $h_o$  вершин режущих пластин второй ступени относительно режущих пластин первой ступени, а именно с  $h_{o1} = 3,5$  мм до  $h_{o4} = 5,0$  мм, т. е. обеспечивается снятие припуска 7 – 10 мм.

### **7.5. Фрезы, оснащенные режущими элементами из ПСТМ**

Инструмент, оснащенный поликристаллическими сверхтвердыми материалами (ПСТМ) и керамикой, предназначен в первую очередь для высокоскоростного резания, такого, при котором скорость возрастает в 10 раз и более (на порядок) по сравнению с уровнем, установившимся для данного обрабатываемого материала и твердосплавного инструмента. В настоящее время наибольшее распространение высокоскоростное резание находит при фрезеровании

инструментом из ПСТМ. Привлекательность фрезерования для работы на автоматизированных станках с высокими скоростями объясняется тем, что концевые и торцевые фрезы осесимметричны, обладают приемлемыми размерами и массой, легко подвергаются балансировке; кроме того, при фрезеровании нет проблемы стружкодробления. Превосходство поликристаллического кубического нитрида бора (ПКНБ) над твердыми сплавами при рекомендуемых для ПКНБ сечениях среза очевидно. Процесс фрезерования чугунов и сталей инструментом из ПКНБ принципиально отличается от обработки твердосплавными фрезами:

- скорость резания сталей в 4 раза, а чугунов в 10 – 20 раз выше;
- подачи на зуб в 2 – 4 раза меньше, а минутная подача в 2 – 5 раз больше;
- силы резания в 2 – 4 раза меньше;
- потребляемая мощность в 3 – 8 раз больше, а удельный расход электроэнергии на деталь остается неизменным;
- неплоскостность и шероховатость обработанной поверхности в 2 – 4 раза ниже;
- отсутствует наклеп (из-за высоких температур в зоне резания, превышающих 1000 °С);
- производительность съема припуска в 1,5 – 5 раз выше.

Фрезерование инструментом из ПКНБ и точение по ряду параметров также различаются. Более распространенные знания о точении часто механически переносятся на фрезерование, что может приводить к отрицательным результатам. Чтобы избежать этой ошибки, нужно помнить следующее:

1) точение сырых сталей резцами из ПКНБ осуществляется на скорости 100 – 200 м/мин, что экономически невыгодно в сравнении с твердосплавными резцами; фрезерование проводится на скорости 400 – 900 м/мин, при этом обеспечиваются высокое качество обработки и в отдельных случаях экономический эффект;

2) скорости резания при фрезеровании закаленных сталей и чугунов инструментом из ПКНБ в 3 – 4 раза выше, чем при точении;

3) невозможно фрезерование закаленных либо быстрорежущих сталей HRC 60 – 70 инструментом из ПКНБ, тогда как непрерывное точение этих сталей (без удара) чрезвычайно эффективно;

4) предварительное фрезерование чугунов при корке эффективно и находит все более широкое применение, а точение по корке пока применяется ограниченно;

5) резцы из композита 01 не рекомендуются для точения с ударом закаленных сталей, а при фрезеровании композит 01 очень эффективен при обработке чугунов и сталей любой твердости;

6) резцы с пластинами из композитов 05 и 06 одинаково эффективно обрабатывают и чугуны, и закаленные стали, а торцовые фрезы предназначены только для обработки чугунов;

7) при точении определяющее влияние на стойкость инструмента из ПКНБ оказывает скорость резания, а при фрезеровании – подача на зуб. Поэтому при заданной глубине резания в случае точения сначала назначают подачу на оборот, максимальную по критерию точности и качества обработки, а затем подбирают экономически эффективную скорость резания. В случае фрезерования, наоборот, сначала назначается максимально возможная скорость резания, затем подбирается подача на зуб, обеспечивающая требуемое качество поверхности.

При использовании ступенчатых фрез максимальная глубина резания может быть увеличена в 1,5 – 2 раза. Для эффективной эксплуатации фрез из ПСТМ создается оборудование, в полной мере отвечающее требованиям этого инструмента в части скоростной характеристики, мощности, жесткости и виброустойчивости. Так, фирма Heiliegens-taedt (Германия) разработала новый тяжелый высокоскоростной ( $n \leq 50$  тыс. мин<sup>-1</sup>;  $S_m \leq 35$  тыс. мм/мин) порталный продольно-фрезерный станок с длиной зоны обработки 5 м, на котором скорость резания фрезой диаметром 80 мм может достигать 12 тыс. м/мин (200 м/с), что характерно уже для сверхскоростной обработки; причем при  $S_m = 35$  тыс. мм/мин подача на оборот  $S_o = 0,7$  мм, что обеспечивает высокое качество обработанной поверхности. Фирма Heller (Германия) создала фрезерные станки для высокоскоростной предварительной (по корке) обработки привалочных плоскостей чугунных блоков двигателей автомобилей фрезами диаметром 315 – 500 мм с пластинами из ПКНБ или нитридной керамики при глубине резания до 5,0 мм и продольной подаче  $S_m = 5000$  мм.

Таким образом, наблюдается вполне сформировавшаяся тенденция не только увеличения скорости вращения шпинделей до 30 – 60 тыс. мин<sup>-1</sup> и подач до 20 – 50 м/мин, но и повышения мощно-

сти главных приводов до 30 – 50 кВт, что создает базу для широкого внедрения в машиностроении высокоскоростного обдирочного, получистового и чистового резания с применением новых инструментальных материалов. Увеличение скорости резания позволяет снизить силы резания и уменьшить наклеп, снизить подачу на оборот при увеличенной минутной подаче и тем самым уменьшить шероховатость обработанной поверхности, улучшить показатели точности, предъявляемые к корпусным деталям. Установлено также, что скорость резания служит важнейшим резервом повышения не только производительности обработки, но и в силу особенностей физико-механических свойств ПСТМ и керамики – надежности процесса фрезерования. Значимость процесса торцевого фрезерования в технологии металлообработки подтверждают результаты анализа значительного количества наименований деталей, обрабатываемых на станках с числовым программным управлением (ЧПУ), многоцелевых станках и комплексно-автоматизированных участках: корпусные детали составляют 27 % от общего числа изготавливаемых деталей, а трудоемкость их обработки – около 60 % суммарной трудоемкости.

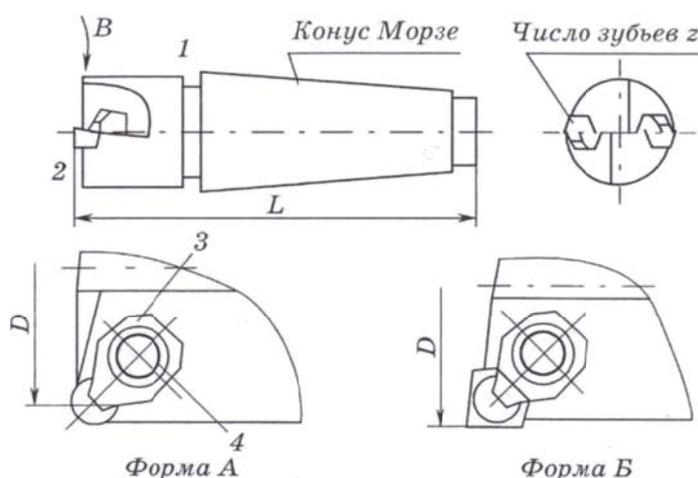


Рис. 7.25. Хвостовые торцевые фрезы диаметром 20 – 63 мм с механическим креплением пластин из ПСТМ

Существенная доля этой трудоемкости приходится на обработку плоскостей, к большинству которых предъявляются следующие требования по точности и качеству: непараллельность плоскостей и их неплоскостность не более 0,01 мм на длине 100 мм; шероховатость обработанных поверхностей  $Ra = 1,25...2,5$  мкм.

Для фрезерования плоскостей малогабаритных корпусных деталей разработана конструкция хвостовых торцевых фрез диаметром 20 – 63 мм с механическим креплением пластин из ПСТМ.

Фреза (рис. 7.25, табл. 7.4) состоит из корпуса 1 и режущих пластин 2, закрепляемых в корпусе прихватом 3 посредством винта 4.

Таблица 7.4

Фрезы (право- и леворежущие), оснащенные круглыми (форма А) и ромбическими (форма Б) пластинами (см. рис. 7.25)

<i>D</i>	Обозначение конуса Морзе	<i>L</i>	<i>z</i>
20 25	3	125	–
32	4	150	1 2
40 50 63	5	155 155 195	3 3 4

Гамма нерегулируемых сборных торцевых фрез диаметром 80 – 160 мм (рис. 7.26) разработана уже по кассетному принципу. Пластины крепятся в гнезде державки 3 прихватом 5, который прижимает пластину винтом 2. Кассета крепится в корпусе фрезы под винтом 6. Винт 7 осуществляет подтягивание кассеты до упора в корпус фрезы для выборки возможных зазоров, а также осевое микрорегулирование кассет.

Главным направлением развития конструкции торцевых фрез с пластинами из ПСТМ и керамики является создание и освоение выпуска инструмента, построенного по кассетному принципу и оснащенного механизмами точного регулирования положения режущих кромок. Насадные регулируемые кассетные фрезы диаметром 125 – 250 мм, в том числе ступенчатые, с пластинами из ПКНБ предназначены прежде всего для сверлильно-фрезерно-расточных станков с ЧПУ, а диаметром 315 – 800 мм – для специальных тяжелых станков, встроенных в автоматические линии (рис. 7.27, табл. 7.5).

Фреза состоит (см. рис. 7.27) из корпуса 1 и кассет с режущими пластинами 8.

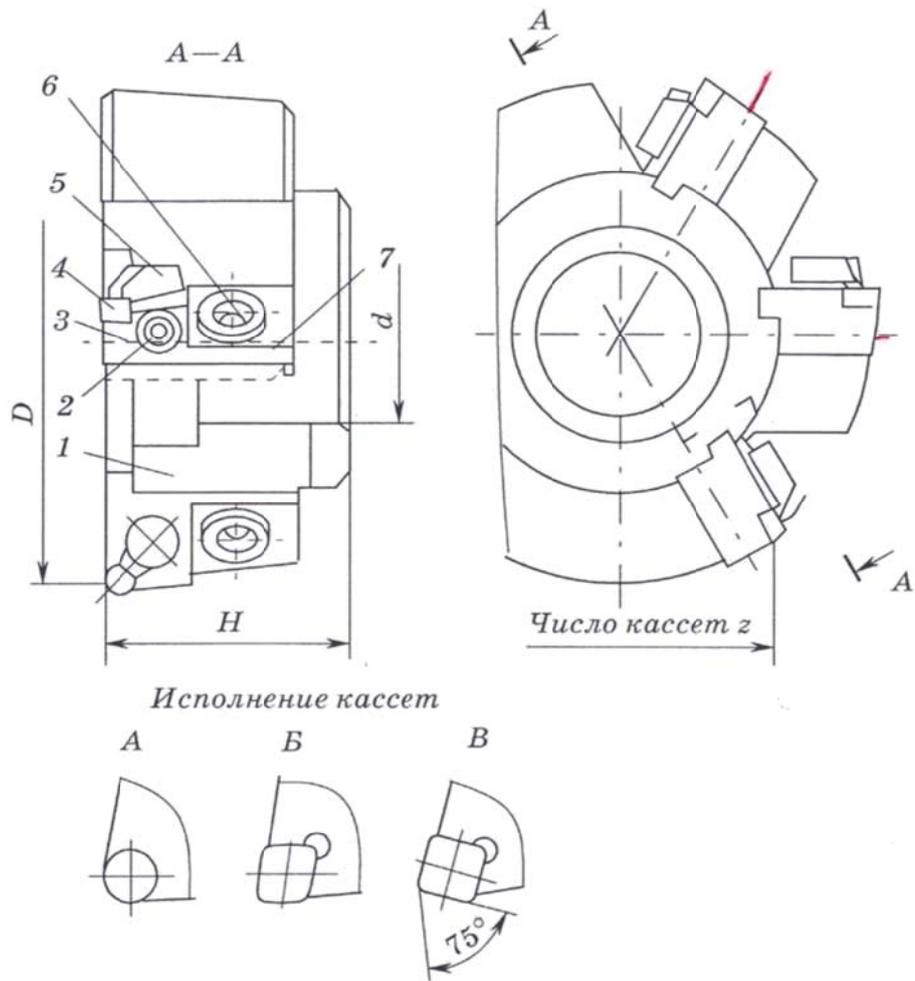


Рис. 7.26. Насадные сборные торцевые фрезы диаметром 80 – 160 мм с механическим креплением пластин из ПСТМ

