

621.9(03)  
С 441



БИБЛИОТЕКА  
КОНСТРУКТОРА

---

**СПРАВОЧНИК  
КОНСТРУКТОРА-  
ИНСТРУМЕНТАЛЬЩИКА**

621.9(03)

С 741

387460

Справочник

конструктора -  
инструментальщика

630-00

СПРАВОЧНИК  
КОНСТРУКТОРА-  
ИНСТРУМЕНТАЛЬЩИКА



СПРАВОЧНИК  
КОНСТРУКТОРА-  
ИНСТРУМЕНТАЛЬЩИКА

Содержание

1. Общие сведения	1
2. Технические характеристики	2
3. Методы измерения	3
4. Требования к качеству	4
5. Правила эксплуатации	5
6. Техническое обслуживание	6
7. Ремонт	7
8. Упаковка и хранение	8
9. Транспортировка	9
10. Гарантийные обязательства	10





БИБЛИОТЕКА КОНСТРУКТОРА

# СПРАВОЧНИК КОНСТРУКТОРА- ИНСТРУМЕНТАЛЬЩИКА

## Авторский коллектив:

В.И. Баранчиков, Г.В. Боровский, Ю.В. Гаврилов,  
В.А. Гречишников, С.Н. Григорьев, Ю.И. Иванов,  
Г.Н. Кирсанов, С.В. Кирсанов, В.И. Кокарев,  
Б.А. Кравченко, В.Г. Круцило, А.Р. Маслов,  
Н.С. Нерубай, Л.В. Николаев,  
В.В. Плешивцев, А.Г. Схиртладзе



МОСКВА «МАШИНОСТРОЕНИЕ» 2006



БИБЛИОТЕКА КОНСТРУКТОРА

Основана в 1968 году

# СПРАВОЧНИК КОНСТРУКТОРА- ИНСТРУМЕНТАЛЬЩИКА

2-е издание, переработанное и дополненное

ОАО «НКМК»  
Опорная  
научно-техническая  
библиотека им. И.П. Бардина  
г. Новокузнецк

Под общей редакцией  
проф., д-ров техн. наук  
В.А. Гречишникова и С.В. Кирсанова



МОСКВА «МАШИНОСТРОЕНИЕ» 2006

621,9(03)  
С 741

387460

4

УДК 621.9.02.001.2 (035)  
ББК 34.63-56  
С74

Авторы: В.И. Баранчиков, Г.В. Боровский, Ю.В. Гаврилов, В.А. Гречишников, С.Н. Григорьев, Ю.И. Иванов, Г.Н. Кирсанов, С.В. Кирсанов, В.И. Кокарев, Б.А. Кравченко, В.Г. Круцило, А.Р. Маслов, Н.С. Нерубай, Л.В. Николаев, В.В. Плешивцев, А.Г. Схиртладзе

С74 **Справочник** конструктора-инструментальщика / Под общ. ред. В.А. Гречишникова и С.В. Кирсанова. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2006. – 542 с.: ил – (Библиотека конструктора)  
ISBN 5-217-03353-3

Приведены сведения, необходимые для расчета, проектирования, изготовления и эксплуатации высокоэффективных конструкций режущих инструментов.

Второе издание (1-е изд. 1994 г.) дополнено сведениями о методах поверхностной модификации инструментальных материалов, современных конструкциях инструментов с механическим креплением сменных многогранных пластин и инструментах для обработки глубоких отверстий. Приведены методики отработки режущих инструментов на технологичность и оценки их конкурентоспособности.

Для инженеров-конструкторов и технологов машиностроительных предприятий, а также может быть полезен студентам и преподавателям вузов.

УДК 621.9.02.001.2 (035)  
ББК 34.63-56

ISBN 5-217-03353-3

© «Издательство «Машиностроение», 2006

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, опубликованных в данной книге, допускаются только с разрешения издательства и со ссылкой на источник информации.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	8
<b>Глава 1. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ И МЕТОДЫ ПОВЕРХНОСТНОЙ МОДИФИКАЦИИ (С.Н. Григорьев)</b> .....	9
1.1. Классификация инструментальных материалов и общие требования, предъявляемые к ним .....	9
1.2. Инструментальные стали .....	11
1.3. Твердые сплавы .....	20
1.4. Керамика .....	29
1.5. Сверхтвердые материалы (СТМ) .....	32
1.6. Методы поверхностной модификации .....	38
<b>Глава 2. ОБЩИЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ. СПОСОБЫ ЗАКРЕПЛЕНИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ НА СТАНКАХ (В.И. Баранчиков)</b> .....	65
2.1. Составные части и элементы режущих инструментов .....	65
2.2. Общие конструктивные элементы инструментов с неразъемными соединениями, их формы, размеры и способы соединения ...	66
2.3. Сменные многогранные пластины: основные виды, область применения, схемы крепления, обозначение и классификация .....	72
2.4. Способы крепления режущих инструментов на станках .....	87
2.5. Анализ и отработка конструкций режущих инструментов на технологичность (В.Г. Круцило, Ю.И. Иванов) .....	112
2.6. Конкурентоспособность режущих инструментов .....	116
<b>Глава 3. РЕЗЦЫ (В.И. Баранчиков, Б.А. Кравченко)</b> .....	120
3.1. Расчет резцов на прочность и жесткость .....	128
3.2. Крепление режущих пластин на державках резцов .....	131
3.3. Геометрические параметры режущих частей резцов .....	131
3.4. Износ и переточки твердосплавных режущих пластин .....	137
3.5. Формы и размеры пластин для напайных резцов .....	138
3.6. Стружколомы .....	139
3.7. Расчет параметров установки СМП в корпусах инструментов .....	142
3.8. Резцы с механическим креплением СМП .....	143
3.9. Фасонные резцы (Ю.И. Иванов) .....	159

<b>Глава 4. ОСЕВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ</b> ( <i>В.В. Плешивцев</i> )	182
4.1. Классификация осевых инструментов для обработки отверстий	182
4.2. Конструкции сверл, зенкеров и разверток ( <i>Л.В. Николаев</i> )	183
4.2.1. Сверла	183
4.2.2. Зенкеры	191
4.2.3. Развертки	196
4.3. Специальные конструкции осевых инструментов	205
4.4. Инструменты для сверления глубоких отверстий ( <i>С.В. Кирсанов, В.И. Кокарев</i> )	209
4.5. Инструменты для растачивания глубоких отверстий ( <i>С.В. Кирсанов</i> )	227
<b>Глава 5. ФРЕЗЫ</b> ( <i>В.И. Баранчиков</i> )	231
5.1. Конструктивные элементы фрез с остроконечными зубьями	231
5.2. Фрезы с остроконечными зубьями из быстрорежущих сталей	238
5.3. Фрезы с затылочными зубьями	253
5.4. Конструктивные особенности твердосплавных фрез с остроконечными зубьями	263
5.5. Фрезы с механическим креплением СМП	273
<b>Глава 6. ПРОТЯЖКИ И ПРОШИВКИ</b> ( <i>М.С. Нерубай</i> )	291
6.1. Основные конструктивные элементы внутренних протяжек	291
6.2. Схемы резания, применяемые при протягивании	295
6.3. Методика выбора и расчета конструктивных элементов круглых протяжек	297
6.4. Винтовые протяжки ( <i>Ю.В. Гаврилов</i> )	314
6.5. Шлицевые протяжки	331
6.6. Шпоночные протяжки	333
6.7. Особенности проектирования гранных протяжек	335
6.8. Наружные протяжки	336
6.9. Проектирование прошивок	337
<b>Глава 7. РЕЗЬБООБРАЗУЮЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ</b> ( <i>В.А. Гречишников, А.Г. Схиртладзе</i> )	341
7.1. Схемы нарезания резьб	341
7.2. Резьбовые резцы	343

7.3. Метчики	351
7.4. Плашки	369
7.5. Резьбовые фрезы	371
7.6. Резьбонарезные головки	375
7.7. Инструменты для накатывания резьбы	378
7.8. Резьбонакатные плашки	382
<b>Глава 8. ЗУБОРЕЗНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ</b> ( <i>Г.Н. Кирсанов</i> )	384
8.1. Общие сведения	384
8.2. Инструменты для обработки цилиндрических колес методом копирования	395
8.3. Зуборезные долбяки	401
8.4. Зуборезные червячные фрезы ( <i>Ю.И. Иванов</i> )	411
8.5. Шеверы	427
8.6. Зубострогальные резцы для нарезания конических колес	438
8.7. Червячные фрезы для нарезания червячных колес	442
8.8. Обкатные инструменты для обработки зубчатых деталей с неэвольвентным профилем	444
8.9. Направления развития и перспективные конструкции зуборезного инструмента ( <i>Ю.И. Иванов</i> )	458
<b>Глава 9. ИНСТРУМЕНТЫ ИЗ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ И КЕРАМИКИ</b> ( <i>Г.В. Боровский</i> )	464
9.1. Резцы, оснащенные поликристаллическими сверхтвердыми материалами и керамикой	464
9.2. Фрезы, оснащенные поликристаллическими сверхтвердыми материалами и керамикой	492
<b>Глава 10. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ</b> ( <i>А.Р. Маслов</i> )	508
10.1. Инструментальные модули	508
10.2. Расчет точности закрепления сборных инструментов	535
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b>	540

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Одним из важнейших направлений совершенствования технологии механической обработки в машиностроении является интенсификация технологических процессов на основе применения высокоэффективных конструкций режущих инструментов.

Высокое качество деталей машин и механизмов обеспечивает их обработка на металлорежущих станках. Работоспособность режущего инструмента оказывает существенное влияние на экономическую эффективность процесса производства, а качественное исполнение инструмента и его совершенствование зависит от уровня инструментального производства, инструментального обеспечения предприятия.

Основные направления развития инструментального производства лежат в сферах деятельности, связанных с процессом проектирования новейших конструкций инструмента, системой выбора инструмента для заданного технологического процесса, качественным выбором технологического процесса изготовления инструмента, оптимальными условиями эксплуатации инструмента и выбором благоприятных экологических условий.

Совершенствование проектирования режущего инструмента в основном на-

правлено на выбор материала режущей части, конструкции режущего инструмента и средств проектирования.

Второе издание справочника дополнено сведениями о методах поверхностной модификации инструментальных материалов и областях их применения, современных конструкциях режущих инструментов с механическим креплением сменных многогранных пластин (СМП), инструментах для обработки глубоких отверстий и инструментальных комплексах. Приведены методики отработки режущих инструментов на технологичность и оценки их конкурентоспособности в условиях рынка.

С момента выхода первого издания справочника (1994 г.) скончались редактор канд. техн. наук В.И. Баранчиков и профессора, д-ра техн. наук Г.Н. Кирсанов, Б.А. Кравченко и М.С. Нерубай. Это усложнило работу по подготовке справочника к переизданию и потребовало обновления авторского коллектива.

Авторы надеются, что представленные в справочнике сведения будут полезны при разработке высокоэффективных конструкций режущих и вспомогательных инструментов, необходимых в условиях современного машиностроения.

## Глава 1

# ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ И МЕТОДЫ ПОВЕРХНОСТНОЙ МОДИФИКАЦИИ

### 1.1. Классификация инструментальных материалов и общие требования, предъявляемые к ним

При изготовлении инструментов для обработки металлов в отечественной промышленности применяется широкая номенклатура инструментальных материалов, которые подразделяются на четыре основные группы (рис. 1.1).

В процессе обработки металлов резанием рабочие поверхности инструментов подвергаются интенсивному воздействию высоких контактных давлений и температур, а взаимодействие с обрабатываемым материалом и реагентами из окружающей среды приводит к протеканию интенсивных физико-химических процессов – адгезии, диффузии, окисления и коррозии. Чтобы инструменты могли сопротивляться действующим на них нагрузкам, инструментальные материалы

должны соответствовать целому комплексу требований.

**Твердость.** Чтобы инструменты, не деформируясь, могли срезать необходимые объемы обрабатываемых материалов, твердость инструментальных материалов  $HV_{им}$  должна значительно (более чем в 2,5 раза) превосходить твердость обрабатываемых материалов  $HV_{ом}$ . Поэтому одним из главных требований, предъявляемых к инструментальным материалам, является их высокая твердость. Однако чрезмерное увеличение твердости, как правило, приводит к увеличению хрупкости, снижению вязкости и трещиностойкости инструментальных материалов. Поэтому в зависимости от условий обработки существует оптимальное отношение  $HV_{им}/HV_{ом}$ , обеспечивающее приемлемое соотношение твердости и вязкости инструментальных материалов.



Рис. 1.1. Классификация инструментальных материалов

**Механическая прочность.** Способность инструментов сопротивляться большим механическим нагрузкам без хрупкого разрушения и заметного пластического деформирования определяется их механической прочностью. Поэтому инструментальные материалы должны обладать достаточными значениями механической прочности при растяжении и изгибе. Так как инструменты могут эксплуатироваться в условиях циклических нагрузок – прерывистое резание, резание с переменным припуском и т.д., то наряду с механической прочностью, инструментальные материалы должны обладать высоким сопротивлением разрушению при циклическом нагружении, обычно называемым *пределом выносливости*.

**Теплостойкость.** Это свойство определяет способность режущих инструментов сохранять свою твердость при повышенных температурах, возникающих в процессе резания. Именно от теплостойкости инструментальных материалов в первую очередь зависит максимально допустимая скорость резания, с которой могут работать инструменты. С учетом необходимости использования инструментальных материалов в условиях периодического изменения температуры (например, прерывистое резание), инструментальные материалы должны быть мало чувствительны к циклическим изменениям температуры.

**Износостойкость.** Чтобы режущие инструменты могли сопротивляться удалению частиц с их рабочих поверхностей при взаимодействии с обрабатываемыми материалами, инструментальные материалы должны обладать высокой износостойкостью. Этот показатель является комплексным свойством и зависит от всех вышеперечисленных свойств – твердости, прочности и теплостойкости.

**Теплопроводность.** Способность отводить тепло из зоны резания с целью снижения вероятности перегрева режущих кромок является важным условием

для нормальной работы режущих инструментов. Поэтому инструментальные материалы должны обладать достаточной теплопроводностью.

**Сродство с обрабатываемым материалом.** Необходимым условием достижения высоких режущих свойств инструментов является низкая физико-химическая активность инструментальных материалов по отношению к обрабатываемым материалам. Поэтому кристаллохимические свойства инструментальных материалов должны существенно отличаться от соответствующих свойств обрабатываемых материалов. Степень такого отличия сильно влияет на адгезивно-усталостные, окислительные процессы, изнашивание рабочих поверхностей инструментов и качество обработанных поверхностей.

**Технологичность.** Под технологичностью понимается комплекс свойств, характеризующий поведение инструментальных материалов при изготовлении режущих инструментов. Технологичность определяет возможность использования марки инструментального материала в конструкции конкретного режущего инструмента. Например, материалы, обладающие плохой шлифуемостью, неудобны при изготовлении и переточке сложнопрофильных инструментов, а слишком узкий температурный интервал нагрева материала при термообработке может привести к браку и т.д.

**Экономичность.** Наряду с рассмотренными выше физико-механическими, кристаллохимическими и технологическими свойствами, немаловажной характеристикой инструментальных материалов является экономичность, которая в основном зависит от их химического состава. Введение большого количества дорогостоящих легирующих элементов (вольфрама, кобальта и т.д.) существенно увеличивает стоимость инструментальных материалов и сужает область их применения.

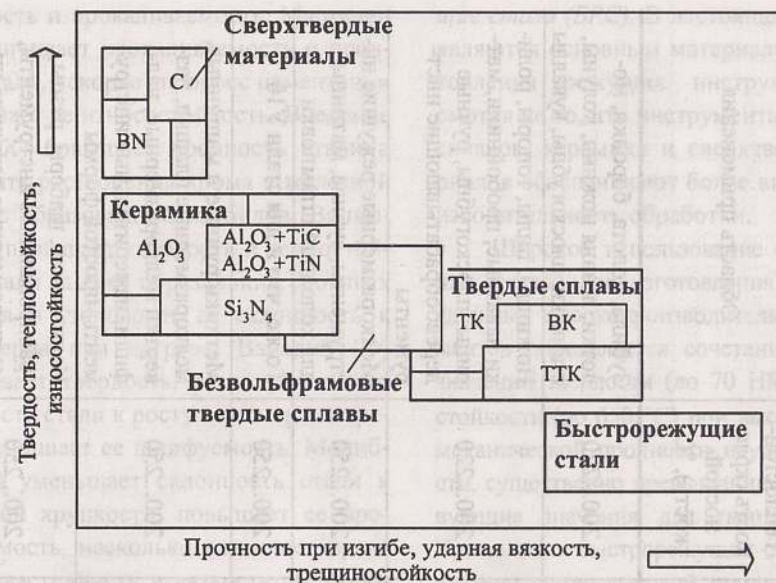


Рис. 1.2. Классификация инструментальных материалов по их свойствам

Данные, представленные на рис. 1.2, наглядно демонстрируют, что ни один из существующих инструментальных материалов не сочетает в себе весь комплекс требований – высокую твердость, теплостойкость, механическую прочность и др. Именно поэтому инструментальные материалы не являются универсальными и специализированы для конкретных условий обработки.

## 1.2. Инструментальные стали

По химическому составу, степени легированности инструментальные стали разделяют на углеродистые, легированные и быстрорежущие стали. Режущие свойства этих сталей при нормальной температуре достаточно близки, а различаются они теплостойкостью и прокаливаемостью при закалке.

**Инструментальные углеродистые стали** применяют достаточно широко для изготовления ручных инструментов, а также корпусных и крепежных частей

режущих инструментов. В случае, когда режущие кромки инструментов в процессе обработки не нагреваются свыше 200...220 °С, углеродистые стали могут применяться и для оснащения их режущих частей. В табл. 1.1 представлены основные физико-механические свойства и области применения некоторых марок углеродистых сталей.

Марки углеродистых сталей обозначают буквой У, за которой следует цифра, характеризующая массовое содержание углерода в стали в десятых долях процента. Так, в стали марки У10 массовое содержание углерода составляет один процент. Буква А в обозначении соответствует высококачественным сталям с пониженным массовым содержанием примесей.

**Инструментальные легированные стали.** Для повышения тех или иных свойств инструментальных углеродистых сталей в их состав вводят легирующие элементы, которые обозначают соответствующими буквами в марках сталей. Так, никель (Н) после соответствующей термообработки стали несколько увеличивает



1.1. Основные физико-механические свойства и области применения наиболее распространенных углеродистых сталей

Марка	Физико-механические свойства					Содержание карбидной фазы, %	Теплостойкость (красностойкость), °С	Область применения	
	ρ, г/см <sup>3</sup>	НВ	после отжига		после закалки и отпуска				
			НВ	σ <sub>в</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	σ <sub>в</sub> , Н/мм <sup>2</sup>				НRC
У7, У7А	7,83	285	187	630	2000...2100	62...64	200...220	Зубила, долота, бородки, молотки, лезвия ножиц, колуны, стамески, плоскогубцы, кувалды	
У8, У8А	7,83	302	187	750	1950	62...64	200...220	Ножницы, пилы, топоры, ролики накатные, пробойники, матрицы, плоскогубцы, ручные деревообрабатывающие инструменты	
У10, У10А	7,81	321	197	650	2380	63...65	200...250	Мелкоразмерные режущие инструменты, зубила, матрицы для холодной штамповки	
У11*, У11А*	7,81	341	207	650	2900	63...65	200...250	То же, что и для стали У10	
У12, У12А	7,81	341	207	645	1720	63...66	200...250	Метчики ручные и машинные, мелкоразмерные пашки, развертки мелкоразмерные, надфили, измерительные инструменты простой формы	
У13*, У13А*	7,81	341	217	—	2300	63...66	200...250	Напильники, шаберы, резцы, гравировальные инструменты, мелкоразмерные режущие инструменты	

\* Исключены из ГОСТ 1435-99.

ее вязкость и прокаливаемость. Марганец (Г) увеличивает прокаливаемость и прочность стали, ускоряет процесс цементации и повышает ее износостойкость. Введение хрома (Х) повышает прочность стали в результате растворения хрома в железной основе с образованием карбидов. Вольфрам (В) повышает твердость и теплостойкость стали за счет образования сложных карбидов и уменьшает ее склонность к росту зерна при нагреве. Ванадий (Ф) увеличивает твердость, резко уменьшает склонность стали к росту зерна при нагреве, но ухудшает ее шлифуемость. Молибден (М) уменьшает склонность стали к отпускной хрупкости, повышает ее прокаливаемость, несколько повышает прочность, пластичность и вязкость. Кремний (С) улучшает прокаливаемость стали, снижает ее чувствительность к перегреву и обеспечивает более равномерное распределение карбидов.

В табл. 1.2 представлены основные физико-механические свойства и области применения наиболее распространенных марок легированных сталей. В марках сталей первая цифра характеризует массовое содержание углерода в десятых долях процента (если цифра отсутствует, то содержание углерода доходит до одного процента), а буквы в обозначении указывают на содержание соответствующих легирующих элементов.

Введение легирующих элементов в состав углеродистой стали позволяет связать некоторое количество углерода в карбиды и тем самым повысить ее теплостойкость (на 50...150 °С), а, кроме того, увеличивает прокаливаемость стали. Это позволяет использовать легированные стали для изготовления режущих инструментов сложной формы с размерами сечения свыше 20 мм (протяжки, метчики).

Инструментальные быстрорежу-

щие стали (БРС). В настоящее время БРС являются основным материалом для изготовления режущих инструментов, несмотря на то, что инструменты из твердых сплавов, керамики и сверхтвердых материалов обеспечивают более высокую производительность обработки.

Широкое использование быстрорежущих сталей для изготовления сложнопрофильных высокопроизводительных инструментов определяется сочетанием высоких значений твердости (до 70 HRC) и теплостойкости (до 650 °С) при высоком уровне механической прочности и ударной вязкости, существенно превышающих соответствующие значения для твердых сплавов. Кроме того, быстрорежущие стали обладают достаточно высокой технологичностью, так как хорошо обрабатываются в отожженном состоянии.

Благодаря наличию в БРС большого количества легирующих элементов (табл. 1.3), образующих с углеродом теплостойкие карбиды, образования карбидов железа практически не происходит и разупрочнение быстрорежущих сталей начинается при более высоких температурах по сравнению с углеродистыми и легированными сталями (табл. 1.4). Высокие показатели твердости, прочности и теплостойкости БРС приобретаются в результате двойного упрочнения – мартенситного при закалке и дисперсионного твердения при высоком отпуске (500...620 °С), вызывающего выделение упрочняющих фаз. По уровню теплостойкости, и соответственно применяемым скоростям резания, быстрорежущие стали условно классифицируют на *стали нормальной производительности* (стали умеренной теплостойкости); *стали повышенной производительности* (стали повышенной теплостойкости); *стали высокой производительности* (стали высокой теплостойкости) (см. табл. 1.3).