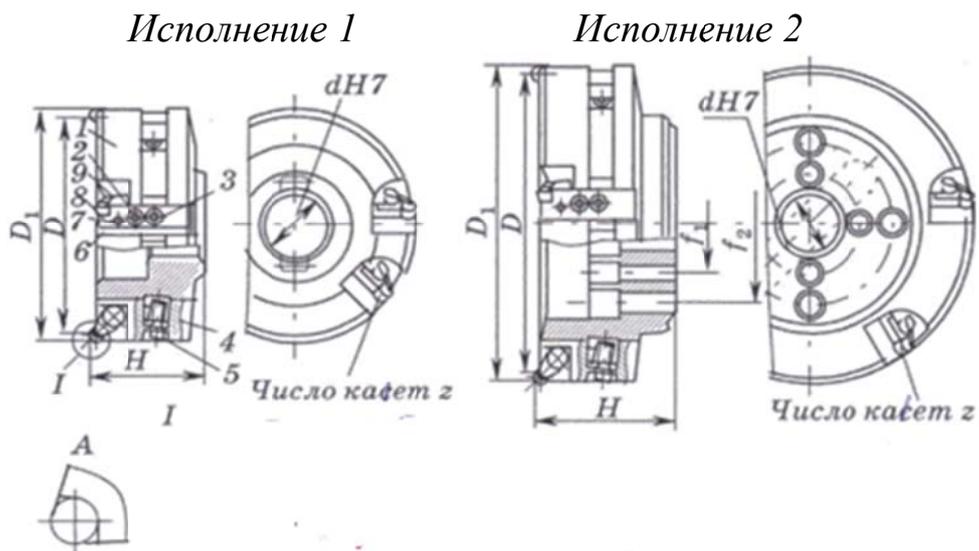


Рис. 7.27. Насадные сборные торцевые фрезы диаметром 125 – 800 мм с осевым регулированием и настройкой положения режущих кромок пластин из ПСТМ

Таблица 7.5

## Насадные регулируемые кассетные фрезы

Исполнение	$D$ , мм	$D_1$ , мм	$d$ , мм	$H$ , мм	$f_1$ , мм	$f_2$ , мм	$z$
1	125	130	40	63	–		10
	160	165	50				14
	200	205					18
2	160	165	40	63	66,7		14
	200	205					18
	250	255					24
	315	320	60	80	101,6	177,8	30
	400	405					40
	500	505					50
	630	635					60
	800	805					80

**Примечание.** Фрезы (право- и леворежущие) оснащаются кассетами двух исполнений: А – кассеты с гнездом под круглые пластины; Б – кассеты с гнездом под квадратные пластины с главным углом в плане  $75^\circ$ .

Кассеты крепятся в пазах корпуса винтами 2 и состоят из державки 6, прихвата 9, крепежного винта 7, сухаря 4 и регулировочного винта 3 с ограничительной шайбой 5.

Конструкция фрезы предусматривает осевое регулирование кассет. Настройка осуществляется в два этапа. Предварительно двумя винтами при легком поджатии державок винтами 2 вершины пластин выравняются в пределах 0,02 мм. Затем винты 2 закрепляются. Окончательно осевое регулирование осуществляется только в направлении перемещения кассет к рабочему торцу. В результате достигается осевое биение режущих кромок не более 0,005 мм, что обеспечивает высокопроизводительную работу фрез с большими подачами и высоким качеством. Несмотря на кажущуюся сложность настройки, в среднем на регулировку одной кассеты требуется не менее 1 мин. Малое радиальное биение режущих кромок (0,04 – 0,10 мм в зависимости от диаметра фрезы) обеспечивается точностью исполнения соответствующих размеров корпусов фрез и державок кассет, а также использованием прецизионных режущих пластин класса допуска  $E$  и  $H$ .

Кассеты представляют собой взаимозаменяемые сборные узлы конструкции фрезы, их различные исполнения отличаются лишь формой и размером гнезд под режущие пластины и могут комплектоваться пластинами круглой и квадратной формы, в том числе со специальными радиусными зачистными фасками или любой другой формы из разных марок ПСТМ и керамики.

Конструктивное исполнение узла регулировки позволяет переналаживать фрезы на ступенчатую схему припуска, размер которого в двухступенчатом варианте фрезы при обработке чугуна или легкого сплава может быть увеличен в 1,5 – 1,8 раза, а при обработке закаленной стали – в 1,3 – 1,6 раза. Ступенчатые фрезы способны за один проход обработать поверхность окончательно, причем если к данной плоскости предъявляются повышенные требования, например по шероховатости, то чистовую ступень следует оснащать кассетами с пластинами квадратной формы с зачистными режущими кромками (рис. 7.28, табл. 7.6).

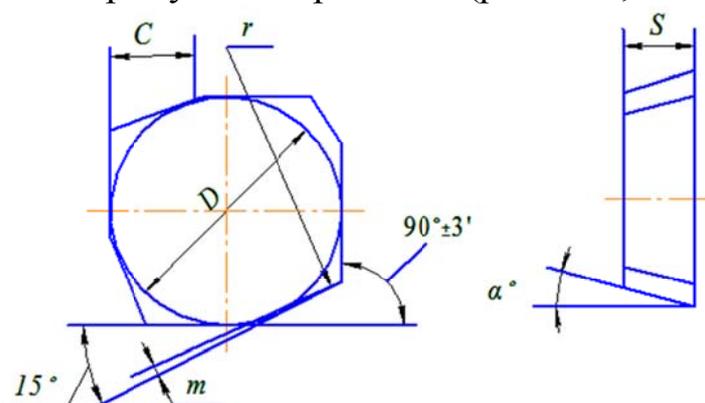


Рис. 7.28. Специальная чистовая пластина из ПСТМ

Таблица 7.6

Размеры фрез торцевых переналаживаемых, мм

Исполнение	$D$	$D_1$	$d$	$H$	$F_1$	$F_2$	$z$	
1	125	130	40	63			8	
1	160	165	50				10	
1	200	205	50				12	
2	160	165	40				10	
2	200	205					66,7	12
2	250	255					14	
2	315	320		60	80		18	
2	400	405	177,8				24	
2	500	505	8				30	
2	630	635	–				36	

Фрезы кассетной конструкции наиболее выгодно использовать в условиях гибкого автоматизированного производства, отличающегося быстрой обновляемостью номенклатуры.

Фрезы большого диаметра должны подвергаться статической и динамической балансировке до установки на шпиндель станка. Предельное значение допустимого дисбалансирования при статической балансировке (по аналогии с алмазными шлифовальными кругами) для фрез диаметром 200 мм – 40 г · см; 250 мм – 50 г · см; 315 мм – 60 г · см; 400 мм – 80 г · см; 500 мм – 100 г · см; 630 мм – 120 г · см; 800 мм – 160 г · см. Для облегчения пользования тяжелыми фрезами диаметром свыше 315 мм разработана составная конструкция, предусматривающая наличие массивного маховика, постоянно установленного на шпинделе и создающего необходимый момент инерции, и относительно легкого сменного венца с кассетами.

Кассетный принцип обеспечивает исключительную гибкость фрезы – на базе одного корпуса при наличии комплектов кассет разных исполнений можно собирать фрезы, максимально отвечающие требованиям той или иной технологической операции, будь то предварительная или окончательная обработка или обработка различных материалов.

Поэтому на базе кассетных регулируемых фрез создана конструкция переналаживаемых торцевых фрез диаметром 125 – 800 мм, которая значительно расширяет технологические возможности вышеописанной конструкции. В переналаживаемых фрезах кассеты выполнены так, что осевой и радиальный задние углы задаются на державке, а пазы в корпусе фрезы выполнены симметрично относительно оси фрезы. Такое решение открывает широкие возможности для оснащения корпусов фрез кассетами с пластинами из ПКНБ, поликристаллического алмаза (ПКА), режущей керамики и твердых сплавов, поскольку оптимальная геометрия режущего клина из того или иного инструментального материала при обработке различных материалов реализуется непосредственно в кассете. Кассеты (рис. 7.29) для переналаживаемых фрез могут оснащаться, например, круглыми и квадратными, в том числе с радиусными зачистными фасками, пластинами с диаметром вписанной окружности до 12,7 мм и с задними углами, а также пластинами любых других форм и размеров.

В целях дальнейшего повышения производительности и качества обработки, надежности работы инструмента разработаны торцевые фрезы с осевой и радиальной регулировками кассет, оснащенных сменными режущими пластинами из ПСТМ (рис. 7.30).

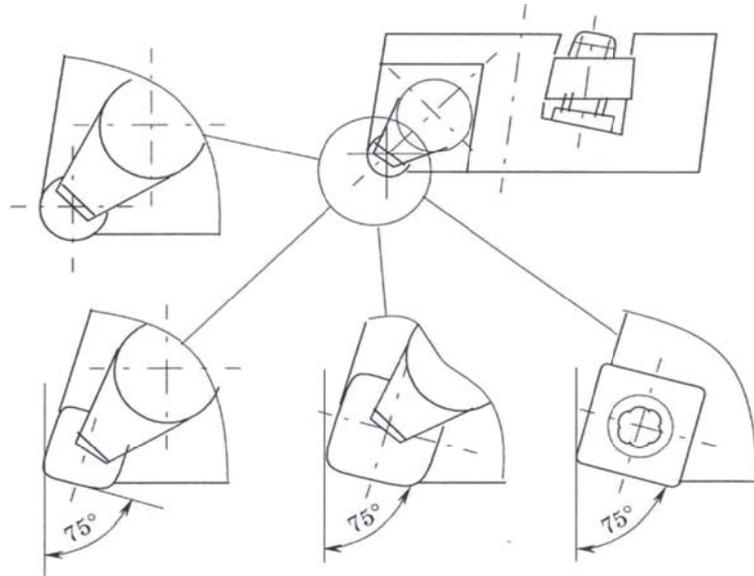


Рис. 7.29. Пример оснащения кассет переналаживаемых фрез пластинами различных форм и размеров

Фреза состоит из корпуса 1, в пазах которого установлены кассеты с режущими пластинами 2, размещенными в гнездах державок 3 кассет и закрепленными с помощью прихватов 4 и винтов 5. Крепление самой кассеты осуществляется винтами 6 и 7. В пазах корпуса под кассетами размещены регулировочные клинья 8, связанные с корпусом винтами 9. Осевой опорой кассет служит сухарь 10, расположенный в гнезде корпуса и входящий своим поводком в паз кассеты. Осевая регулировка осуществляется путем перемещения сухаря винтом 11 за счет наличия угла между направле-

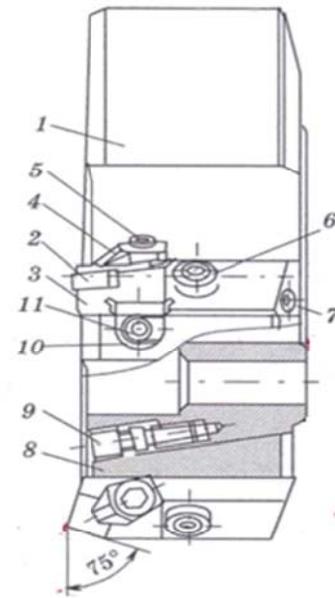


Рис. 7.30. Насадные сборные торцевые фрезы диаметром 125 – 630 мм с двойным и радиальным регулированием и настройкой положения режущих кромок пластин из ПСТМ и керамики

нием указанного перемещения регулировочного клина 8 винтом 9 вдоль паза корпуса.

В первую очередь производится предварительная (с точностью 0,01 – 0,02 мм) осевая регулировка, затем радиальная (с точностью 0,005 – 0,01 мм) и окончательная осевая (0,005 мм). Во время радиальной регулировки при необходимости ослабляется крепежный винт 6, винт 7 отпущен. При предварительной осевой регулировке винт 6 должен быть слегка поджат, винт 7 отпущен. Во время окончательной осевой регулировки винт 6 должен быть полностью затянут. Регулировка должна производиться только перемещением кассет к рабочему торцу фрезы, а по окончании ее должен быть зажат винт 7. После окончательной осевой регулировки желательно проверить радиальное биение режущих кромок, при неудовлетворительном результате регулировку надо повторить.