1.2. Основные физико-механические свойства и области применения наиболее распространенных легированных сталей

Марка	Физико-механические свойства				Теплостойкость (красностойкость), °С	Область применения			
	после отжига	после закалки и отпуска		Содержание карбидной фазы, %					
$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	НВ	НВ	$\sigma_{\text{в}}$ , Н/мм <sup>2</sup>		HRC	200...250	Метчики и другие режущие инструменты диаметром до 30 мм, закаливаемые с охлаждением в горячих средах		
11X, 11XФ	7,82	341	217	—	2700			63...66	15,5...17,0
X, ШХ15	7,83	388	229	730	2300	63...66	14,5...16,5	240...250	Режущие инструменты, клейма
9XC	7,83	415	241	700	2200	63...66	12,5...14,0	240...250	Плашки, развертки, холодновысодочные матрицы и пуансоны, ручные деревообрабатывающие инструменты, ножи для резки бумаги
XBC	7,83	388	255	—	3200	62...64	14,0...15,5	200...220	Резьбовые калибры, протяжки, длинные метчики и развертки, холодновысодочные матрицы и пуансоны, технологическая оснастка
XBГ	7,83	514	255	—	3400	63...66	14,0...16,0	200...220	Ролики и плашки, ручные ножовочные полотна, деревообрабатывающие инструменты
X6BФ	—	578	229	725	3150	59...61	12,0...14,0	400...500	Штампы для холодного деформирования, накатные плашки, матрицы и пуансоны вырубных и просечных штампов
X12Ф1	—	578	255	—	3040	63...65	15,0...17,0	490...510	
X12M	—	578	255	—	—	63...65	—	490...510	

1.3. Марки БРС, применяемые для изготовления режущих инструментов

Группа БРС	Марка БРС (ГОСТ 19265-73)	Средний химический состав, %							
		C	W	Mo	Cr	V	Co	N	Nb
Нормальной производительности	P9	0,9	9	<1	4	2,5	<0,5	—	—
	P18	0,75	18	<1	4	1,2	<0,5	—	—
	P6M5	0,85	6	5,2	4	1,9	<0,5	—	—
	11P3AM3Ф2	1,5	3	3	4	2,5	<0,5	0,08	0,1
Повышенной производительности	P6M5Ф3	0,5	6	5,2	4	2,5	<0,5	—	—
	P12Ф3	1	12,5	<1	4	3	<0,5	—	—
	P18K5Ф2	0,9	18	<1	4	2,1	5	—	—
	P9K5	0,95	9,5	<1	4	2,5	5,5	—	—
Высокой производительности	P6M5K5	0,85	6,5	5	4	2	5	—	—
	P9M4K8	1,05	9	4	3,2	2,3	8	—	—
	P2AM9K5	1,05	2	9	4	2	5	0,08	0,2
	B11M7K23 (по ТУ)	0,1	11,5	7,5	<0,5	0,6	23,5	—	—
	B4M12K23 (по ТУ)	0,1	4	12,5	<0,5	0,6	23,5	—	—

Примечания: 1. В марках сталей буквы и цифры означают: P – быстрорежущая (от англ. слова "Rapid" – быстрый), а цифра, следующая за буквой, – среднюю массовую долю вольфрама; M – молибден, Ф – ванадий, K – кобальт, A – азот; цифры следующие за буквами, означают соответственно массовую долю молибдена, ванадия и кобальта.

2. В обозначениях марок сталей не указывают массовую долю: хрома – при любой массовой доле; молибдена – до 1 % включительно; ванадия – в сталях марок P18, P9, P6M5, P9K5, P6M5K5, P9M4K8 и P2AM9K5; азота – в сталях марок 11P3AM3Ф2 и P2AM9K5.

3. При легировании сталей марок P6M5 и P6M5Ф3 азотом (массовая доля азота 0,05...0,10 %) в наименование марок добавляется буква A – P6AM5 и P6AM5Ф3.

Основной маркой группы БРС *нормальной производительности* является сталь P6M5, которая пригодна для изготовления практически любых инструментов, предназначенных для резания сталей и сплавов нормальной обрабатываемости – углеродистых и низколегированных конструкционных сталей. Повышение теплостойкости и износостойкости сталей этой группы достигается их дополнительным легированием ванадием и кобальтом с соответствующим изменением содержания углерода.

Наличие в сталях *повышенной производительности* ванадиевых карбидов повышает их твердость и обеспечивает повышенную износостойкость в процессе обработки металлов. Однако вместе с высокой износостойкостью, стали, легированные ванадием, обладают плохой шлифуемостью из-за того, что твердость карбидов ванадия соизмерима с твердостью зерен шлифовального круга. Областью применения ванадиевых сталей являются главным образом чистовые и получистовые

## 1.4. Физико-механические свойства наиболее распространенных БРС

Марка	Температура, °С		Предел прочности $\sigma_{изг}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Ударная вязкость $KC \cdot 10^5$ Дж/м <sup>2</sup>	Твердость HRC	Теплостойкость, °С
	закалки	отпуска				
P18	1270	560	2900...3100	3,0	63	620
P9	1220	550	3200	2,0	63	620
P6M5, P6AM5	1220	550	3300...3400	4,8	64	620
11P3AM3Ф2	1200	550	2900...3100	4,5	63	620
P6M5Ф3	1220	550	2700...2800	4,0	64	630
P12Ф3	1250	560	3000	2,7	64	630
P9K5	1230	570	2500	1,7	64	630
P6M5K5	1230	550	2500...2800	2,75	65	630
P9M4K8	1230	550	2300...2400	2,6	65	640

операции или обработка материалов, обладающих достаточно высокой твердостью. Наиболее распространенной маркой ванадиевых БРС является сталь P6M5Ф3.

Введение кобальта в состав БРС существенно повышает их твердость и теплостойкость. Кобальт не является карбидообразующим элементом, поэтому его введение приводит к увеличению температуры  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращений; повышается химическая активность углерода, вольфрама и молибдена в феррите, что является причиной образования большого количества дисперсных частиц, выполняющих роль фазовых упрочнителей при отпуске. Кроме того, введение кобальта существенно повышает теплопроводность стали.

Наряду с достоинствами, связанными с высокой износостойкостью, теплостойкостью и теплопроводностью, кобальтовые стали имеют ряд недостатков. К ним относится сравнительно низкая пластичность, высокая склонность к обезуглероживанию при нагреве под горячую деформацию и закалку, а также некоторое снижение прочностных свойств. Отмеченные недостатки, а также высокая стоимость кобальтовых сплавов определяют достаточно узкую область их рацио-

нального применения для изготовления инструментов, используемых при обработке коррозионно-стойких, жаропрочных сталей и сплавов, или если к режущим инструментам предъявляют высокие требования по надежности, например при автоматизированной обработке. Наиболее распространенной маркой кобальтовых БРС является сталь P6M5K5.

Наиболее высокую теплостойкость (до 700...720 °С) имеют высоколегированные стали с интерметаллидным упрочнением (марки В4М12К23 и В11М7К23). После окончательной термообработки структура этих сплавов состоит из безуглеродистого (или малоуглеродистого) мартенсита с невысокой твердостью (30...40 HRC) и мелкодисперсных интерметаллидов. Высокие твердость (68...70 HRC) и теплостойкость (720 °С) обеспечиваются: более высокими температурами (900...950 °С) начала фазовых превращений, что на 100 °С выше, чем у стандартной стали с карбидным упрочнением типа P6M5; большим количеством упрочняющих фаз, отличающихся высокой дисперсностью (2...3 мкм) и равномерностью распределения в основной матрице. Несмотря на описанные преимущества,

## 1.5. Рекомендуемые области применения основных марок быстрорежущих сталей

Обрабатываемый материал	Виды инструментов										
	Резцы	Сверла	Развертки, зенкеры	Метчики, плашки	Протяжки, прошивки	Фрезы		Зуборезные инструменты	Ножовочные полотна, пилы		
						концевые, дисковые	насадные, торцевые				
Углеродистые и низколегированные стали	P6M5Ф3 P6M5K5* P9K5	P6M5 11P3AM3Ф2 P6M5Ф3 P12Ф3	P6M5 P6M5Ф3 P6M5K5*	P6M5 11P3AM3Ф2 P6M5Ф3	P6M5Ф3 P6M5	P6M5 P6M5Ф3 P6M5K5*	P6M5 P6M5Ф3 P6M5K5*	P6M5 P6M5Ф3 P6M5K5* P9M4K8*	11P3AM3Ф2 P6M5 P9	11P3AM3Ф2 P6M5 P9	P6M5K5 P6M5
Высоколегированные конструкционные, коррозионно-стойкие и легированные углеродистые жаропрочные стали	P9K5 P12Ф4K5 P6M5K5	P6M5Ф3 P12Ф3 P6M5K5 P18	P6M5Ф3 P6M5K5 P9M4K8 P18	P6M5 P6M5Ф3 P6M5K5 P18	P6M5Ф3 P6M5K5 P9K5	P6M5K5 P9M4K8 P9K5	P6M5K5 P9K5	P6M5K5 P9M4K8			P6M5K5 P6M5
Жаропрочные стали	P18K5Ф2 P12Ф4K5** P6M5K5 В4М12К23	P6M5K5 P9M4K8 P18K5Ф2	P12Ф4K5 P6M5K5 P9K5	P6M5Ф3 P6M5K5 P18	P6M5Ф3 P6M5K5	P18K5Ф2 P9M4K8 P6M5K5 В11М7К23	P18K5Ф2 P12Ф4K5** P6M5K5 В4М12К23				

\* При работе на повышенных скоростях резания.

\*\* Для инструментов простой формы.

Примечание. Выделены наиболее предпочтительные марки сталей.

стали этой группы имеют очень узкую область применения – в основном при обработке титановых сплавов. Это связано с тем, что стали с интерметаллидным упрочнением характеризуются очень высокой стоимостью, низкой обрабатываемостью резанием в отожженном состоянии, а их прочностные характеристики соизмеримы с кобальтовыми сталями.

Правильный выбор марки стали для конкретного инструмента, в зависимости от условий его работы и обрабатываемого

материала, дает возможность максимально использовать ресурсы свойств выбранной стали и, как следствие, рационально расходовать легирующие материалы. В табл. 1.5 представлены рекомендуемые области применения наиболее распространенных марок быстрорежущих сталей в зависимости от типов обрабатываемых материалов и видов обработки, а в табл. 1.6 – рациональные значения износа различных инструментов из БРС.

1.6. Рациональные значения износа по задним поверхностям различных видов инструментов из БРС

Инструмент	Величина износа, мм	
	при обработке сталей	при обработке чугунов
Резцы проходные, расточные, резбовые:		
для черновой обработки	1,5...2	–
для чистовой обработки	0,8...1,2	–
Резцы фасонные:		
для черновой обработки	0,8...1	–
для чистовой обработки	0,3...0,5	–
Сверла спиральные, диаметром, мм:		
до 6	0,4...0,6	0,4...0,6
7...20	0,6...0,8	0,6...0,8
свыше 20	0,8...0,2	0,8...1,2
Зенкеры	1,2...1,5	1,2...1,5
Развертки	0,6...0,8	0,6...0,8
Метчики:		
машинные	0,7P	P
гаечные	0,5P	–
Плашки круглые	0,25P	–
Гребенки:		
круглые	P	–
тангенциальные	1,2P	–
Гребенчатые фрезы, диаметром, мм:		
8...20	0,2P	–
30...100	0,3P	–
Фрезы червячные	0,2...0,7	0,2...0,7
Долбяки зуборезные	0,2...0,5	–

Продолжение табл. 1.6

Инструмент	Величина износа, мм	
	при обработке сталей	при обработке чугунов
Резцы зуборезные для обработки конических колес:		
для черновой обработки	0,8...1,0	–
для чистовой обработки	0,3...0,4	–
Фрезы торцевые	1,2...1,5	1,5...2
Фрезы дисковые, концевые	0,3...0,5	0,4...0,6
Фрезы прорезные и отрезные	0,1...0,2	0,4...0,5
Протяжки:		
для черновой обработки	1,5...2	1,5...2
для чистовой обработки	0,2...0,3	0,2...0,3

Примечание. P – шаг резьбы.