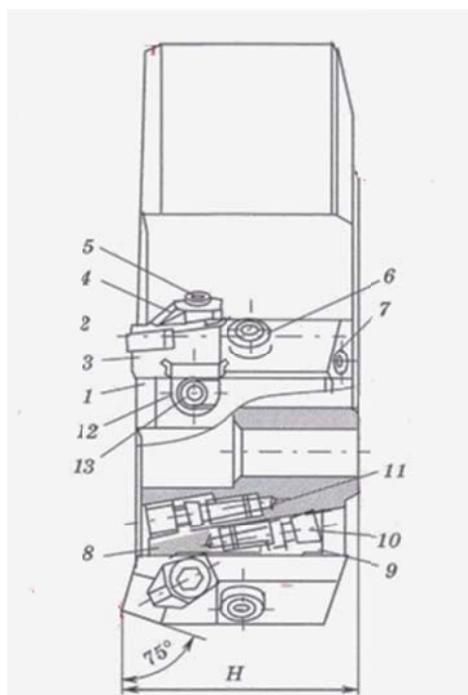


Рис. 7.31. Насадные сборные торцевые фрезы диаметром 125 – 630 мм с тройным осевым, радиальным и угловым регулированием и настройкой положения режущих пластин из ПСТМ и керамики

Для инструмента с высокоизносостойкими пластинами из ПСТМ разработаны наиболее совершенные фрезы с осевой, радиальной и угловой регулировками кассет (рис. 7.31).

Фреза состоит из корпуса 1, в пазах которого установлены кассеты с режущими пластинами 2, размещенными в гнездах державок 3 кассет и закрепленными с помощью прихватов 4, и винтов 5. Сама кассета крепится в корпусе винтами 6 и 7. В пазах корпуса под кассетами размещены регулировочные клинья, состоящие из двух частей 8 и 9, связанных между собой винтом 10 и с корпусом винтом 11. Осевой опорой кассет служит сухарь 12, расположенный в гнездах корпуса и входящий своим поводком в паз кассеты. Осевая регулировка осуществляется путем перемещения сухаря винтом 13 за счет

наличия угла между направлением указанного перемещения и осью паза кассеты. Радиальная регулировка осуществляется за счет пере-

мещения регулировочного клина винтом 11 вдоль паза корпуса. Для регулировки углового положения кассеты, которая производится в случае необходимости установки зачистной кромки строго параллельно обрабатываемой поверхности, при помощи винта 10 перемещают часть клина 9 относительно части 8, зафиксированной винтом 11.

Порядок регулировки рекомендуется следующий: в первую очередь производится угловая регулировка кассет, потом предварительная осевая регулировка (с точностью 0,01 – 0,02 мм), радиальная регулировка (с точностью 0,005 – 0,01 мм) и окончательная осевая (0,005 мм). Во время угловой и радиальной регулировок при необходимости ослабляется крепежный винт 6, винт 7 отпущен. При предварительной осевой регулировке винт 6 должен быть слегка зажат, регулировка должна производиться только перемещением кассет к рабочему торцу фрезы, а по окончании регулировки должен быть зажат винт 7. После окончательной осевой регулировки желательно проверить радиальное биение режущих кромок. При неудовлетворительном результате регулировку повторить. Фрезы как с двойной, так и с тройной регулировкой имеют типоразмеры, указанные в табл. 7.7.

Т а б л и ц а 7.7

Размеры фрез с двойной и тройной регулировкой

Диаметр фрезы $D$ , мм	125	160	200	250	315	400	500	630
Диаметр отверстия $d$ , мм	40	40	60	60	60	60	60	60
Число зубьев (кассет) $z$	6	8	10	12	15	20	25	30

Регулируемые торцевые фрезы со вставными напайными ножами, оснащенными композитом 01, предназначены для чистового и тонкого фрезерования открытых и ступенчатых, в том числе типа «ласточкин хвост», поверхностей деталей из сталей и чугунов любой твердости. Фрезы изготавливаются одноступенчатыми – тип 1 (табл. 7.8) и многоступенчатыми – тип 2 в исполнениях для фрезерных (рис. 7.32) и шлифовальных (рис. 7.33) станков. Причем в исполнении для шлифовальных станков одноступенчатые фрезы изготавливаются с различными вариантами крепления на станке: ножами от шпинделя и ножами к шпинделю станка.

Таблица 7.8

## Фрезы одноступенчатые

$D$ , мм	$d$ , мм	Расположение ножей станка, $H$		$Z$
		к шпинделю	от шпинделя	
80	27	32	—	6
100	32			8
125				10
160				10
200	27	—	34	6
80	32			32
100				34
125				8
160				10
200				

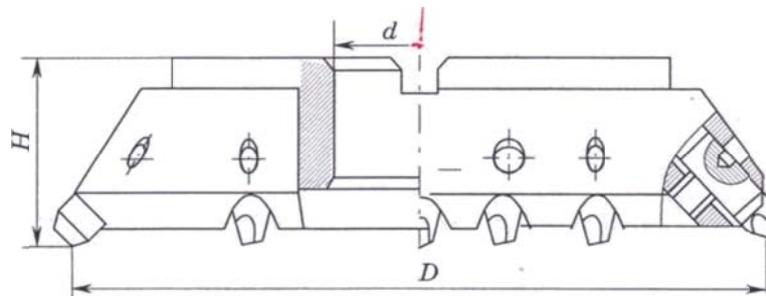


Рис. 7.32. Насадные сборные торцевые фрезы диаметром 80 – 200 мм с регулируемыми в осевом направлении вставными напайными ножами, оснащенными композитом 01, для фрезерных станков

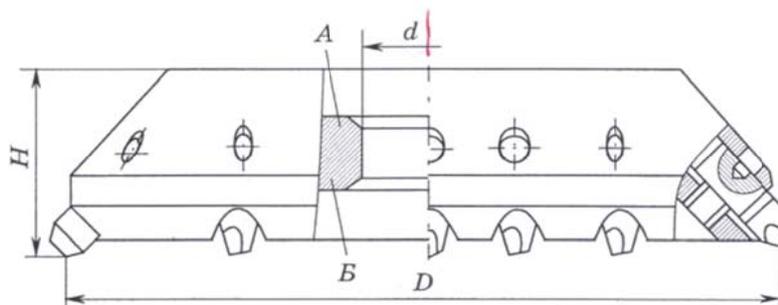


Рис. 7.33. Насадные сборные торцевые фрезы диаметром 80 – 200 мм с регулируемыми в осевом направлении напайными ножами, оснащенными композитом 01, для шлифовальных станков

Многоступенчатые фрезы (в исполнении для шлифовальных станков) от  $D = 160$  мм и более имеют два опорных торца А и Б, что позволяет устанавливать их на станке в зависимости от вида обрабатываемой поверхности в положении ножами от шпинделя станка или ножами к шпинделю станка.

Фрезы изготавливают право- и леворежущими. Разработанные ВНИИ инструментов конструкции торцевых фрез охватывают практически весь диапазон диаметров фрез, необходимых для комплектации станков с ЧПУ, многоцелевых станков и автоматических линий.

## Глава 8

### ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ФРЕЗ ДЛЯ ЗАДАНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ

#### 8.1. Пример расчета дисковой фрезы для заданных условий обработки

**Задание.** Рассчитать и спроектировать дисковую фрезу для обработки паза детали «вилка переключения» по чертежу (рис. 8.1).

##### Расчет фрезы

##### Исходные данные

Деталь: вилка переключения;  
материал детали – сталь 25Л-II ГОСТ 977 с характеристиками: предел прочности  $\sigma_B = 450$  МПа, предел текучести  $\sigma_T = 240$  МПа; относительное удлинение  $\delta = 19\%$ .



тки

Заготовка получена методом литья по выплавляемым моделям; состояние обрабатываемых поверхностей – предварительно обработанная без корки  $Rz = 80$  мкм.

Операция: горизонтально-фрезерная (см. таблицу).

Установить. Закрепить. Снять.

Фрезеровать паз в размер 10Н10.

Режущий инструмент: фреза дисковая трехсторонняя. Отверстие обрабатывают на горизонтально-фрезерном станке модели 6Р81.

##### Техническая характеристика станка

Рабочая поверхность стола ..... 800 x 250 мм

Размер конуса шпинделя ..... Морзе № 4

##### Паспортные данные станка

Механизм подач	мм/мин
Продольные поперечные	13, 17, 21, 26, 33, 42, 52, 64, 82
Вертикальные	104, 130, 160, 200, 255, 320, 395, 500

### Расчет дополнительных исходных данных

В качестве дополнительных исходных данных приведен расчет частот вращения.

Определение знаменателя геометрического ряда  $\varphi$ :

$$\varphi = z - \sqrt[z]{R_n},$$

где  $R_n = n_{\max}/n_{\min}$  – диапазон регулирования частот вращения шпинделя;

$$R_n = 1630/50 = 32,6,$$

$$\varphi = z - \sqrt[32,6]{32,6} = 1,26.$$

Частота вращения шпинделя:

$$n_1 = n_{\min} = 50 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_2 = n_1 \varphi = 50 \cdot 1,26 = 63 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_3 = n_2 \varphi = 63 \cdot 1,26 = 79,38 \approx 80 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_4 = n_3 \varphi = 80 \cdot 1,26 = 100,8 \approx 100 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_5 = n_4 \varphi = 100 \cdot 1,26 = 126 \text{ мин}^{-1} \text{ и т. д.}$$

Режимные параметры:

1) глубина резания  $t = 12$  мм по эскизу обработки;

2) подача на зуб  $s_z = 0,017$  мм/зуб [24, с. 403].

### Расчет скорости резания

Скорость резания определяется по формуле [24, с. 406]:

$$v = (C_v D^q / T^m t^x s_z^y B^u z^p) K_v,$$

где  $C_v$  – коэффициент, равный 53 [24, с. 407];  $D$  – диаметр фрезы, предварительно принимаем 90 мм;  $T$  – период стойкости фрезы, 120 мин [24, с. 411];  $t$  – глубина резания, 12 мм;  $s_z$  – подача на зуб, 0,017 мм/зуб;  $B$  – ширина фрезерования, 10 мм (по эскизу фрезерования);  $z$  – число зубьев, предварительно принимаем 12;  $q, m, x, y, u, p$  – показатели степени,  $q = 0,25; m = 0,2; x = 0,3; y = 0,2; u = 0,2; p = 0,1$  [24, с. 407 – 408];  $K_v$  – обобщенный поправочный коэффициент,

$$K_v = K_{mv} K_{pv} K_{iv},$$

где  $K_{mv}$  – коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала,

$$K_{mv} = K_r(750/\sigma_n)^{nv} = 1 (750/450)^{-0,9} = 0,63,$$

где  $K_r$  – поправочный коэффициент на обрабатываемый материал, 1,0 [24, с. 359];  $\sigma_B$  – предел прочности обрабатываемого материала, 450 МПа;  $n_v$  – показатель степени, – 0,9 [24, с. 359];  $K_{pv}$  – поправочный коэффициент состояния поверхности заготовки, 0,85 [24, с. 361];  $K_{iv}$  – поправочный коэффициент материала инструмента, 1,0 [24, с. 361],  $K_v = 0,63 \cdot 0,85 \cdot 1 \approx 0,54$ .

Отсюда

$$v = \frac{53 \cdot 90^{0,25}}{120^{0,2} \cdot 12^{0,3} \cdot 0,017^{0,2} \cdot 12^{0,1} \cdot 10^{0,2}} 0,54 = 17,21 \text{ м/мин.}$$

*Расчет частоты вращения шпинделя*

Частота вращения шпинделя рассчитывается по формуле

$$n = \frac{1000v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 17,21}{3,14 \cdot 90} = 60,9 \text{ мин}^{-1}.$$

По паспорту станка принимаем значение частоты вращения  $n = 100 \text{ мин}^{-1}$ . Фактическое значение минутной подачи по откорректированной частоте вращения

$$s_m = s_z z n = 0,017 \cdot 12 \cdot 50 = 10,2 \text{ мм/мин.}$$

Принимаем по паспорту станка значение подачи  $s_m = 13 \text{ мм/мин.}$

*Расчет главной составляющей силы резания*

Расчет главной составляющей силы резания при обработке паза ведется по формуле

$$P_z = \frac{10C_p t^x s_z^y B^u z}{D^n n^\omega} K_{mp},$$

где  $C_p$  – поправочный обобщенный коэффициент на силу резания, 68,2 [24, с. 412];  $t$  – глубина резания, 12 мм;  $s_z$  – подача на зуб, 0,017 мм/зуб;  $B$  – ширина фрезерования, 10 мм;  $z$  – число зубьев, 12;  $D$  – диаметр фрезы, 90 мм;  $n$  – частота вращения шпинделя, 50  $\text{мин}^{-1}$ ;  $x, y, u, q, w$  – показатели степени,  $x = 0,86$ ;  $y = 0,72$ ;  $u = 1,0$ ;  $q = 0,86$ ;  $w = 0$  [24, с. 412];  $K_{mp}$  – поправочный коэффициент, учитывающий физико-механические свойства обрабатываемого материала,

$$K_{mp} = (\sigma_b/750)^n = (450/750)^{0,3} = 0,86,$$

где  $\sigma_b$  – твердость обрабатываемого материала, 450 МПа;  $n$  – показатель степени, 0,3 [24, с. 362].