Сопоставление по химическому составу отечественных марок БРС с некоторыми зарубежными марками, позволяет выбрать сплавы-аналоги, которые приведены в табл. 1.7.

В связи с возрастающим дефицитом вольфрама, молибдена и кобальта – основных легирующих элементов, используемых при производстве быстрорежущих

сталей, в настоящее время все большее применение находят экономнолегируемые стали. Среди сталей этого типа наибольшее применение получила сталь 11P3M3Ф2, которая используется при производстве различных видов режущих инструментов не только в отечественной промышленности, но и за рубежом.

Еще одним направлением совершен-

1.7. Марки и химический состав быстрорежущих сталей, применяемых за рубежом и имеющих аналоги в России

Нормативный документ (страна)	Марка стали	Средний химический состав, %						Аналог по ГОСТ 19265–73
		C	W	Mo	Cr	V	Co	
ATM: AISI (США)	M2	0,9	6,4	5	4	1,9	–	P6M5
	T1	0,75	18	–	4	1,0	–	P18
	M3	1,0	6,4	5	4	2,5	–	P6M5Ф3
DIN 17350–80 (Германия)	S6-5-2	0,9	6,4	5	4	1,9	–	P6M5
	S6-5-3	1,0	6,4	5	4	2,5	–	P6M5Ф3
	S6-5-2-5	0,9	6,4	5	4	1,9	4,8	P6M5K5
NFA 35-590–78 (Франция)	6-5-2	0,85	6	5	4	2,0	–	P6M5
	18-0-1	0,8	18	–	4	1,0	–	P18
	6-5-2-5	0,85	6	5	4	2,0	5	P6M5K5
JIS 4403–83 (Япония)	КН-9	0,75	6	5	4	2,0	–	P6M5
	КН-52	1,0	6	5	4	2,5	–	P6M5Ф3
	КН-2	0,8	18	–	4	1,0	–	P18
	КН-55	0,85	6	5	4	2,0	5	P6M5K5

ствования инструментов из БРС является использование порошковых сталей. Это позволяет, в отличие от быстрорежущих сталей традиционного производства, получить мелкозернистую структуру с равномерным распределением карбидов при отсутствии шлаковых включений; повысить технологическую пластичность; существенно уменьшить влияние масштабного фактора на прочность и вязкость, тем самым обеспечивая высокий уровень механических свойств в заготовках крупных сечений; значительно улучшить шлифуемость (в том числе сталей, содержащих 3...6% ванадия и более) и увеличить надежность работы инструментов вследствие уменьшения вероятности образования дефектов типа прижогов и микротрещин при заточке; повысить стойкость инструментов в 1,5...3 раза. Порошковая быстрорежущая сталь обладает более высокой теплостойкостью, износостойкостью и технологичностью, но является чрезвычайно дорогой. Обозначаются порошковые БРС буквами МП, например, Р6М5Ф3-МП.

### 1.3. Твердые сплавы

Под *твердыми сплавами* понимают сплавы на основе высокотвердых и тугоплавких карбидов вольфрама, титана, тантала, соединенных металлической связкой, как правило, кобальтом. В настоящее время они являются основным инструментальным материалом, обеспечивающим высокопроизводительную обработку материалов. Общее количество твердосплавных инструментов, применяемых в механообрабатывающем производстве, составляет 30...35%. При этом твердосплавными инструментами снимают до 65% стружки, так как скорость резания, применяемая при обработке этими инструментами, в 2...5 раз выше, чем у быстрорежущих инструментов.

Твердые сплавы изготавливают методом порошковой металлургии. Порошки карбидов смешивают с порошком кобальта, прессуют в изделия необходимой формы и подвергают спеканию при 1400...1550 °С в защитной атмосфере (водород) или в вакууме. При спекании кобальт плавится и растворяет часть карбидов, что позволяет

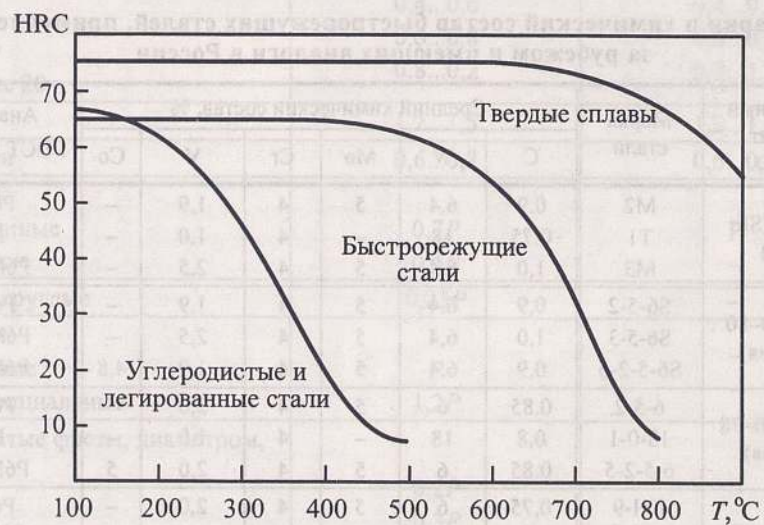


Рис. 1.3. Зависимость твердости различных инструментальных материалов от температуры  $T$

получать плотный материал (пористость, как правило, не превышает 5%), состоящий на 80...97% из карбидных частиц, соединенных кобальтовой связкой. Увеличение содержания связки вызывает снижение твердости сплава, но повышает его прочностные характеристики.

Твердые сплавы производят в виде пластин, которыми оснащаются режущие инструменты (резцы, сверла, фрезы и др.). Выпускаются и цельные твердосплавные инструменты – концевые фрезы, сверла и др. Инструменты, изготовленные из твердых сплавов, обладают высокой твердостью 80...92 HRA (74...77 HRC), износостойкостью и высокой теплостойкостью (до 800...1000 °С) и по своим эксплуатационным свойствам превосходят инструменты из инструментальных сталей (рис. 1.3). Их главными недостатками являются сравнительно низкие прочностные харак-

теристики и сложность изготовления сложнопрофильных инструментов.

В соответствии с ГОСТ 3882–74 отечественной промышленностью выпускается *три группы твердых сплавов*: вольфрамовая (однокарбидная), титановольфрамовая (двухкарбидная) и титанотанталовольфрамовая (трехкарбидная). Их марки, состав и физико-механические свойства приведены в табл. 1.8.

*Сплавы вольфрамовой группы (WC-Co)* имеют наибольшую прочность, но более низкую твердость, чем сплавы других групп. Они сохраняют теплостойкость до 800 °С. Массовая доля карбидообразующих элементов в этих сплавах определяется разностью между 100% и массовой долей связки (цифра после буквы К), например, сплав ВК4 содержит 4% кобальта и 96% WC.

### 1.8. Марки, химический состав и характеристики спеченных твердых сплавов

Группа	Марка (ГОСТ 3882–74)	Химический состав, %				Предел прочности $\sigma_{изг}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Твердость HRA
		WC	TiC	TaC	Co			
Вольфрамокобальтовые	ВК3	97	–	–	3	1176	15,0...15,3	89,5
	ВК3-М	97	–	–	3	1176	15,0...15,3	91,0
	ВК4-В	96	–	–	4	1470	14,9...15,2	88,0
	ВК6	94	–	–	6	1519	14,6...15,0	88,5
	ВК6М	94	–	–	6	1421	14,8...15,1	90,0
	ВК6-ОМ	92	–	2	6	1274	14,7...15,0	90,5
	ВК8	92	–	–	8	1666	14,4...14,8	88,0
	ВК10	90	–	–	10	1764	14,2...14,6	87,0
	ВК10-ХОМ	88	–	2	10	1470	14,3...14,7	89,0
	ВК15	85	–	–	15	1862	13,9...14,4	86,0
	ВК20	80	–	–	20	2058	13,4...13,7	84,0

Продолжение табл. 1.8

Группа	Марка (ГОСТ 3882-74)	Химический состав, %				Предел прочности $\sigma_{\text{изг}}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Твер- дость HRA
		WC	TiC	TaC	Co			
Титано- вольфрамовые	T30K4	66	30	–	4	980	9,5...9,8	92,0
	T15K6	79	15	–	6	1176	11,1...11,6	90,0
	T14K8	78	14	–	8	1274	11,2...11,6	89,5
	T5K10	85	5	–	10	1421	12,4...13,1	88,5
Титанотантало- вольфрамовые	T8K7	85	8	–	7	1519	12,8...13,1	90,5
	TT7K12	81	4	3	12	1666	13,0...13,3	87,0
	TT8K6	84	8	2	6	1323	12,8...13,3	90,5
	TT10K8-Б	82	3	7	8	1617	13,5...13,8	89,0
	TT20K9	71	8	12	9	1470	12,0...12,5	91

Сплавы титановольфрамовой группы (WC-TiC-Co) имеют более высокую теплостойкость (до 900...1000°C) и твердость. Это связано с тем, что карбид вольфрама частично растворяется в карбиде титана при температуре спекания с образованием твердого раствора (Ti, W)C, имеющего более высокую твердость, чем WC. Структура карбидной фазы зависит от соотношения WC и TiC в шихте. В двухкарбидных (WC+TiC) сплавах цифра после буквы карбидообразующего элемента определяет массовую долю карбидов этого элемента, следующая цифра – массовая доля связки, остальное – массовая доля карбида вольфрама (например, сплав T5K10 содержит 5% TiC, 10% Co и 85% WC).

Третью группу образуют сплавы системы (WC-TiC-TaC-Co). В этих сплавах структура карбидной основы представляет собой твердый раствор (Ti,Ta,W)C и избыток WC. Сплавы этой

группы отличаются высокими прочностными характеристиками и, как следствие, лучшей, чем сплавы других групп, сопротивляемостью вибрациям и выкрашиванию. В трехкарбидных сплавах цифра после букв TT означает массовую долю карбидов титана и тантала. Цифра за буквой K – массовая доля связки, остальное – массовая доля карбида вольфрама (например, сплав TT8K6 содержит 6% кобальта, 8% карбида титана, 2% карбида тантала и 84% карбида вольфрама).

Из табл. 1.8 видно, что даже при одинаковом содержании кобальта, физико-механические свойства твердых сплавов могут существенно отличаться. Это отличие связано с зернистостью карбидной фазы, главным образом, со средним размером зерен карбида вольфрама. С уменьшением размера зерна карбидовольфрамовой фазы, твердость, износостойкость и, как следствие, сопротивление абразивному износу возрастает, а

прочность, наоборот, снижается. Эта закономерность широко используется для создания сплавов различного назначения с требуемым комплексом свойств. В современных твердых сплавах размер зерен карбидной фазы может изменяться от долей микрометра до 15 мкм.

Если твердый сплав имеет мелкое зерно, то в его обозначение добавляют букву М: ВК3-М, ВК6-М, ВК10-М. В случае особомелкозернистой структуры (порядка 0,2...0,5 мкм), в обозначение добавляют буквы ОМ. Особомелкозернистые твердые сплавы, легированные хромом, обозначаются буквами ХОМ. Структура сплавов «ОМ» и «ХОМ» позволяет при заточке и доводке инструментов достигать меньших радиусов округления режущих кромок и заметно повысить качество и точность обрабатываемых деталей.

В зависимости от обрабатываемого материала и вида образующейся стружки, в соответствии со стандартом ISO, инструментальные материалы подразделяют на 6 групп резания – Р, М, К, N, S и H, каждая из которых обозначается определенным цветом (табл. 1.9). В свою очередь группы резания подразделяют на группы применения, которые обозначают

буквой (группа резания) и числовым индексом (группа применения). Чем больше индекс группы применения, тем ниже твердость и износостойкость твердого сплава и допустимая скорость резания, но выше прочность (ударная вязкость), допустимая подача и глубина резания.

Малый индекс группы применения соответствует чистовым операциям, когда от твердых сплавов требуется высокая износостойкость и малая прочность, а большой индекс соответствует черновым операциям, т.е. твердые сплавы должны иметь высокие прочностные свойства. В связи с этим каждая марка имеет свою предпочтительную область применения, в которой она обеспечивает максимальные работоспособность сплава и производительность процесса обработки.

В табл. 1.10 представлена классификация твердых сплавов по группам применения и основные марки (без покрытий), выпускаемые отечественными производителями – ОАО «Кировоградский завод твердых сплавов» (КЗТС), Всероссийский научно-исследовательский и проектный институт тугоплавких металлов и твердых сплавов (ФГУП ВНИИТС) и ОАО «Сандвик-МКТС».

### 1.9. Области применения твердых сплавов

Группа резания	Основная область применения
Р (синий)	Обработка материалов, дающих сливную стружку (в основном стали)
М (желтый)	Обработка материалов, дающих как сливную стружку, так и стружку скалывания (коррозионно-стойкие стали и сплавы)
К (красный)	Обработка чугунов, дающих стружку скалывания
N (зеленый)	Обработка алюминиевых и медных сплавов
S (коричневый)	Обработка труднообрабатываемых материалов (жаропрочные стали и сплавы, титан и его сплавы)
H (серый)	Обработка закаленных и литейных чугунов

1.10. Распределение отечественных марок твердых сплавов без покрытия по группам применения

Основная группа применения	Обрабатываемый материал	Вид обработки	Марки твердых сплавов различных производителей		
			КЗТС	ВНИИТС	Сандвик-“МКТС”
Р01	Сталь, стальное литье, дающие сливную стружку	Тонкое точение, растачивание, развертывание	T30K4	BT100	MP1
			T15K6	BT110	MP1
Р20	Сталь, стальное литье, ковкий чугун, цветные металлы, дающие сливную стружку	Получистовое точение, рассверливание	T14K8	BT120	MP2
			TT20K9	BT120	MP3
Р30	Сталь, стальное литье с включениями песка и раковинами	Черновое точение, фрезерование	T5K10, TT10K8Б	BT130, BT141	MP3
			TT7K12	BT142	MP4
M10	Сталь, стальное литье, высоколегированные аустенитные, жаропрочные труднообрабатываемые стали и сплавы, серый, ковкий и легированный чугуны	Тяжелонагруженные операции (резание с переменной глубиной и прерывистой подачей, с наличием абразивных включений в обрабатываемом материале и т.д.)	TT8K6	BT310	TK15
M20	Сталь, стальное литье, высоколегированные аустенитные, марганцевые, жаропрочные труднообрабатываемые стали и сплавы	Получистовое точение, чистовое и получистовое фрезерование	TT10K8-Б	BT220	TK20
M30	Различные сплавы, серый и ковкий чугуны, дающие как сливную, так и стружку надлома	Черновое точение, фрезерование, строгание, а также тяжелоагруженные операции	BK10-OM	BT332	TK25

Продолжение табл. 1.10

Основная группа применения	Обрабатываемый материал	Вид обработки	Марки твердых сплавов различных производителей		
			КЗТС	ВНИИТС	Сандвик-“МКТС”
M40	Низкоуглеродистая сталь с низкой прочностью, автоматная сталь и другие металлы, дающие как сливную, так и стружку надлома	Черновое точение, отрезка, преимущественно на станках-автоматах	TT7K12	BT142	MP4
K01	Серый чугун высокой твердости, алюминиевые сплавы с большим содержанием кремния, закаленные стали, пластмассы, дающие стружку надлома	Чистовое точение, растачивание, фрезерование и шабрение	BK3M	BT301	TK10
K05	Легированные и отбеленные чугуны, закаленные стали, нержавеющие высокопрочные и жаропрочные стали и сплавы, дающие стружку надлома	Чистовое и получистовое точение, растачивание, развертывание, нарезание резьбы	BK6-OM	BT210	TK10
K10	Серый и ковкий чугуны преимущественно повышенной твердости, закаленная сталь, алюминиевые и медные сплавы, пластмассы, дающие стружку надлома	Точение, растачивание, фрезерование, сверление	BK6M, TT8K6	BT310	TK15
K20	Серый чугун, цветные металлы, прессованная древесина, пластмассы	Точение, растачивание, фрезерование, сверление	BK6	BT323	TK20
K30	Серый чугун низкой твердости и прочности, древесина, цветные металлы, пластмассы	Черновое точение, фрезерование, строгание, сверление, тяжелоагруженные операции	BK8, BK10-OM	BT331	TK25
K40	Древесина, цветные металлы, пластмассы, дающие стружку надлома	Черновое точение, фрезерование, строгание, сверление	BK8	BT331	TK25

Группы применения определяются ориентировочно и достаточно неоднозначно. Поэтому ряд марок твердых сплавов может хорошо работать в двух-трех группах применения или даже в разных группах резания.

Обычно крупные производители создают два класса твердых сплавов: специализированные марки для определенного обрабатываемого материала и типа операции (черновая, чистовая), которые обеспечивают наибольшую производительность обработки, и универсальные марки для обработки различных материалов и типов операций, которые во всех возможных случаях обеспечивают достаточную производительность и стойкость.

Для массового и крупносерийного производства характерно применение специализированных марок. Однако большая номенклатура специализированных марок твердых сплавов приводит к увеличению затрат на хранение и обслуживание, а также велика вероятность ошибок при замене сплавов. При обработке часто сменяемых малых партий деталей из различных материалов используют универсальные марки твердых сплавов. В этом случае сокращаются затраты на переналадку станков, хранение и обслуживание инструментов. Однако при этом производительность и стойкость универсальных марок ниже на 10...25 %, чем специализированных.

Для повышения работоспособности твердосплавных инструментов в настоящее время широко используют различные методы нанесения износостойких покрытий. При этом потребители твердых сплавов могут приобретать у изготовителей инструменты с износостойкими покрытиями или же на своем оборудовании самостоятельно наносить покрытия, необходимые для решения конкретных производственных задач. В случае приобретения инструментов с износостойкими покрытиями, изготовитель может не предоставлять сведений о составе покрытий и способе их нанесения, а только давать

рекомендации о рациональных областях их применения.

В табл. 1.11 и 1.12 представлено примерное сопоставление различных марок твердых сплавов с покрытиями, выпускаемыми отечественными и зарубежными производителями для токарных и фрезерных работ.

Сменные многогранные пластины (СМП) с износостойкими покрытиями обеспечивают повышение скорости резания на 20...40 % при том же периоде стойкости или позволяют существенно увеличить стойкость инструментов при эксплуатации в том же скоростном диапазоне, что и пластины без покрытий. Они являются предпочтительными для большинства операций крупносерийного и массового производства, но имеются и некоторые ограничения при их эксплуатации. В первую очередь такими ограничениями являются черновые и тяжелонагруженные операции, при которых очень часто причиной отказов пластин с износостойкими покрытиями являются выкрашивание и сколы режущих кромок. Кроме того, необходимо иметь в виду и то, что процесс нанесения покрытия, особенно физическим методом осаждения, увеличивает радиус скругления режущей кромки пластин (до 40 мкм), что ограничивает их применение для финишных операций, при которых требуются острые режущие кромки.

Общим недостатком рассмотренных групп твердых сплавов, помимо низких прочностных свойств, является повышенная дефицитность исходного вольфрамового сырья – основного компонента, определяющего их повышенные физико-механические характеристики. Поэтому иногда более эффективно использование безвольфрамовых твердых сплавов (БВТС). В качестве основы БВТС используется карбид или карбонитрид титана, а в качестве связки – никель и молибден. Кроме того, в составах некоторых марок БВТС используется карбид ниобия.

1.11. Марки твердых сплавов с износостойкими покрытиями для токарных работ

Группы резания и применения	ВНИИТ (Россия)	“Сандвик-МКТС” (Россия)	“Sandvik Coromant” (Швеция)	“KORLOY” (Корея)	“Kennametal Hertel” (США)	“JSCAR” (Израиль)	“Mitsubishi Carbide” (Япония)	“SECO” (Швеция)	“WIDIA” (Германия)	“Kyocera” (Япония)
Р	P01	—	СТ 5015	NC 310	—	IC 8048	UE 6005	—	—	CR 7015
	P10	—	СТ 5015	NC 310	КС 5010	IC 8048	UE 6005	TP100	TN 150	CR 7015
	P15	BT2220	СТ 15	GS 1525	КС 5010	IC 8025	UC 6010	TP100	TN 150	CR 7015
	P20	BT2222	СТ 25	GS 1525	КС 8050	IC 8025	UC 6010	TP200	TN 200	CR 7025
	P25	BT1320	СТ 25	GS 4015	КС 8050	IC 8025	UC 6025	TP200	TN 250	CR 7025
М	P30	BT2202	СТ 35	GS 4025	КС 8050	IC 3028	UC 6025	TP300	TN 350	CR 7025
	P40	BT1420	СТ 35	GS 4035	РС 8050	IC 3028	UE 6035	CP500	TN 7035	CR 9025
	P50	—	CU 45	—	—	IC 635	—	—	—	CR 9025
	M01	—	—	GS 2015	—	—	—	—	—	—
	M10	—	СТ 25	GS 1025	NC 325S	КС 5010	IC 8048	US 7020	TN 150	CR 7015
К	M20	—	СТ 35	GS 2025	КС 8050	IS 3028	US 7020	TP200	TN 8025	CR 7015
	M30	—	CU 45	GS 2025	КС 8050	IS 3028	US 735	TP300	TN 8025	CR 7015
	M40	—	CU 45	GS 20	—	—	—	US 735	—	CR 7025
	K01	—	—	CC 650	NC 305K	—	—	UC 5005	HK 150	PR 660
	K05	—	СК 15	CB 7050	NC 305K	КС 5010	IC 8005	UC 5005	HK 150	CR 7015
К	K10	—	СК 15	CC 6090	NC 305K	IC 8005	UE 6005	TX150	HCK 10	CR 7015
	K20	BT3222	СК 20	GC 3025	NC 315K	IC 8005	UC 6010	TX150	HCK 35	CR 7015
	K30	BT3210	СК 20	GC 3025	—	IC 450	—	CP500	HCK 35	CR 7015
	K50	—	—	—	—	IC 450	—	—	—	—