Отсюда

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 12^{0,86} \cdot 0,017^{0,72} \cdot 10^1 \cdot 12}{90^{0,86} \cdot 50^0} = 622,6 \text{ Н.}$$

*Расчет мощности резания*

Мощность резания, кВт, рассчитывается по формуле [24, с. 411]

$$N_{\text{рез}} = \frac{P_z v}{1020 \cdot 60} = \frac{622,6 \cdot 17,21}{1020 \cdot 60} = 0,175 \text{ кВт.}$$

Условие резания выполняется по расчету (мощность резания меньше паспортного значения выбранного станка). Оснастка: тиски станочные 7200 – 0261 по ГОСТ 21167.

*Выбор и обоснование инструментального материала*

В качестве материала фрезы, учитывая физико-механические свойства обрабатываемого материала, выбираем быстрорежущую сталь марки Р6М5 ГОСТ 19265 с твердостью после термообработки 63 – 66 HRC.

*Расчет геометрических параметров*

1) Расчет заднего угла [2, с. 102]:

$$\sin \alpha_{\text{опт}} = \frac{\text{const}}{\alpha_{\text{max}}^{0,3}},$$

где const = 0,13 – для дисковых фрез из быстрорежущей стали;

$$\alpha_{\text{max}} = s_z \cdot \sin \varphi, \alpha_{\text{max}} = 0,017 \text{ мм};$$

$$\sin \alpha_{\text{опт}} = \frac{0,13}{0,017^{0,3}} = 0,44.$$

2) Расчет переднего угла:

$$\gamma_{\text{опт}} = 42 \dots 55/\xi,$$

где  $\xi$  – усадка стружки.

Коэффициент усадки стружки для стали  $20 k_0 = 0,37$ , тогда  $\gamma_{\text{опт}} = 42 \dots 55/2,7 \approx 20,37$ . Принимаем передний угол  $\gamma = 20^\circ$ .

Остальные геометрические параметры определяются табличным методом исходя из условий обработки и конструкции фрезы [2]:

$$\varphi = 90^\circ; \varphi_1 = 30^\circ; \omega = 0^\circ; \lambda = 0^\circ.$$

### Расчет конструктивных параметров

Основным конструктивным параметром насадных фрез является диаметр отверстия под оправку, исходя из условий прочности.

Диаметр отверстия под оправку равен

$$d_o = \sqrt{\frac{M_{\text{рас}}}{\sigma_b \cdot 0,1}},$$

где  $M_{\text{рас}}$  – расчетный момент, принимаемый по IV теории прочности

$$M_{\text{рас}} = \sqrt{M_b^2 + M_d^2},$$

где  $M_d$  – крутящий момент

$$M_d = P_z \frac{D}{2} = 622,6 \frac{0,09}{2} = 28,02 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

здесь  $P_z$  — главная составляющая силы резания.

Изгибающий момент  $M_b = 0$ .

Отсюда

$$d_o = \sqrt{\frac{28,02}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,1}} = 0,011 \text{ м} = 11 \text{ мм}.$$

Полученное значение диаметра, исходя из условия прочности, округляем в большую сторону по ГОСТ 24644,  $d = 22$  мм.

Рассчитываем оптимально допустимый наружный диаметр фрезы [25, с. 118]:

$$D_{\text{min}} = 0,117 B^{0,25} t^{0,9} s_z^{0,055} l^{0,75} y_{\text{max}}^{0,25} + (2t^1 + 2\Delta),$$

где  $B$  – ширина фрезерования, 10 мм;  $t$  – глубина резания, 12 мм;  $s_z$  – подача на зуб, 0,017 мм/зуб;  $l$  – расстояние между опорами оправки, 200 мм [2];  $y_{\text{max}}$  – величина допустимого изгиба оправки, 0,2 – 0,4 мм;  $\Delta$  – величина минимального зазора между поверхностью оправки и поверхностью заготовки или приспособления (принимается в пределах 2 – 20 мм), 2,5 мм,

$$D_{\text{min}} = 0,117 10^{0,25} 12^{0,9} 0,017^{0,055} 200^{0,75} 0,3_{\text{max}}^{0,25} + \\ + (2 \cdot 12^1 + 2 \cdot 2,5) = 90,26 \text{ мм}.$$

Окончательно принимаем, исходя из конструктивных соображений,  $D = 90$  мм.

### Расчет ширины фрезы (рис. 8.2)

Ширину фрезы рассчитывают по формулам [2, с. 126]:

$$b_{\text{фmax}} = b_{\text{паза}_{\text{нм}}} + \delta b_n - (\Delta\delta + \Delta\phi),$$

$$b_{\text{фmin}} = b_{\text{паза}_{\text{нм}}} + \delta b_n - (\Delta\delta + \Delta\phi) - \delta b_{\phi},$$

где  $b_{\text{фmax}}$  – максимальная ширина фрезы;  $b_{\text{фmin}}$  – минимальная ширина фрезы;  $b_{\text{паза}_{\text{нм}}}$  – наименьшая ширина паза; по чертежу детали равна 10 мм;  $\delta b_n$  – допускаемое отклонение ширины паза по чертежу, 0,058 мм;  $\Delta\delta$  – величина торцевого биения фрезы, 0,05 мм [2, с. 126];  $\Delta\phi$  – погрешность обработки – разбивание паза, 0,09 мм [2, с. 126];  $\delta b_{\phi}$  – допустимое отклонение на изготовление фрезы, 0,03 мм [2, с. 127]. Отсюда

$$b_{\text{фmax}} = 10 + 0,058 - (0,05 + 0,09) =$$

$$= 9,918 \approx 9,92 \text{ мм},$$

$$b_{\text{фmin}} = 10 + 0,58 - (0,05 + 0,09) - 0,03 = 9,888 \approx 9,89 \text{ мм}.$$

Исполнительный размер на ширину фрезы равен  $b_{\phi} = 10_{-0,21}^{-0,19}$ .  
 Схема построения поля допуска представлена на рис. 8.3.

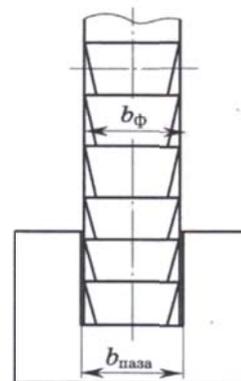


Рис. 8.2. Эскиз обработки

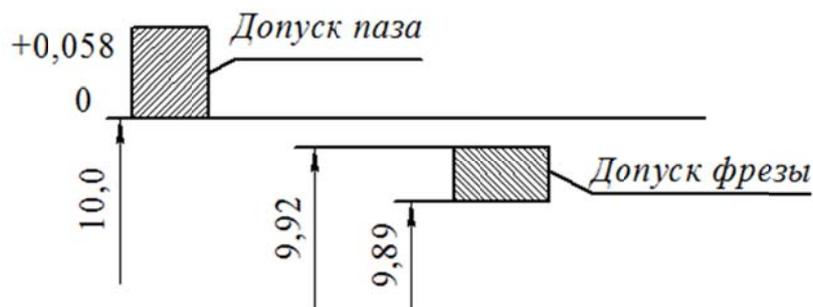


Рис. 8.3. Схема поля допуска на ширину фрезы

### Расчет числа зубьев фрезы

Число зубьев фрезы рассчитывают по формуле [2, с. 177]

$$z = \frac{0,2D}{t_{\text{max}}^{0,5} s_{z\text{max}}^{0,5}} = \frac{0,2 \cdot 90}{12^{0,5} \cdot 0,017^{0,5}} \approx 36.$$

Исходя из условий прочности и условий рационального размещения стружки, окончательно принимаем  $z = 20$ .

Форма зубьев для цельной дисковой трехсторонней фрезы рекомендована с ломаной спинкой [2, с. 177]. Высоту зуба рассчитывают по формуле

$$h = \frac{kD}{z} = \frac{1,5 \cdot 90}{20} = 6,75 \text{ мм},$$

где  $k$  – коэффициент высоты зуба, 1,5 [2, с. 176].

Определение радиуса с точки зрения рационального размещения стружки при ее отводе

$$r \geq \sqrt{\frac{s_z t k_c}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,017 \cdot 12 \cdot 3,5}{3,14}} = 0,43 \text{ мм};$$

где  $k_c$  – коэффициент размещения стружки, 3,5 [2, с. 176]. Исходя из конструктивных соображений, принимаем  $r = 2$  мм.

#### *Технические требования на изготовление фрезы*

- 1) Материал — сталь Р6М5 ГОСТ 19265.
- 2) 63 – 66 HRC.
- 3) Неуказанные предельные отклонения размеров: отверстий H14; валов h14; остальных  $\pm \frac{IT14}{2}$ ; а угловых  $\pm \frac{IT14}{2}$ ; ГОСТ 8908.
- 4) Радиальное биение главных режущих кромок относительно оси отверстия не более двух смежных зубьев – 0,03 мм; двух противоположных зубьев – 0,05 мм.
- 5) Биение опорных торцов при проверке на оправке должно быть не более 0,02 мм.
- 6) Торцевое биение режущих кромок торцевых зубьев на радиусе наружной окружности фрезы при проверке на оправке должно быть не более 0,03 мм.
- 7) Отклонение от параллельности торцевых режущих кромок должно быть не более допуска на ширину фрезы.
- 8) Остальными техническими требованиями можно руководствоваться по ГОСТ 1695.
- 9) Маркировать: обозначение, диаметр фрезы, ширину фрезы с обозначением полей допусков шрифт 3 по ГОСТ 2930.

## 8.2. Расчет размеров дисковой затылованной фрезы для фрезерования канавки сверла

**Задание.** Спроектировать инструмент второго порядка – рассчитать дисковую фасонную канавочную фрезу для обработки стружечной канавки спирального сверла по рис. 8.4.

### Расчет фрезы

#### Исходные данные

*Деталь:* сверло спиральное; материал – сталь Р6М5 ГОСТ 19265; заготовка – пруток.

*Операция:* горизонтально-фрезерная.

Установить. Закрепить. Снять.

Фрезеровать стружечную канавку, выдерживая размеры 1,2 (см. рис. 8.4).

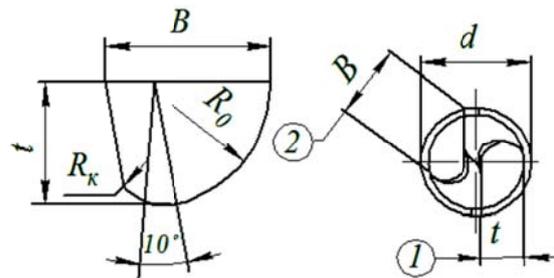


Рис. 8.4. Профиль фрезы для фрезерования канавки сверла

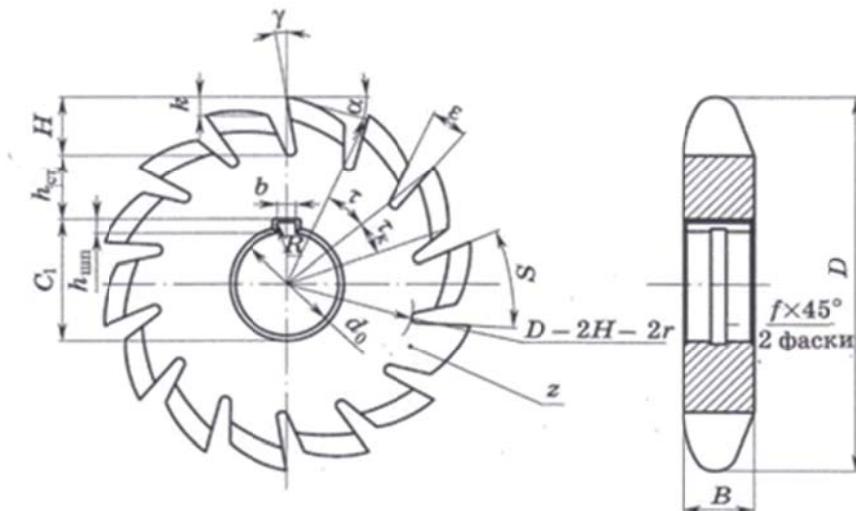


Рис. 8.5. Дисковая затылованная фреза

*Режущий инструмент:* фреза дисковая затылованная канавочная. Отверстия обрабатывают на широкоуниверсальном фрезерном станке модели 6Р81. Диаметр сердцевины сверла

$$d_c = 0,16d^{0,96} = 0,16 \cdot 18^{0,96} = 2,57 \text{ мм,}$$

где  $d_c$  – диаметр сверла, 18 мм (см. рис. 8.4). Наибольшая глубина стружечной канавки:

$$h_{\max} = 0,5(d - d_c) = 0,5(18 - 2,57) = 7,715 \text{ мм.}$$

*Расчет параметров фрезы* (по рис. 8.5)

Диаметр отверстия под оправку находят по формуле

$$d_o = 7h_{\max}^{0,54} = 7 \cdot 3,03 = 7,715^{0,54} = 12,74 \text{ мм.}$$

Выбираем по ГОСТ 9472 диаметр отверстия под оправку  $d_o = 22$  мм; ширина шпонки  $b = 6$  мм; высота отверстия под оправку  $C_1 = 24,1$  мм.