1.12. Марки твердых сплавов с износостойкими покрытиями для фрезерных работ

Группы резания и применения	ВНИИТС (Россия)	"Сан-двик-МКТС" (Россия)	"Sandvik Coromant" (Швеция)	"KORLOY" (Корея)	"Kennametal Herte" (США)	"ISCAR" (Израиль)	"Mitsubishi Carbide" (Япония)	"SECO" (Швеция)	"WIDIA" (Германия)	"Кусога" (Япония)
P01	-	-	-	-	-	-	F 7010	-	-	-
P10	-	-	GC 4020	NCM 325	KC 525M	-	F 7010	T20M	-	WTA21
P15	BM2226	CM 25	CT 530	NCM 325	KC 525M	IC 250	F 620	T20M	TN 25M	WTA21
P20	BM2226	CM 25	GC 4030	NCM 325	KC 525M	IC 350	F 7030	T20M	TN 25M	WTA61
P25	BM2206	CM 25	GC 4030	NCM 325	KC 525M	IC 520M	UP 20M	T25M	TN 25M	WAP25
P30	BM1416	CM 25	SM 30	PC 230	KC 735M	IC 520M	AP 20M	T25M	TPC 35	WAP35
P40	BM1426	CU 45	GC 4040	PC 130	RC 930M	IC 3028	-	T25M	TN 450	WTA51
P50	-	CU 45	GC 4040	-	-	IC 635	-	-	-	WTL71
M01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M10	-	-	GS 1025	-	KC 510M	IC 220	F 7010	-	TN 25M	WXM15
M20	-	-	GS 1025	NCM 325	KC 925M	IC 520M	F 7030	T20M	TN 25M	WAP25
M30	-	CU 45	GS 2030	NCM 335	KC 525M	IC 635	UP 20M	T25M	TPC 35	WAP35
M40	-	CU 45	GS 2040	PC 130	KC 735M	IC 635	-	T25M	TN 450	WTP35
K01	-	-	-	NCM 310K	-	-	F 5010	T150M	-	-
K05	-	CA 20	CB 50	NCM 310K	-	IC 418	F 5010	T150M	HK15M	-
K10	BM3156	CA 20	CC 6090	PC 205K	KC 510M	IC 418	F 5010	T150M	HK15M	WAK15
K20	BM3316	CA 20	GC 3020	NCM 320K	KC 520M	IC 418	F 5010	T150M	HK15M	WTA21
K30	-	CA 30	GC 3040	NCM 320K	KC 725M	IC 450	-	T20M	-	WXM35
K50	-	-	GC 3040	-	-	IC 450	-	T25M	-	-

## 1.13. Физико-механические свойства и области применения безвольфрамовых твердых сплавов

Марка	Содержание основных компонентов, %					Плотность, г/см <sup>3</sup>	Предел прочности $\sigma_{изг}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Твердость HRA	Группа применения
	TiC	TiCN	NbC	Ni	Mo				
ТН20*	79	-	-	15,0	6,0	5,5...6,0	1050	90,0	P10...P20 K10...K20
КНТ16*	-	74	-	19,5	6,5	5,5...6,0	1200	89,0	P10...P20 K10...K20
НТН30**	52	-	10	19,5	10,5	6,0...6,5	1323	89,5	P10...P20 K10...K20
ЦТУ**	-	56	9	23	12	6,2...6,8	1274	89,5	P20...P30
ТВ4**	-	56,3	1	-	8,7	6,3...6,7	1323	89,0	P20...P30

\* Марки по ГОСТ.

\*\* Марки по ТУ.

В табл. 1.13 представлены сведения о некоторых марках БВТС, их химическом составе, физико-механических свойствах и областях применения.

БВТС отличаются высокой твердостью, окалиностойкостью, имеют низкий коэффициент трения по стали и пониженную склонность к адгезионному взаимодействию с обрабатываемым материалом, что уменьшает износ инструментов по передним и задним поверхностям, обеспечивает низкую шероховатость обработанных поверхностей и высокую размерную точность.

В то же время БВТС имеют более низкий, чем у стандартных твердых сплавов, модуль упругости, а, следовательно, и сопротивление упругим и пластическим деформациям, меньшую теплопроводность и ударную вязкость, поэтому они хуже сопротивляются ударным и тепловым нагрузкам.

Указанные свойства определяют области рационального применения БВТС

при обработке материалов резанием — главным образом для чистовой и получистовой обработки углеродистых и легированных конструкционных сталей с высокой скоростью резания и относительно небольшими сечениями среза.

Эффективность применения БВТС существенно зависит от правильности подготовки инструментов, выбора режимов резания и условий обработки. В целом же опыт внедрения БВТС показывает, что при выпуске требуемой номенклатуры изделий и обеспечении стабильного уровня качественных показателей, до 25 % общего объема выпуска вольфрамсодержащих твердых сплавов может быть заменено на безвольфрамовые.

## 1.4. Керамика

В настоящее время промышленностью выпускается четыре основные группы режущей керамики — оксидная (белая керамика) на основе  $Al_2O_3$ , оксидно-

карбидная (черная или смешанная керамика) на основе композиции  $Al_2O_3 + TiC$ , оксидно-нитридная (кортинит) на основе композиции  $Al_2O_3 + TiN$  и нитридная на основе  $Si_3N_4$ . Обычно инструментальную керамику выпускают в виде спеченных пластин различной формы, которые механически крепятся к корпусам инструментов.

В отличие от твердых сплавов, керамика не содержит металла-связки. В ее состав входят только твердые компоненты – оксиды, карбиды, нитриды. Поэтому степень разупрочнения керамики при нагреве сильно снижается и она имеет весьма высокие значения теплостойкости (до  $1400\text{ }^\circ\text{C}$ ) и твердости (до 96 HRA). Это позволяет осуществлять обработку керамическими инструментами на скоростях резания, которые до 2,5 раз превышают скорости резания твердосплавными инструментами. В то же время, отсутствие связующей фазы в структуре керамики определяет ее низкую трещиностойкость и прочность. Например, низкая трещиностойкость керамики является причиной формирования фронта трещин, которые из-за отсутствия пластичной связующей фазы не встречают барьеров, способных затормозить или остановить их развитие.

Еще одной специфической особенностью керамики является высокая чувствительность к колебаниям температуры. Поэтому для уменьшения опасности возникновения «тепловых ударов», обработке изделий керамическими инструментами рекомендуется вести без применения СОЖ. При необходимости применения СОЖ (для смыва стружки, охлаждения детали и др.) следует обеспечивать непрерывный обильный полив зоны резания.

Допустимый износ по задней поверхности керамических пластин при их эксплуатации составляет не более 0,3 мм при обработке сталей, до 0,5 мм – при обработке чугунов.

Указанные особенности керамики определяют область ее предпочтительного применения. В настоящее время керамические инструменты в основном применяют для чистовой и получистовой обработки серых, ковких, высокопрочных и отбеленных чугунов, низко- и высоколегированных сталей, в том числе закаленных, цветных металлов и полимерных материалов (K01...K05; P01...P10). В этих условиях инструменты, оснащенные пластинами из керамики, существенно превосходят по работоспособности твердосплавные инструменты.

Применение керамики при обработке с повышенными сечениями среза или при прерывистом резании резко снижает ее эффективность вследствие высокой вероятности (более 50%) внезапного отказа из-за хрупкого разрушения в виде выкрашиваний и сколов. Поэтому в последнее время в РФ и ряде зарубежных стран ведутся активные работы по созданию новых или усовершенствованию известных марок керамики с целью повышения их прочностных характеристик. К таким работам относится керамика, армированная «нитевидными кристаллами» SiC или легированная  $TiB_2$ ,  $ZrO_2$ ,  $Y_2O_3$  и другими компонентами. Кроме того, наряду с совершенствованием составов керамики, для повышения ее эксплуатационных характеристик в промышленности используют более современные технологии получения керамических пластин – горячее изостатическое прессование, золь-гель синтез и др., а также различные способы нанесения износостойких покрытий.

В табл. 1.14 представлены физико-механические характеристики и основные марки отечественной керамики, выпускаемой ФГУП ВНИИТС, а в табл. 1.15 марки и области применения керамики, выпускаемой зарубежными производителями – Sandvik Coromant и Kennametal.

1.14. Марки и физико-механические характеристики керамики отечественного производства

Марка	Основа	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Твердость HRA	Предел прочности, $\sigma_{изг}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Область применения
ВО-100 (В1)	$Al_2O_3$	4,16	92	600	Высокоскоростная токарная обработка чугунов и сталей в состоянии поставки без применения СОЖ
ВОК-200 (В2)	$Al_2O_3 + TiC$	4,20...4,30	93	650	Чистовая и получистовая обработка резанием углеродистых и легированных сталей, серых и ковких чугунов, графита и других материалов без применения СОЖ или при обильном охлаждении
ВОКС-300 (В3)	$Al_2O_3 + TiC$	4,25	93	950	Чистовая и получистовая токарная обработка углеродистых, легированных, закаленных сталей и чугунов; точение с ударами, возникающими от абразивных включений; получистовое и чистовое точение с неравномерными припусками; нарезание резьб и канавок в закаленных сталях
ТВИН-200 (Т2)	$Si_3N_4 + \text{оксиды}$	3,45	93,5	750	Обработка всех видов чугунов с большими подачами и скоростями резания, черновое, получистовое и чистовое точение, фрезерование, в том числе с применением СОЖ, а также обработка сплавов на основе никеля и кобальта
ТВИН-400 (Т4)	$Al_2O_3 + SiC$	3,70...3,80	94	850	Обработка никелевых сплавов, закаленных высоколегированных и быстрорежущих сталей и чугунов твердостью более 250 НВ, с высокими скоростями и большими подачами; черновое, получистовое и чистовое точение и фрезерование, в том числе с применением СОЖ

## 1.15. Области применения керамики зарубежного производства

Марка	Группа применения	Область применения
<i>Sandvik Coromant</i>		
CC620	K01	Высокоскоростная обработка сталей и чугунов
CC650	K01; M10	Чистовая обработка чугунов, закаленных сталей и жаростойких сплавов
CC670	K10 M10–M25	Обработка жаростойких сплавов и материалов с высокой твердостью
CC680	K10	Прерывистое резание серого чугуна в тяжелых условиях, обработка жаростойких материалов
CC6090	K10	Черновая обработка в благоприятных условиях, высокоскоростная получистовая и чистовая обработка серого чугуна
GC1690	K10	Черновая, получистовая и чистовая обработка чугунов
<i>Kennametal</i>		
AC5	P05; K05	Обработка чугунов и сталей
KY1615	P10; K10	Черновая и чистовая обработка твердых материалов, валов из твердого чугуна, чистовая обработка серых чугунов
KY4400	P05; K01	Чистовая обработка твердых материалов до 65HRC, чистовая обработка серых чугунов
KY4300	M10; K10	Обработка жаропрочных сплавов, обработка высокопрочных чугунов
KY2100	M10	Обработка (черновая и чистовая) жаропрочных сплавов
KY3400	K10	Высокоскоростная обработка чугунов с шаровидным графитом, особенно в условиях тяжелого прерывистого резания
KY3500	K15	Высокоскоростная обработка серого чугуна, возможна обработка по корке при прерывистом резании

## 1.5. Сверхтвердые материалы (СТМ)

К сверхтвердым синтетическим поликристаллическим инструментальным материалам (ПСТМ) относят синтетические и композиционные материалы на основе кубического нитрида бора (КНБ) и природные алмазы.

В основе технологии изготовления поликристаллов лежат два различных процесса: фазовый переход вещества из одного состояния в другое (синтез) или

спекание мелких частиц заранее синтезированного порошка ПСТМ. В нашей стране первым способом получают поликристаллический нитрид бора (ПКНБ), а также поликристаллический алмаз (ПКА). За рубежом изготовителями ПСТМ по технологии спекания являются три крупнейшие фирмы – «General Electric», «De Beers» и «Sumitomo Electric».

Прежде чем синтезированные спеки ПКНБ и ПКА могут быть использованы в качестве металлорежущих инструментов,

## 1.16. Усредненные показатели физико-механических свойств ПСТМ

Свойства	ПСТМ	
	на основе нитрида бора	на основе алмаза
Твердость по Виккерсу HV, ГПа	40...45	70...100
Модуль упругости E, ГПа	700...800	800...900
Предел прочности при изгибе $\sigma_{изг}$ , Н/мм <sup>2</sup>	600...800	800...1100
Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·К)	5,0...10,0	7,0...15,0
Теплостойкость, °С	1100...1500	700...800

они должны быть разрезаны электроэрозсионным или лазерным способом на многогранные пластины стандартных размеров или фрагменты произвольной формы и отшлифованы. Фрагменты запаивают либо в вершины корпусов стандартных твердосплавных пластин, либо в напайные инструменты.

ПСТМ – принципиально новые, как по технологии изготовления, так и по условиям эксплуатации инструментальные материалы. Ими можно обрабатывать изделия при скоростях резания на порядок выше допускаемых при использовании твердосплавных инструментов и даже инструментов из керамики.

ПКА имеет твердость 70...100 ГПа, которая до 5 раз превышает соответствующий показатель для твердых сплавов, обладает хорошей теплопроводностью, большим модулем упругости и низким коэффициентом трения к цветным металлам, но, как и все высокотвердые материалы, обладает достаточно низкими прочностными характеристиками (табл. 1.16).

Теплостойкость ПКА составляет 700...800 °С (при более высоких температурах алмаз сгорает). Инструменты, оснащенные режущими вставками из ПКА, применяют в основном при тонком точении цветных металлов и сплавов, не содержащих углерод и железо.

По твердости ПКНБ несколько уступает алмазу (см. табл. 1.16), но имеет более высокую теплостойкость, достигающую до 1500 °С, и практически инертен по отношению к углероду и железу. Как и алмаз, ПКНБ имеет повышенную хрупкость и низкую прочность на изгиб. Инструменты, оснащенные режущими вставками из ПКНБ, применяют главным образом для обработки металлов, содержащих углерод и железо.

Практика показывает, что во многих случаях точение инструментами из ПСТМ намного эффективнее процесса шлифования, так как такие инструменты обеспечивают бесприжоговую обработку при работе на высоких скоростях резания и низкую шероховатость обработанной поверхности.

В табл. 1.17 представлены сведения о физико-механических свойствах различных марок сверхтвердых материалов, а в табл. 1.18 и 1.19 – марки ведущих мировых производителей и области их применения. Как видно из представленных данных, некоторые марки современных сверхтвердых материалов можно использовать даже при обработке с ударно-циклическими нагрузками и переменным сечением среза.

### 1.17. Физико-механические свойства некоторых марок сверхтвердых материалов

Материал	Твердость, ГПа	Предел прочности $\sigma_{изг}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Коэффициент трещиностойкости $K_{Ic}$ , МПа·м <sup>1/2</sup>	Модуль упругости $E$ , ГПа	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>
<i>на основе нитрида бора</i>					
Композит 01 (эльбор-Р)	35...37	–	3,9...4,2	840	3,4
Композит 02 (бельбор)	–	600	–	720	6,5
Композит 05	19	470	4,6...6,7	620	4,3
Композит 10 (гексанит-Р)	30...35	1000...1200	3,8...4,9	715	3,8
Боразон	45	–	–	–	3,48
Амборит	40	570	6,3	680	–
Вюрцин	30...40	800	13,0	–	–
<i>на основе алмаза</i>					
АСБ	60...100	500...800	–	–	3,8
АСПК	90...140	500...800	–	–	4,0
СВБН	70...100	–	–	–	3,4
Мегадаймонд	75	–	–	–	3,2
Карбонит	39...44	–	–	–	3,3
Компакс	70...80	–	–	–	–

В целом можно отметить, что основная область эффективного применения лезвийных инструментов из ПСТМ – автоматизированное производство на базе станков с ЧПУ, многоцелевых станков, автоматических линий и специальных высокоскоростных станков. При этом выбор конкретной скорости резания определяется величиной снимаемого припуска, возможностями оборудования, наличием ударных нагрузок в процессе резания и многими другими факторами.

При относительно низких скоростях резания и, как следствие, при низких температурах у ПСТМ преобладают адгезивно-усталостный и абразивный виды изнашивания, а при высоких скоростях резания может протекать диффузионный

износ. При неблагоприятных условиях резания могут наблюдаться выкрашивания мелких частиц режущих кромок, а также сколы на передних и задних поверхностях. Например, для точения с ударами и фрезерования закаленных быстрорежущих сталей и сталей с высоким содержанием хрома применять инструменты из ПСТМ вообще не рекомендуется.

Расчеты показывают, что необходимым условием эффективного внедрения инструментов из ПСТМ на станках с ЧПУ и обрабатываемых центрах взамен твердосплавных резцов и фрез является увеличение интенсивности съема припуска (объема металла, срезаемого в единицу времени) в 1,5...2,5 раза.

### 1.18. Области применения сверхтвердых материалов на основе кубического нитрида бора, выпускаемых зарубежными производителями

Марка	Область применения
<b>Амборит</b> "De Beers"	
AMB 90	Получистовая обработка закаленных и легированных сталей, чугунов
DBA 80	Обработка закаленных сталей с твердостью 45...70 HRC и перлитных чугунов
DBC 50	Чистовая обработка закаленных и легированных сталей, чугунов
DBN 45	Суперчистовая (ультрапрецизионная) обработка; обработка в условиях прерывистого резания
DBW 85	Обработка закаленных сталей с твердостью выше 45 HRC, серых чугунов (перлитного, шаровидного), сплавов на никелевой основе, спеченных твердых сплавов (с содержанием кобальта >17%)
<b>Боразон</b> "General Electric"	
BZN-6000	Обработка серых перлитных чугунов, порошковых сталей и сплавов, точение поверхностно упрочненных сплавов
BZN-8100	Высокоскоростная финишная обработка закаленных сталей с твердостью выше 45 HRC; непрерывная и прерывистая обработка закаленных сталей
BZN-7000S	Точение и фрезерование серых чугунов; продольное точение закаленных сталей; обработка порошковых сталей и сплавов; точение поверхностно упрочненных сплавов
BZN-HTC2000	Непрерывное точение закаленных сталей с твердостью выше 45 HRC
<b>Сумиборок</b> "Sumitomo Electric"	
BN100	Обработка сталей, серых и отбеленных чугунов, сплавов на основе никеля и кобальта с повышенными физико-механическими свойствами
BN200	Непрерывное и прерывистое резание закаленных и легированных сталей и чугунов
BN300	Точение с ударами закаленных сталей; фрезерование композиционных материалов
BN500	Обработка ковких чугунов с шаровидным графитом
BNC80 (с покрытием)	Чистовое точение ( $Ra < 1,25$ мкм) закаленных сталей с твердостью выше 62 HRC, в том числе без использования СОЖ
BNC200 (с покрытием)	Чистовая обработка деталей из закаленных сталей, имеющих непрерывные и прерывистые поверхности
BNS800 (двухслойный)	Обработка закаленных сталей с твердостью выше 45 HRC в условиях непрерывного резания
BNX10	Высокоскоростное точение закаленных сталей с твердостью 62...64 HRC

Продолжение табл. 1.18

Марка	Область применения
<b>“Kennametal”</b>	
KD050	Чистовая обработка закаленных сталей с твердостью до 65 HRC
KD081	Обработка закаленных сталей с твердостью 50...65 HRC в условиях прерывистого резания и изменяющейся глубины резания
KD120	Высокопроизводительная обработка перлитных серых чугунов; обработка порошковых сталей и сплавов, труднообрабатываемых и твердых материалов в неблагоприятных условиях резания
KB5625 (с покрытием)	Чистовая обработка закаленных сталей в условиях прерывистого резания
KD230 (с покрытием)	Обработка твердых чугунов и сплавов на основе никеля; высокоскоростная обработка перлитных серых чугунов
KB9640 (с покрытием)	Высокопроизводительная чистовая и черновая обработка отбеленных и серых чугунов, закаленных сталей и поверхностно упрочненных сплавов
<b>“Mitsubishi Carbide”</b>	
MB810	Высокоскоростная чистовая обработка закаленных сталей
MB820	Чистовая и получистовая обработка закаленных сталей
MB825	Чистовая и получистовая обработка закаленных сталей в условиях прерывистого резания
MB835	Получистовая обработка закаленных сталей; прерывистое резание в тяжелых условиях
MB710	Чистовая и получистовая обработка чугунов, сталей, спеченных твердых сплавов в условиях непрерывного резания
MB730	Высокоскоростная обработка сплавов на основе никеля и кобальта с повышенными физико-механическими свойствами
<b>“Sandvik Coromant”</b>	
CB20	Чистовая обработка закаленных сталей и чугунов высокой твердости в условиях непрерывного и прерывистого резания
CB7020 (с покрытием)	Чистовая обработка закаленных сталей в условиях непрерывного резания и чугунов высокой твердости
CB50 CB7050 (с покрытием)	Точение чугунов и материалов с высокой твердостью в неблагоприятных условиях резания
<b>“Kyocera”</b>	
KBN10G	Чистовая обработка
KBN10B	Чистовая обработка закаленных сталей и чугунов; высокоскоростная чистовая обработка мягких чугунов; обработка в условиях прерывистого резания, в том числе без использования СОЖ
KBN25B	Обработка закаленных сталей, чистовая обработка в условиях прерывистого резания
KBN60G	Высокоскоростная обработка серых чугунов, обработка деталей с окалиной, чистовая и получистовая обработка в условиях прерывистого резания
KBN900 (с покрытием)	Черновая обработка закаленных сталей и сплавов; высокоскоростная обработка серых чугунов; получистовая и черновая обработка в условиях прерывистого резания

### 1.19. Области применения сверхтвердых материалов на основе ПКА, выпускаемых зарубежными производителями

Марка	Область применения
<b>“Sumitomo Electric”</b>	
SumiDia NF-DA2200	Черновое и чистовое фрезерование алюминиевых сплавов
<b>“Sandvik Coromant”</b>	
CD10	Чистовая обработка цветных металлов и неметаллических материалов, точение титановых сплавов
CD1810 (с алмазным покрытием)	Чистовое точение цветных металлов, точение титановых сплавов
<b>“Valenite Heinlein”  (“WIDIA”)</b>	
PD100	Обработка цветных металлов и сплавов на основе алюминия, меди, магния, а также материалов на основе резины и пластиков
<b>“Kennametal Hertel “</b>	
KD100	Точение алюминиевых сплавов с высоким содержанием кремния; обработка абразивных материалов; высокоскоростная обработка армированных пластмасс
KD1405 Твердый сплав с алмазным покрытием CVD 0,5 мм	Обработка цветных металлов в условиях непрерывного или чистового прерывистого резания
<b>“Mitsubishi Carbide”</b>	
MD220	Чистовая обработка цветных металлов и неметаллических материалов
<b>“Diamond&amp;CBN”  (CITICO)</b>	
Diapax	Фрезерование алюминиевых сплавов с высоким содержанием кремния
<b>“Becker”</b>	
PDC	Чистовая обработка цветных металлов и неметаллических материалов с низким содержанием упрочняющих абразивов или кремния
PDC-L	Обработка в условиях непрерывного и прерывистого резания цветных металлов и неметаллических материалов со средним содержанием упрочняющих абразивов или кремния
PDC-S	Чистовая и черновая обработка в условиях непрерывного и прерывистого резания цветных металлов и неметаллических материалов с очень высоким содержанием упрочняющих абразивов или кремния
PDC-A	Чистовая и черновая обработка в условиях непрерывного и прерывистого резания цветных металлов и неметаллических материалов с очень высоким содержанием упрочняющих абразивов или кремния

### 1.6. Методы поверхностной модификации

На сегодняшний день одним из наиболее распространенных и эффективных путей совершенствования инструментальных материалов является применение методов поверхностной модификации, заключающихся в направленном изменении физико-механических и кристаллохимических свойств поверхностей и поверхностных слоев инструментов.