Высота шпонки

$$h_{\text{ш}} = C_1 - d_o = 24,1 - 22 = 2,1 \text{ мм.}$$

Наружный диаметр фрезы

$$D = 6,2d_o^{0,8} = 6,2 \cdot 22^{0,8} = 73,51 \text{ мм. Принимаем } D = 80 \text{ мм.}$$

Величина затылования по задней поверхности

$$k = 0,2d_o = 0,2 \cdot 22 = 4,4 \text{ мм.}$$

Принимаем  $k = 5$  мм.

Радиус впадины стружечной канавки

$$r = 0,02d_o^{1,2} = 0,02 \cdot 22^{1,2} = 0,82.$$

Принимаем  $r = 1$  мм.

Ширина фрезы равна

$$B = \frac{\pi d}{4} \operatorname{tg} \omega = \frac{3,14 \cdot 18}{4} \operatorname{tg} 30^\circ = 12,23 \text{ мм,}$$

где  $d$  – диаметр сверла, 18 мм;  $\omega$  – угол наклона стружечных канавок сверла,  $30^\circ$ .

Рассчитываем высоту зуба по формуле

$$H = h_{\max} + k + r = 7,715 + 5 + 1 = 13,715 \text{ мм,}$$

где  $h_{\max}$  – наибольшая глубина стружечной канавки, 7,715 мм;  $k$  – величина затылования по задней поверхности, 5 мм;  $r$  – радиус впадины стружечной канавки, 1,0 мм. Величина затылования

$$s = 3,3 \frac{H}{d_o^{0,32}} = 3,3 \frac{13,715}{22^{0,32}} = 16,83 \text{ мм.}$$

Число зубьев находится по формуле

$$z = \frac{(D - 2H + 2r)n}{s + 2r} = \frac{(80 - 2 \cdot 13,715 + 2 \cdot 1) \cdot 3,14}{16,83 + 2 \cdot 1} = 8,43.$$

Принимаем  $z = 9$ .

Толщина стенки

$$h_c = 0,5(D - d_o) - H - h_{ш} = \\ = 0,5(80 - 22) - 14,5 - 2,1 = 12,4 \text{ мм.}$$

Условие  $0,11D(8,8) \leq h_c(1,3185) \leq 0,17D(13,6)$  выполняется.

Рассчитываем угловой шаг

$$\tau = \frac{360^\circ}{z} = \frac{360^\circ}{9} = 40^\circ,$$

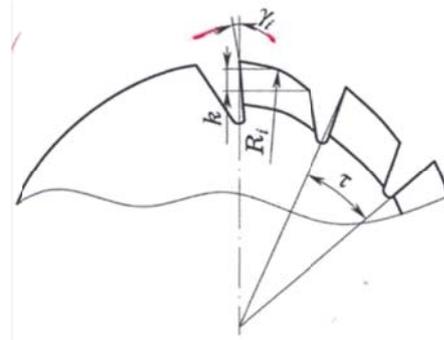
$$\tau_k = (0,2 \dots 0,25)\tau = (0,2 \dots 0,25)40^\circ = 8 \dots 10^\circ.$$

Величина заднего угла

$$\alpha = \arctg \frac{kz}{\pi D} = \arctg \frac{5 \cdot 9}{3,14 \cdot 80} = 10^\circ.$$

Условие  $10^\circ < \alpha < 12^\circ$  выполняется.

*Расчет профиля фрезы в осевом сечении и в плоскости передней грани (рис. 8.6).*



6. Геометрические параметры фрезы

Радиусы профиля фрезы в осевом сечении рассчитывают по 13 точкам по формуле

$$R_i = R - h,$$

где  $R$  – наибольший радиус фрезы в точке;  $h$  – высота профиля фрезы в точке,

$$R_1 = 40 - 6,644 = 33,356;$$

$$R_2 = 40 - 4,45 = 35,55;$$

$$R_3 = 40 - 2,676 = 37,324;$$

$$R_4 = 40 - 1,344 = 38,656;$$

$$R_5 = 40 - 0,464 = 39,536;$$

$$R_6 = 40 - 0,34 = 39,66;$$

$$R_7 = 40;$$

$$R_8 = 40 - 0,022 = 39,978;$$

$$R_9 = 40 - 0,074 = 39,926;$$

$$R_{10} = 40 - 0,768 = 39,232;$$

$$R_{11} = 40 - 2,582 = 37,418;$$

$$R_{12} = 40 - 5,36 = 34,64;$$

$$R_{13} = 40 - 9,224 = 30,776.$$

Величину переднего угла фрезы в осевом сечении находят по 13 точкам по формуле

$$\gamma_i = \arcsin \left( \frac{\sin \gamma R}{R_i} \right),$$

где  $\gamma$  – величина наибольшего переднего угла,

$\gamma_1 = 18,08^\circ;$	$\gamma_8 = 15,008^\circ;$
$\gamma_2 = 16,93^\circ;$	$\gamma_9 = 15,028^\circ;$
$\gamma_3 = 16,10^\circ;$	$\gamma_{10} = 15,3^\circ;$
$\gamma_4 = 15,53^\circ;$	$\gamma_{11} = 16,06^\circ;$
$\gamma_5 = 15,18^\circ;$	$\gamma_{12} = 17,38^\circ;$
$\gamma_6 = 15,01^\circ;$	$\gamma_{13} = 19,65^\circ.$
$\gamma_7 = 15^\circ;$	

Величина изменения углового шага фрезы в осевом сечении определяется тоже по 13 точкам

$$\Delta \tau_i = \gamma_i - \gamma:$$

$\gamma_1 = 3,081^\circ;$	$\gamma_8 = 0,008^\circ;$
$\gamma_2 = 1,93^\circ;$	$\gamma_9 = 0,02^\circ;$
$\gamma_3 = 1,10^\circ;$	$\gamma_{10} = 0,3^\circ;$
$\gamma_4 = 0,53^\circ;$	$\gamma_{11} = 1,06^\circ;$
$\gamma_5 = 0,18^\circ;$	$\gamma_{12} = 2,38^\circ;$
$\gamma_6 = 0,01^\circ;$	$\gamma_{13} = 4,65^\circ.$
$\gamma_7 = 0^\circ;$	

Изменение высоты профиля фрезы в осевом сечении вычисляют также по 13 точкам по отношению

$$\Delta h = k \Delta \tau_i / \tau$$

где  $k$  – величина затылования, 5 мм;  $\tau$  – угловой шаг,  $40^\circ$ ,

$\Delta h_1 = 0,38;$	$\Delta h_8 = 0,001;$
$\Delta h_2 = 0,24;$	$\Delta h_9 = 0,0025;$
$\Delta h_3 = 0,137;$	$\Delta h_{10} = 0,0375;$
$\Delta h_4 = 0,066;$	$\Delta h_{11} = 0,13;$
$\Delta h_5 = 0,022;$	$\Delta h_{12} = 0,297;$
$\Delta h_6 = 0,00125;$	$\Delta h_{13} = 0,58.$
$\Delta h_7 = 0;$	

Высоту профиля фрезы в осевом сечении определяют по следующим 13 точкам в соответствии с формулой

$$h_o = h_i - \Delta h_i,$$

где  $h_i$  – расчетная высота зуба:

$$\begin{aligned} h_1 &= 6,264; & h_8 &= 0,021; \\ h_2 &= 4,123; & h_9 &= 0,0715; \\ h_3 &= 2,539; & h_{10} &= 0,7305; \\ h_4 &= 1,278; & h_{11} &= 2,452; \\ h_5 &= 0,442; & h_{12} &= 5,063; \\ h_6 &= 0,038; & h_{13} &= 8,643. \\ h_7 &= 0; \end{aligned}$$

Высоту профиля зуба фрезы в осевом сечении рассчитывают по формуле

$$h_{ij} = \sin \Delta \tau_i \frac{R}{\sin \gamma_i}$$

$$\begin{aligned} h_1 &= 6,45; & h_7 &= 0; \\ h_2 &= 4,14; & h_8 &= 0,021; \\ h_3 &= 2,81; & h_9 &= 0,05; \\ h_4 &= 1,34; & h_{10} &= 0,76; \\ h_5 &= 0,46; & h_{11} &= 2,6; \\ h_6 &= 0,026; & h_{12} &= 5,49; \\ & & h_{13} &= 9,81. \end{aligned}$$

*Проверка профиля винтовой канавки*

При проверке профиля винтовой канавки должно соблюдаться условие

$$\alpha_{N_i} = \arctg (\operatorname{tg} \alpha \sin \theta) > 1,5^\circ.$$

По формуле находим

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_{R_i} &= \frac{kz}{\pi d_{fi}}; \\ \operatorname{tg} \alpha_{R_1} &= \frac{5 \cdot 9}{3,14 \cdot 66,712} = 0,21; \\ \operatorname{tg} \alpha_{R_3} &= \frac{5 \cdot 9}{3,14 \cdot 66,552} = 0,22. \end{aligned}$$

Получаем

$$\alpha_{N_1} = \arctg(0,21 \sin 7,85^\circ) > 1,5^\circ,$$

$$\alpha_{N_{13}} = \arctg(0,22 \sin 9,65^\circ) = 2,1^\circ > 1,5^\circ.$$

*Технические требования на изготовление фрезы*

- 1) Материал – сталь Р6М5 по ГОСТ 19265.
- 2) 63 – 66HRC.
- 3) Неуказанные предельные отклонения размеров: отверстий Н14; валов  $h14$ ; остальных  $\pm \frac{IT14}{2}$ ; угловых  $\pm \frac{IT16}{2}$ ; ГОСТ 8908.
- 4) Радиальное биение главных режущих кромок относительно оси отверстия не более: двух смежных зубьев – 0,03 мм; двух противоположных зубьев – 0,05 мм.
- 5) Биение опорных торцов при проверке на оправке должно быть не более 0,02 мм.
- 6) Торцевое биение режущих кромок торцевых зубьев на радиусе наружной окружности фрезы при проверке на оправке должно быть не более 0,03 мм.
- 7) Отклонение от параллельности торцевых режущих кромок должно быть не более допуска на ширину фрезы.
- 8) Остальными техническими требованиями можно руководствоваться по ГОСТ 1695.
- 9) Маркировать: обозначение, диаметр фрезы, ширину фрезы с обозначением полей допусков шрифт 3 по ГОСТ 2930.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Характеризуя современное состояние техники и технологии, нельзя не отметить, что задача повышения качества изготовления изделий продолжает быть актуальной. Появление инновационных технологических процессов изготовления невозможно без грамотного и обоснованного выбора инструмента.

Представленное учебное пособие по своему содержанию направлено на реализацию концепции практико-ориентированного обучения: после получения базовых знаний о теории резания и режущем инструменте детализированно рассматривается отдельный его вид. Изложены основные сведения о фрезерном инструменте. Рассмотрены классификация, инструментальные материалы для оснащения фрез, геометрические и конструктивные параметры фрезерного инструмента. Уделено особое внимание методам расчета и конструирования фасонных фрез. Приведены подробные сведения о фрезерном инструменте сборной конструкции. Для заданных условий обработки представлены примеры расчета фрез. Оставлено поле и для решения исследовательских задач.

Важным отличием изложенного материала является то, что при описании использовались понятия, изучаемые в рамках различных традиционных общеобразовательных дисциплин: «Технология конструкционных материалов», «Материаловедение», «Сопромат», «Основы конструирования и проектирования». Данный подход позволяет опираться на теоретический фундамент знаний и создавать новые конструкции режущего инструмента.

Учебное пособие подготовлено для студентов машиностроительных направлений высшего профессионального образования, аспирантов и инженерно-технических работников промышленных предприятий. Поэтому приведенные примеры ориентированы на реальное производство. Отдельные главы пособия можно рассматривать как учебные модули, которые можно включать в учебные программы других дисциплин.

Авторский коллектив надеется, что книга окажет существенную помощь в разработке оптимальных технологических решений, будет содействовать повышению качества технологической подготовки производства и повышению квалификации специалистов.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

Таблица П1.1

Шероховатость и точность при различных видах обработки

Вид обработки	$R_a$ , мкм	Квалитет
Резка газовая: ручная машинная	50 – 25 50 – 12,5	17 – 15
Отрезка: приводной пилой резцом фрезой абразивом	50 – 25*(12,5) 100 – 25 50 – 25 6,3 – 3,2	17 – 15 17 – 14 17 – 14 15 – 12
Строгание: черновое чистовое тонкое	25 – 12,5* 6,3 – 3,2* 1,0 – (0,8)	14 – 12 13 – 11; 10** 10 – 8; 7
Долбление: черновое чистовое	50 – 25 12,5 – 3,2*	15; 14 13; 12
Фрезерование цилиндрической фрезой: черновое чистовое тонкое	50 – 25 6,3 – 3,2* 1,6 – 0,8	14 – 12; 11** 11; 10** 9 – 8; 7**
Фрезерование торцевой фрезой: черновое чистовое тонкое	12,5 – 6,3 6,3 – 3,2*(1,6) 1,6 – (0,8)	14 – 12; 11** 11; 10** 9 – 8; 7**
Фрезерование концевой фрезой: черновое чистовое	25 – 6,3 6,3 – 1,6	14 – 12 11
Обтачивание при продольной подаче: обдирочное получистовое чистовое тонкое (алмазное)	100 – 25 12,5 – 6,3 3,2 – 1,6* (0,8) 0,8 – 0,4* (0,2)	17 – 15 14 – 12 9 – 7 6

\* – средние значения параметра шероховатости для данного вида обработки.

\*\* – квалитеты чугуна

Продолжение табл. П1.1

Вид обработки	$R_a$ , мкм	Квалитет
Шлифование плоское: получистовое	6,3 – 3,2	11 – 8
чистовое	1,6 – 0,8*	8 – 6
тонкое	0,4 – 0,2* (0,05)	7 – 6
Прошивка: чистовая	1,6 – 0,4	9 – 7
тонкая	1,6 – (0,05)	7 – 6
Калибрование отверстий шариком или оправкой: после сверления	1,6 – 0,4	9 – 8
после растачивания	1,6 – 0,4	7
после развертывания	1,6 – 0,05	7
Обкатывание и раскатывание роликами или шариками при исходном значении $R_a = 12,5 – 3,2$ мкм	1,6 – 0,4	9 – 6
Наклепывание шариками при исходном значении $R_a = 3,2 – 0,8$ мкм	0,8 – 0,2	–
Развальцовка: чистовая	1,6 – 0,4	7
тонкая	0,2 – 0,1	6
Притирка: чистовая	3,2 – 0,4	7 – 6
тонкая	1,6 – 0,1	5
Доводка: грубая	0,4*	
средняя	0,2* – 0,1	7 – 6
тонкая	0,05*	6 – 5
отделочная (зеркальная)	0,025 – 0,012 (0,008)	5
Полирование: обычное	1,6 – 0,2	6
тонкое	0,1 – (0,05)	5
Хонингование: плоскостей	0,4* – 0,1	8 – 7
цилиндров	0,2 – (0,05)	7 – 6
Суперфиниширование: плоскостей	0,4 – 0,2* (0,05)	5 и выше
цилиндров	0,4 – 0,1*(0,05)	5 и выше

Продолжение табл. III.1

Вид обработки	$R_a$ , мкм	Квалитет
Обтачивание при поперечной подаче:		
обдирочное	100 – 25	16 – 17
получистовое	12,5 – 6,3	15 – 14
чистовое	3,2*	13 – 11
тонкое	1,6 – (0,8)	11 – 8
Сверление до 15 мм: без кондуктора по кондуктору	12,5* – 6,3	14 – 12 11
Сверление св. 15 мм: без кондуктора по кондуктору	25*	14 – 12 11
Зенкерование:		
черновое	25 – 12,5	15 – 12
чистовое	6,3 – 3,2*	11 – 10
Растачивание:		
черновое	100 – 50	17 – 15
получистовое	25 – 12,5	14 – 12
чистовое	3,2 – 1,6* (0,8)	9 – 8
тонкое (алмазное)	0,8 – 0,4* (0,2)	7
Развертывание:		
получистовое	12,5 – 6,3*	10 – 9; 8**
чистовое	3,2 – 1,6*	7 – 8; 8**
тонкое	0,8 – (0Д)	7 – 6**
Протягивание:		
получистовое	6,3	9 – 8
чистовое	3,2 – 0,8*	8 – 7
отделочное	0,4 – (0,2)	7
Зенкерование под углом	6,3 – 3,2	–
Шабрение:		
грубое	6,3 – 1,6	11
тонкое	0,8(0,1)	9 – 8
Опиловка	25(1,6)	11 – 8
Зачистка шлифовальной лентой (после резца и фрезы)	1,6 – (0,2)	11 – 8
Шлифование круглое:		
получистовое	6,3 – 3,2	11 – 8
чистовое	1,6 – 0,8*	8 – 6
тонкое	0,4 – 0,2* (0,1)	5

Продолжение табл. П.1.1

Вид обработки	R <sub>a</sub> , мкм	Квалитет
Химико-термическое упрочнение:		
цементация	6,3 – 3,2	14 – 12
цианирование	3,2 – 1,6	11 – 12
азотирование	0,8 – 0,1	9 – 7
борирование	1,6 – 0,2	9 – 7
кадмирование	6,3 – 0,2	9 – 7
Химическое упрочнение:		
хромирование	3,2 – 1,6	8 – 6
сульфидирование	3,2 – 0,8	9 – 7
оксидирование	1,6 – 0,2	8 – 6
никелирование	3,2 – 0,4	8 – 6
Электрофизическая и электрохимическая обработка:		
электроконтактная	100	
анодно-механическая	50 – 25	11 – 9
электроимпульсная	25 – 12,5	11 – 9
электроискровая	12,5 – 0,2	9 – 5
электрохимическая	0,8 – 0,4	11 – 9
электронно-лучевая	0,8 – 0,2	12 – 7
световым лучом	3,2 – 0,8	12 – 11
электрохимико-механическая	0,025 – 0,008	исходный
Детали из твердых сплавов:		
анодно-химическая	25 – 0,8	11 – 7
электроимпульсная	12,5 – 6,3	11 – 9
ультразвуковая	3,2 – 0,4	9 – 5
электроискровая	3,2 – 0,4	9 – 5
электронно-лучевая	0,8 – 0,1	9 – 7
световым лучом	0,8 – 0,1	11 – 9
электронно-алмазная	0,1	7 – 5
Детали из неметаллических материалов:		
электронно-лучевая	3,2 – 0,2	11 – 9
световым лучом	0,2	12 – 7
ультразвуковая размерная абразивная	3,2 – 0,2	12 – 5
Нарезание резьбы:		
резцом	6,3 – 2,2 (1,6)	8 – 6 (5)
плашкой	12,5 – 3,2 (6,3)	8 (6)
фрезой	12,5 – 3,2 (1,6)	8 – 5
резьбонарезной головкой	6,3 – 3,2	8 – 7 (6)
метчиком	12,5 – 3,2 (1,6)	7 (6,4)

Окончание табл. П.1.1

Вид обработки	$R_a$ , мкм	Квалитет
Шлифование резьбы	1,6 – 0,4	6 – 4
Накатывание резьбы	3,2 – 0,2	8 – 4
Обработка зубьев червячных колес:		
фрезерование	3,2 – 1,6	9 – 7
шевингование червячным шевером	1,6 – 0,8	7
Обработка зубьев цилиндрических и конических зубчатых колес:		
шевингование	1,6 – 0,8(0,4)	
обкатывание	1,6 – 0,8	7
шлифование	1,6 – 0,4	7
зубохонингование	0,8 – 0,012	7 – 6
притирка	0,8 – 0,012	7 – 6
полирование	0,4 – 0,1	7(6)
протягивание	3,2 – 1,6	8

**Примечания:** 1. Значения  $R_a$  приведены для стали; для чугуна, алюминия и алюминиевых сплавов следует брать меньшие значения параметра, для сплавов на медной основе при слесарной обработке (опиловка, шабрение), шлифовании и доводочных работах (притирка, полирование, хонингование) – брать любые из указанных интервалов, при остальных видах обработки – большие значения.

2. В круглых скобках указаны предельно достижимые значения параметра шероховатости и квалитета.

Таблица П1.2

Рекомендуемые замены полей допусков  
в соответствии с ГОСТ 25347-82

Поля допусков отверстий					
Класс точности по системе ОСТ	Поле допуска по системе ОСТ	Поле допуска по системе ГОСТ	Класс точности по системе ОСТ	Поле допуска по системе ОСТ	Поле допуска по системе ГОСТ
1	$H_1$ $P_1$ $C_1 = A_1$	K6 $J_s6$ H6 G6	1	$T_1$ $H_1$ $P_1$ $C_1 = B_1$ Д1	m5 k5 $i_s5$ h5 g5
2	Г H C = A Д X	N7 K7 $J_s7$ H7 G7 F8	2	Пр Пр Г T H П C = B Д X Л	r6, s6 p6, r6 n6 m6 k6 $J_s6$ h6 g6  f7 e8
2a	$C_{2A} = A_{2A}$	H8	2a	Пр1 <sub>2a</sub> $C_{2a} = B_{2a}$	s7 h7
3	$C_3 = A_3$ X <sub>3</sub>	H8 H9 E9 F9	3	Пр1 <sub>3</sub> $C_3 = B_3$ Ш <sub>3</sub>	u8 h9 d9, d10
4	$C_4 = A_4$ X <sub>4</sub>	H11 D11	4	$C_4 = B_4$ X <sub>4</sub>	h11 d11
5	$C_5 = A_5$ X <sub>5</sub>	H12 B12	5	$C_5 = B_5$	h12 b12
7	A <sub>7</sub> CM <sub>7</sub>	H14 $J_s14$	7	CM <sub>7</sub> B <sub>7</sub>	$i_s14$ h14
8	A <sub>8</sub> CM <sub>8</sub>	H15 $J_s15$	8	CM <sub>8</sub> B <sub>8</sub>	$i_s15$ h15
9	A <sub>9</sub> CM <sub>9</sub>	H16 $J_s16$	9	B <sub>9</sub>	h16
10	A <sub>10</sub> CM <sub>10</sub>	H17 $J_s17$	10	B <sub>10</sub>	h17

Таблица П1.3

Сравнение чисел твердости металлов и сплавов  
по различным шкалам

По Виккерсу HV	По Бринеллю HB	По Роквеллу HRB	$\sigma_{\sigma}$ , МПа	По Виккерсу HV	По Бринеллю HB	По Роквеллу HRC	$\sigma_{\sigma}$ , МПа
100	100	52,4	333	245	245	21,2	815
105	105	57,5	350	250	250	22,1	835
110	110	60,9	362	255	255	23,0	855
115	115	64,1	382	260	260	23,9	865
120	120	67,0	402	265	265	24,8	880
125	125	69,8	410	270	270	25,6	900
130	130	72,4	430	275	275	26,4	910
135	135	74,7	450	280	280	27,2	930
140	140	76,6	470	285	285	28,0	950
145	145	78,3	480	290	290	28,8	970
150	150	79,9	500	295	295	29,5	980
155	155	81,4	520	300	300	30,2	1000
160	160	82,8	530	310	310	31,6	1030
165	165	84,2	550	320	319	33,0	1060
170	170	85,6	505	330	328	34,2	1090
175	175	87,0	580	340	336	35,3	1120
180	180	88,3	600	350	344	36,3	1150
185	185	89,5	620	360	352	37,2	1180
190	190	90,6	640	370	360	38,1	1200
195	195	91,7	650	380	368	38,9	1230
200	200	92,8	665	390	376	39,7	1260
205	205	93,8	685	400	384	40,5	1290
210	210	94,8	695	410	392	41,3	1305
215	215	95,7	715	420	400	42,1	1335
220	220	96,6	735	430	408	42,9	1365
225	225	97,5	745	440	416	43,7	1385
230	230	98,4	765	450	425	44,5	1410
235	235	99,2	785	460	434	45,3	1440
240	240	100,0	795	470	443	46,1	1480

Таблица П1.4

### Технические параметры сверлильно-фрезерно-расточных станков

Параметр	Модель						
	СФЗОФЗ	69002П МФ2	69004ВМ Ф2	69006В МФ2	6520ФЗ	КХ12- 500МФ4	МА655С М
Расстояние от шпинделя до стола, мм: наименьшее наибольшее	50 450	50 400	50 550	50 700	50 400	50 350	100
Размеры стола (длина × ширина), мм	320 × 1250	250 × 320	400 × 500	630 × 800	630 × 250	710 × 500	1000 × 500
Подача стола, мм/мин	5 ÷ 1500	2,5 ÷ 2500	2,5 ÷ 2500	2,5 ÷ 2500	5 ÷ 1200	20 ÷ 2300	До 1200
Скорость быстрых перемещений, м/мин	15	40	40	40	40	100	48
Частота вращения шпинделя, об/мин	31,5 ÷ 1600	45 ÷ 2500	32 ÷ 2000	32 ÷ 1600	31,5 ÷ ÷ 1600	110 ÷ 4000	20 ÷ 2500
Мощность главного привода, кВт	5,5	3,2	4,5	8,0	4,0	1,1	30
Суммарная мощность, кВт	7,0	4,0	5,0	10,0	4,5	1,4	32
Вместимость инструментального магазина, шт.	1 ÷ 15	30	30	30	15	28	30
Число положений поворотного стола	72	72	72	72	72	360	360

Окончание табл. П1.4

Параметр	Модель						
	2204PM Ф4 225PMФ 4	ИР320П МФ4	СТ13М Ф3	ЛФ260 МФ3	21104Н 7Ф4	ИР500 МФ4	ИР800 МФ4
Расстояние от шпинделя до стола, мм: наименьшее наибольшее	70 570	—	70 500	100 450	200 70	—	—
Размеры стола (длина × ширина), мм	400 × 500	320 × 320	400 × 1600	250 × 630	400 × 630	500 × 1400	800 × 2000
Подача стола, мм/мин	1 ÷ 4000	1 ÷ 3200	12,5 ÷ ÷ 1600	5 ÷ 1200	20 ÷ 2000	1 ÷ 3200	1 ÷ 3200

Конусы шпинделей фрезерных станков 7 : 24

Обозначение конуса шпинделя	Исполнение	Размеры, мм									
		$D$	$D_1$	$D_2$	$d$	$d_1$	$d_2$	$L$	$c$	$n$	$b$ (паза и шпонки)
30	V	31,75	70	54	17,4	17	M10	73	8	8	15,9
40		44,45	90	66,7	25,3		M12	100			
50		57,15	100	80	32,4	21		120	9,5	19	

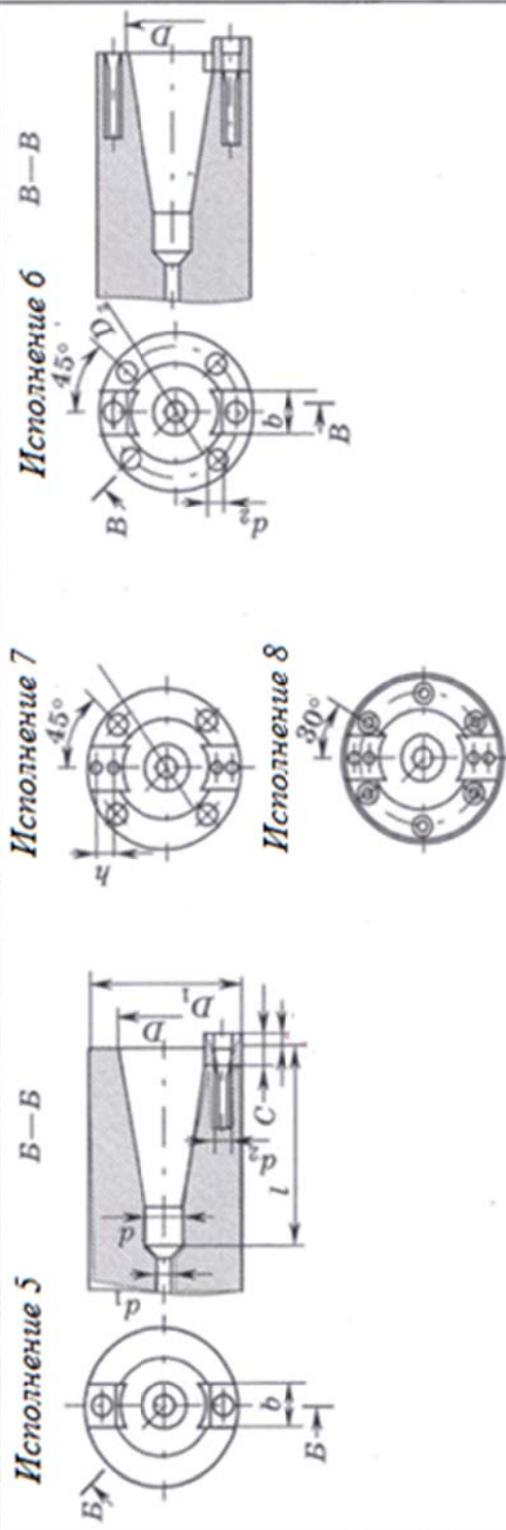


Таблица П1.6

Износ и стойкость фрезерного инструмента.  
Допустимый износ  $h_3$  по задней поверхности зуба фрезы

Тип фрез	Обрабатываемый материал	Материал режущей части фрезы	Характер обработки	$h_3$ , мм
Торцевые	Сталь	Твердый сплав	Черновая Чистовая	1 – 1,2 0,8 – 1
		Эльбор, бэльбор, гексанит	Черновая и чистовая	0,4 – 0,5
		Композит	Чистовая Получистовая	0,3 – 0,4 0,8
	Чугун	Твердый сплав	Черновая и чистовая	1,5 – 2
Дисковые	Сталь		Черновая Чистовая	1 – 1,2 0,8 – 1
		Быстрорежущая сталь	Черновая Чистовая	0,4 – 0,6 0,15 – 0,25
	Чугун	Быстрорежущая сталь	Черновая Чистовая	0,4 – 0,6 0,15 – 0,25
Цилиндрические	Сталь	Твердый сплав	Черновая и чистовая	0,5 – 0,6
		Быстрорежущая сталь	Черновая Чистовая	0,4 – 0,6 0,15 – 0,25
	Чугун	Твердый сплав	Черновая и чистовая	0,7 – 0,8
		Быстрорежущая сталь	Черновая Чистовая	0,5 – 0,8 0,2 – 0,3
Концевые		Твердый сплав	Черновая Чистовая	0,3 – 0,5 0,2 – 0,3
		Быстрорежущая сталь	Черновая Чистовая	0,3 – 0,5 0,1 – 0,2
		Твердый сплав	Черновая Чистовая	0,7 – 0,8 0,3 – 0,5
		Быстрорежущая сталь	Черновая	0,5 – 0,8
Чистовая	0,2 – 0,3			
Прорезные и отрезные		Быстрорежущая сталь	Черновая	
Фасонные незатылованные			Черновая	0,3 – 0,4
			Чистовая	0,2 – 0,3
Фасонные и пазовые затылованные			Черновая	0,3 – 0,4
		Чистовая	0,2	

Таблица П1.7

Среднее значение периода Т стойкости фрез, мин

Тип фрез	Диаметр фрезы <i>D</i> , мм	Твердосплавные фрезы для обработки		Быстрорежущие фрезы для обработки	
		стали	чугуна	стали	чугуна
Торцевые	40 – 63	–		120	–
	80 – 100	120	180	–	
	125 – 150	150	180		
	200 – 250	240			
Цилиндрические с мелкими зубьями	40 – 63	–		120	
	80 – 100	–		120	
Цилиндрические со вставными ножами	80 – 100	120		180	
	105 – 125	180		180	
Концевые	3 – 12	–		45	
	14 – 20	90		60	
	25 – 40	120		90	
	50 – 63	180		120	
	70 – 80	240		180	
Дисковые	50 – 63	–		120	120
	80 – 100	–		–	150
	125 – 150	180	180	150	180
	200 – 250	240	–	180	240
Прорезные и отрезные	63 – 100	–		60	90
	125 – 150	–		90	120
	200 – 250	–		120	180
	315	–		180	240

## **МАРКИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ**

### **Углеродистые и легированные стали, стальное литье, инструментальные и подшипниковые стали**

#### *Сплавы с покрытием*

**CM30M (P10 – P40).** Универсальный высокопроизводительный сплав для фрезерования сталей. Применяется в широком диапазоне скоростей резания при различных условиях фрезерования. Высокая стойкость против образования термотрещин.

**CM40M (P25 – P50).** Высокопрочный сплав для фрезерования сталей при повышенных требованиях к прочности режущей кромки. Рекомендуются для фрезерования мелких партий деталей из различных материалов с охлаждением или без охлаждения на низких и средних скоростях резания.

**CT35M (P15 – P45).** Сплав повышенной надежности. Хорошо работает при обработке прочных сталей, в том числе при наличии поверхностных дефектов заготовок.

**CU45 (P30 – P50).** Высокопрочный сплав для чернового фрезерования по корке, обработки прерывистых поверхностей и обработки в других неблагоприятных условиях. Допускает самые большие подачи на зуб при низких и средних скоростях резания.

#### *Сплавы без покрытия*

**PM30 (P20 – P40).** Сплав с удачной комбинацией износостойкости и прочности. Применяется для получистовой и черновой обработки с умеренными скоростями резания и подачами на зуб.

**PT40 (P35 – P45).** Сплав используется для чернового фрезерования по корке, обработки прерывистых поверхностей и обработки в других неблагоприятных условиях. Допускает самые большие подачи на зуб при низких скоростях резания.

## Нержавеющая сталь ферритного, мартенситного и аустенитного класса

### *Сплавы с покрытием*

**SM40M (M10 – M30).** Высокопрочный сплав для получистового и чернового фрезерования литья из нержавеющей сталей. Рекомендуется для небольших партий деталей из различных материалов.

**SU45 (M25 – M45).** Универсальный сплав для обработки нержавеющей сталей и отливок с коркой, в том числе при неблагоприятных условиях. Высокая прочность и низкая склонность к наростообразованию. Большие подачи на зуб при низких и средних скоростях резания.

### *Сплавы без покрытия*

**PM30 (M10 – M25).** Износостойкий сплав для получистового и чернового фрезерования с умеренными подачами на зуб и при средних скоростях резания.

**PT40 (M30 – M40).** Высокопрочный сплав для чернового фрезерования нержавеющей сталей. Используется для чернового фрезерования по корке, обработки прерывистых поверхностей и обработки в других неблагоприятных условиях. Допускает самые большие подачи на зуб при низких скоростях резания.

### *Сплавы с покрытием*

**SK15M (K05 – K25).** Сплав для обработки всех видов чугунов. Высокая износостойкость на высоких скоростях резания при умеренных подачах на зуб. Высокая стойкость к абразивному износу.

**SK20M (K15 – K30).** Первый выбор для фрезерования всех видов чугунов, в том числе при обработке по корке. Высокая износостойкость на средних и высоких скоростях при умеренных подачах на зуб. Высокая стойкость к абразивному износу.

### *Сплавы без покрытия*

**TK10 (K05 – K15).** Для чистового фрезерования чугуна при высоких скоростях и малых подачах. Основная область применения – зачистные пластины. Сплав обладает очень высокой износостойкостью. Пригоден для обработки цветных металлов.

**TK20 (K15 – K30).** Универсальный сплав с высокой стойкостью к абразивному износу для фрезерования чугуна при средних и низких скоростях резания с большими подачами. Пригоден для обработки дерева и пластмасс.

## **Алюминиевые сплавы и другие цветные металлы**

### ***Сплавы без покрытия***

**TK20 (N10 – N20).** Основная марка твердого сплава для обработки алюминиевых сплавов, меди и медных сплавов. Обеспечивает острые режущие кромки.

**TK25 (N15 – N25).** Мелкозернистый сплав для фрезерования алюминиевых сплавов, обеспечивающий очень острые режущие кромки.

## **Жаропрочные сплавы на железной, никелевой и кобальтовой основе. Титан и титановые сплавы**

### ***Сплавы без покрытия***

**TK20 (S15 – S25).** Марка сплава с хорошей прочностью и стойкостью к абразивному износу. Рекомендуется для обработки жаропрочных и титановых сплавов на средних скоростях резания и подачах.

**TK25 (S25 – S35).** Мелкозернистый сплав с хорошей сопротивляемостью образованию проточин и стойкостью к термическим ударам. Рекомендуется для фрезерования материалов, применяемых в аэрокосмической промышленности, в том числе титановых сплавов.

## **Материалы высокой твердости**

### ***Сплавы с покрытием***

**СК15М (НЮ – Н20).** Сплав с износостойким покрытием для чернового фрезерования закаленных сталей и отбеленного чугуна при удовлетворительных условиях на средних скоростях резания.

### ***Сплавы без покрытия***

**TK10 (H05 – H15).** Очень твердый и износостойкий сплав для чистового фрезерования отбеленного чугуна в хороших условиях.

**TK20 (HЮ – H20).** Сплав для обработки закаленных сталей и отбеленного чугуна на средних скоростях резания и в неблагоприятных условиях.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Аршинов, В. А.* Резание металлов и режущий инструмент : учеб. для машиностроит. техникумов / В. А. Аршинов, Г. А. Алексеев. – М. : Машиностроение, 1976. – 440 с.
2. *Блюмберг, В. А.* Справочник фрезеровщика / В. А. Блюмберг, Е. И. Зазерский. – Л. : Машиностроение, 1984. – 288 с.
3. *Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент : справочник / В. С. Самойлов [и др.].* – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.
4. *Филиппов, Г. В.* Режущий инструмент / Г. В. Филиппов. – Л. : Машиностроение, 1981. – 392 с.
5. *Грановский, Г. И.* Резание металлов : учеб. для вузов / Г. И. Грановский, В. Г. Грановский. – М. : Высш. шк., 1985. – 304 с.
6. *Сахаров, Г. Н.* Металлорежущие станки и инструменты : учеб. для вузов / Г. Н. Сахаров, О. Б. Арбузов, Ю. Л. Боровой. – М. : Машиностроение, 1989. – 328 с.
7. *Протяжки для обработки отверстий / Д. К. Маргулис [и др.].* – М. : Машиностроение, 1988. – 232 с.
8. *Допуски и посадки : справочник / под общ. ред. В. Д. Мягкова.* – Л. : Машиностроение, 1978. – 544 с.
9. *Методическое пособие по курсовому проектированию «Процессы формообразования и инструменты» / И. А. Коротков [и др.].* – М. : МГОУ, 1997. – Ч. 1. – 87 с.
10. *Фрайфельд, И. А.* Расчеты конструкции специального металлорежущего инструмента / И. А. Фрайфельд. – Л. : Машгиз, 1959. – 195 с.
11. *Семенченко, И. И.* Проектирование металлорежущих инструментов / И. И. Семенченко, В. М. Матюшин, Г. Н. Сахаров. – М. : Машгиз, 1952. – 952 с.
12. *Краткий справочник металлиста / под общ. ред. П. Н. Орлова и Е. А. Скороходова.* – М. : Машиностроение, 1986. – 960 с.
13. *Юликов, М. И.* Проектирование и производство режущего инструмента / М. И. Юликов, Б. И. Горбунов, Н. В. Колесов. – М. : Машиностроение, 1987. – 296 с.
14. *Нефедов, Н. А.* Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту : учеб. пособие для техникумов / Н. А. Нефедов, К. А. Осипов. – М. : Машиностроение, 1990. – 448 с.

15. Обработка металлов резанием : справ. технолога / под общ. ред. А. А. Панова. – М. : Машиностроение, 1988. – 736 с.

16. *Ящерицын, П.И.* Основы проектирования режущего инструмента с применением ЭВМ / П. И. Ящерицын, Б. И. Сеницын, Н. И. Жигалко. – М. : Высш. шк., 1979. – 304 с.

17. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов : учеб. пособие для вузов / под общ. ред. Г. Н. Кирсанова. – М. : Машиностроение, 1986. – 288 с.

18. *Иванов, С. Д.* Руководство по курсовому проектированию режущего инструмента : учеб.-справ. пособие для вузов / С. Д. Иванов, И. А. Коротков, С.Г. Брызгов. – М. : МГОУ, 2000. – 201 с.

19. *Они же.* Фрезерный инструмент : учеб. пособие для машиностроит. вузов / С. Д. Иванов, И. А. Коротков, С.Г. Брызгов. – М. : МГОУ, 2000. – 227 с.

20. *Некрасов, С. С.* Технология материалов. Обработка конструкционных материалов резанием / С. С. Некрасов, Г. М. Зильберман. – М. : Машиностроение, 1974. – 288 с.

21. Сборный твердосплавный инструмент / под общ. ред. Г. Л. Хаега. – М. : Машиностроение, 1989. – 256 с.

22. Справочник инструментальщика / под общ. ред. И. А. Ординарцева. – Л. : Машиностроение, 1987. – 846 с.

23. Справочник конструктора-инструментальщика / под общ. ред. В. А. Гречишникова и С. В. Кирсанова. – М. : Машиностроение, 2006. – 542 с. – ISBN 5-217-03353-3.

24. Справочник технолога-машиностроителя / под общ. ред. А. Д. Дальского, А. Г. Сулова, А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. – 496 с.

25. Режущий инструмент: курсовое и дипломное проектирование / под общ. ред. Е. Э. Фельдштейна. – Минск : Дизайн ПРО, 1997. – 384 с.

26. *Схиртладзе, А. Г.* Формообразующие инструменты в машиностроении : учеб. пособие / А. Г. Схиртладзе, Л. А. Чупина, А. И. Пульбере. – М. : Новое знание, 2006. – 560 с. (Серия «Техническое образование»). – ISBN 5-94735-095-5.

27. Повышение эффективности обработки точных отверстий в машиностроении / С. В. Кирсанов [и др.]. – М. : Глобус, 2001. – 181 с.

28. Радкевич, Я. М. Практикум по нормированию точности в машиностроении : учеб. пособие / Я. М. Радкевич, А. Г. Схиртладзе, И. А. Коротков. – М. : Славян. шк., 2003. – 326 с.

29. Они же. Стандартизация : учеб. пособие / Я. М. Радкевич, А. Г. Схиртладзе, И. А. Коротков. – М. : Славян. шк., 2002. – 363 с.

30. Гречишников, В. А. Проектирование режущего инструмента / В. А. Гречишников, И. А. Коротков, А. Г. Схиртладзе. – М. : Корвет, 2005. – 227 с. – ISBN 296-00566-X.

31. Формообразующие инструменты машиностроительных производств : учеб. для вузов / В. А. Гречишников [и др.]. – Старый Оскол : ТНТ, 2009. – 432 с.

32. Процессы и операции формообразования и инструментальная техника : учебник / В. А. Гречишников [и др.]. – М. : МГТУ Станкин, 2006. – 278 с. (Серия «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств»). – ISBN 5-8037-0296-X.

33. Резание материалов : учеб. для вузов / Е. Н. Трембач [и др.]. – Старый Оскол : ТНТ, 2010. – 512 с. – ISBN 978-5-94178-135-5.

34. Металлорежущие станки : учеб. для вузов / В. Д. Ефремов [и др.]. – Старый Оскол : ТНТ, 2010. – 512 с. – ISBN 978-5-94178-155-7.

35. Проектирование режущего инструмента : учеб. пособие для вузов / В. А. Гречишников [и др.]. – Старый Оскол : ТНТ, 2010. – 229 с. – ISBN 978-5-94178-179-9.

36. Проектирование металлообрабатывающих инструментов : учеб. пособие для вузов / В. А. Гречишников [и др.]. – М. : Дрофа, 2010. – 252 с. – ISBN 978-5-358-06298-6.

37. Режущий инструмент : учеб. пособие для вузов / А. А. Рыжкин [и др.]. – Ростов н/Д : Феникс, 2009. – 405 с. – ISBN 978-5-222-15232-4.

38. Формообразующие инструменты в машиностроении : учеб. пособие для вузов. В 2 ч. Ч. 1. Инструменты общего назначения; Ч. 2. Инструменты автоматизированного производства / А. Г. Схиртладзе [и др.]. – Набережные Челны : КГИЭА, 2006. – Ч. 1. – 557 с. – ISBN 978-5-94735-095-5; 2009. – Ч. 2. – 432 с. – ISBN 978-5-94178-158-4.

39. Метрология, стандартизация и технические измерения : учеб. для вузов / А. Г. Схиртладзе [и др.]. – Старый Оскол : ТНТ, 2010. – 420 с. – ISBN 978-5-94178-201-7.

40. *Трембач, Е. Н.* Проектирование металлорежущего инструмента : учеб. для вузов / Е. Н. Трембач, Г. А. Мелетьев, А. Г. Схиртладзе. – Йошкар-Ола : Изд-во МарГТУ, 2008. – 431 с. – ISBN 978-5-8158-0624-5.

41. Резание материалов. Режущий инструмент. В 3 т. Т. 1. Резание материалов. Т. 2. Теория и технология формообразования. Т. 3. Режущий инструмент : учеб. для вузов / В. А. Гречишников [и др.]. – Набережные Челны : КГИЭА, 2005. – Т. 1. – 256 с. – ISBN 5-9536-0082-8; 2006. – Т. 2. – 259 с. – ISBN 5-9536-0084-4; 2006. – Т. 3. – 285 с. – ISBN 5-9536-0081-X.

42. Технология конструкционных материалов : учеб. пособие / А. Г. Схиртладзе [и др.]. – Старый Оскол : ТНТ, 2006. – 360 с. – ISBN 978-5-94178-111-3.

43. *Солоненко, В. Г.* Технология производства режущего инструмента : учеб. пособие / В. Г. Солоненко, Ю. С. Звягольский, А. Г. Схиртладзе. – М. : Высш. шк., 2010. – 334 с. – ISBN 978-5-06-006003-4.

44. *Схиртладзе, А. Г.* Инструменты и технологическая оснастка фрезерных операций : учеб. пособие / А. Г. Схиртладзе, И. А. Коротков, Г. А. Мелетьев. – Йошкар-Ола : Изд-во МарГТУ, 2009. – 376 с. – ISBN 978-5-8158-0754-9.

45. *Мелетьев, Г. А.* Станочник широкого профиля / Г. А. Мелетьев, В. Ю. Новиков. – М. : Высш. шк., 2007. – 464 с. – ISBN 978-5-0600-5902-1.

46. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учеб. для вузов / В. С. Кушнер [и др.]. – Омск : ОмГТУ, 2009. – 520 с. – ISBN 978-5-8149-0748-6.

47. Расчет припусков и межпереходных размеров в машиностроении : учеб. пособие / Я. М. Радкевич [и др.]. – М. : Высш. шк., 2007. – 272 с. – ISBN 978-5-06-004277-4.

48. *Серебренницкий, П. П.* Краткий справочник станочника / П. П. Серебренницкий, А. Г. Схиртладзе. – М. : Дрофа, 2008. – 655 с. – ISBN 978-5-358-03992-6.

49. Проектирование технологических операций металлообработки : учеб. пособие / Л. А. Чупина [и др.]. – Тирасполь : Литера, 2010. – 636 с. – ISBN 978-5-94178-227-7.

50. Радкевич, Я. М. Метрология, стандартизация и сертификация : учеб. для вузов / Я. М. Радкевич, А. Г. Схиртладзе, Б. И. Лактионов. – М. : Высш. шк., 2010. – 791 с. – ISBN 978-5-06-006177-2.

51. Схиртладзе, А. Г. Технологические процессы в машиностроении : учеб. для вузов / А. Г. Схиртладзе. – М. : Высш. шк., 2007. – 927 с. – ISBN 978-5-06-004423-2.

*Учебное издание*

МОРОЗОВ Валентин Васильевич  
ГРИГОРЬЕВ Сергей Николаевич  
СХИРТЛАДЗЕ Александр Григорьевич  
и др.

**ФРЕЗЕРНЫЙ ИНСТРУМЕНТ**

Учебное пособие

Подписано в печать 10.09.14.

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 12,56. Тираж 77 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.  
600000, Владимир, ул. Горького, 87.