При большом разнообразии условий работы инструментов практически во всех случаях наиболее нагруженными оказываются их поверхностные слои, свойства которых определяют работоспособность инструментов в процессе обработки. На разных видах инструментов и при различных условиях резания характер тепловых нагрузок весьма разнообразен. Для того чтобы противостоять им, рабочие поверхности инструментов должны иметь высокие показатели целого комплекса свойств – твердости, прочности, теплоустойчивости и т.д. Однако пока не созданы универсальные инструментальные материалы, обеспечивающие высокую надежность инструментов при разнообразном характере нагружения их рабочих поверхностей. Инструментальные материалы специализированы для определенных условий работы и имеют различные основные свойства, например, как уже было отмечено, быстрорежущие стали характеризуются высокими прочностными свойствами, но имеют сравнительно невысокую твердость и теплоустойчивость, а керамика, напротив, имеет высокие значения твердости и теплоустойчивости, но обладает низкими прочностными свойствами. Модификация рабочих поверхностей инструментов позволяет создать режущие инструменты, обладающие уникальным сочетанием на первый взгляд противоречивых свойств, например, высокой прочности и твердости. В настоящее время разработка универсального инструмента, пригодного для эксплуатации в существ-

венно отличающихся условиях резания, за счет применения различных методов поверхностной модификации, является очень важной задачей для инструментального производства.

Несмотря на заметный прогресс в области технологий поверхностной модификации режущего инструмента, сегодня обозначился ряд проблем, решение которых возможно лишь на основе глубокого понимания физической сущности влияния модифицированных слоев и различных покрытий на эксплуатационные показатели инструмента.

Основными из этих проблем являются следующие:

1. Развитие технологий поверхностной модификации часто осуществляется без соответствующей теоретической базы, что определяет пассивный характер их развития, базирующийся в основном на методике математического планирования многофакторного эксперимента. Отсюда следует низкая экономическая эффективность затрат на развитие технологий поверхностной модификации и малая вероятность их радикального улучшения.

2. Большое разнообразие методов поверхностной модификации ставит проблему выбора – какой метод является наиболее эффективным для данного вида инструмента и условий его эксплуатации. Таким образом, возникает задача технически грамотного использования методов поверхностной модификации, что невозможно без соответствующих экспериментально обоснованных научных концепций о влиянии различных методов поверхностной модификации на эксплуатационные показатели инструмента.

**Классификация методов поверхностной модификации и эффекты, достигаемые за счет их применения.** Многообразие используемых в инструментальной промышленности методов можно разделить на пять основных групп (рис. 1.4):

- 1) нанесение покрытий;
- 2) поверхностное легирование;

- 3) термическое воздействие;
- 4) деформационное воздействие;
- 5) комбинированная обработка (сочетание методов, относящихся к различным группам).

Поверхностное легирование изменяет химический состав поверхностных слоев режущих инструментов, а термическое

воздействие – их структуру.

Указанные методы характеризуются различными механизмами воздействия на поверхность и поверхностные слои инструментального материала.

При нанесении покрытий на поверхности режущих инструментов происходит формирование тонких пленок.

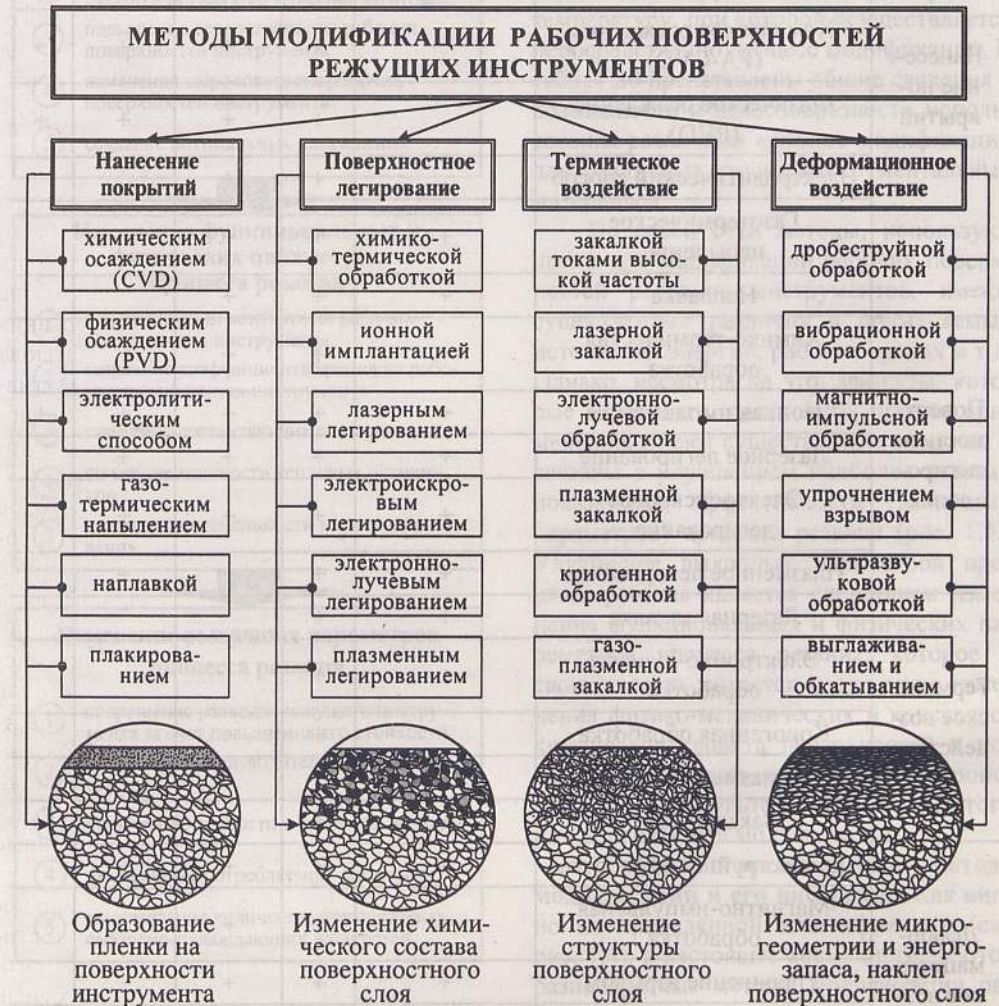


Рис. 1.4. Классификация методов модификации рабочих поверхностей режущих инструментов

## 1.20. Области применения различных методов модификации

Группа	Способ модификации поверхности	Вид инструментального материала				
		углеродистые и легированные стали	БРС	твердые сплавы	керамика	СТМ
Нанесение покрытий	Химическое осаждение (HT-CVD)			+	+	+
	Химическое осаждение (MT-CVD)			+	+	+
	Химическое осаждение (PA-CVD)		+	+	+	+
	Физическое осаждение (PVD)		+	+	+	+
	Электролитический способ		+	+		
	Газотермическое напыление	+	+	+		
	Наплавка	+	+	+		
Поверхностное легирование	Химико-термическая обработка	+	+	+		
	Ионная имплантация	+	+	+	+	+
	Лазерное легирование	+	+	+	+	
	Электроискровое легирование	+	+	+	+	
	Плазменное легирование	+	+	+	+	
Термическое воздействие	Лазерная закалка	+	+			
	Электронно-лучевая обработка	+	+			
	Криогенная обработка	+	+			
	Газоплазменная закалка	+	+			
	Закалка ТВЧ	+	+			
Деформационное воздействие	Дробеструйная обработка	+	+	+	+	
	Магнитно-импульсная обработка	+	+	+		
	Упрочнение взрывом	+	+	+	+	
	Выглаживание и обкатывание	+	+	+	+	
	Ультразвуковая обработка	+	+	+	+	

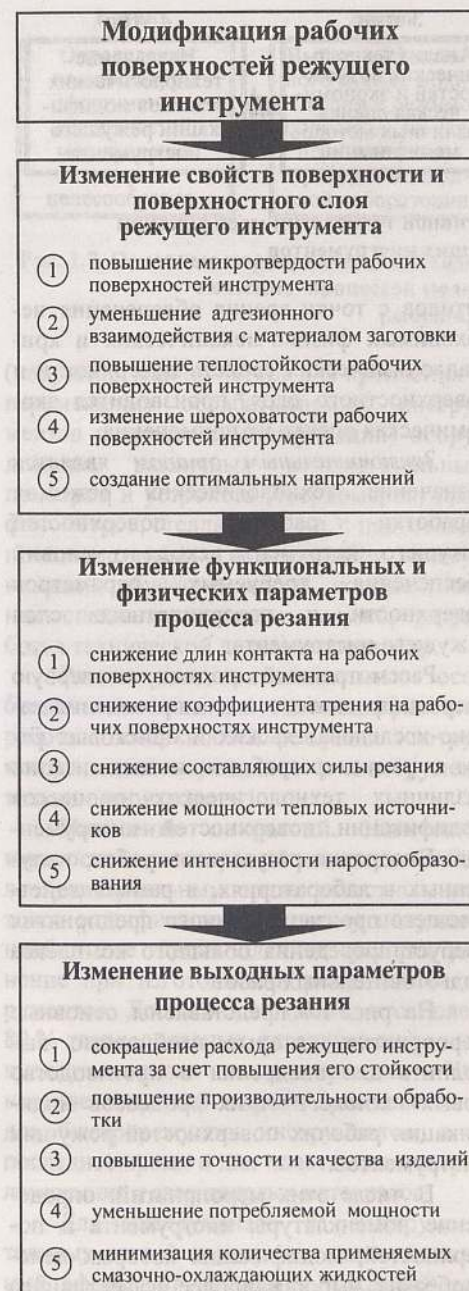


Рис. 1.5. Эффекты, которые могут быть достигнуты в результате применения различных методов модификации рабочих поверхностей режущего инструмента

При деформационном воздействии происходит наклеп поверхностных слоев режущих инструментов, а также изменяется их микрогеометрия и энергетический запас.

Возможность и целесообразность применения того или иного метода модификации поверхности к конкретному инструментальному материалу определяется целым комплексом факторов. В первую очередь, необходимо соотносить теплостойкость инструментального материала и температуру, при которой осуществляется непосредственно процесс модификации. В табл. 1.20 представлены общие сведения о возможности и целесообразности использования различных методов модификации для различных групп инструментальных материалов.

По своей сути методы, используемые для модификации рабочих поверхностей режущих инструментов, имеют существенные различия в применяемых источниках энергии, рабочих средах и т.д. Однако, несмотря на это, эффекты, которые могут быть достигнуты при их применении, имеют существенные сходства и связаны с улучшением наиболее важных показателей эффективности (выходных параметров) процесса резания (рис. 1.5). Улучшение выходных параметров процесса резания является следствием изменения функциональных и физических параметров процесса резания, которое в свою очередь является следствием изменения физико-механических и кристаллохимических свойств поверхностей и поверхностных слоев инструментов, происходящих в результате применения того или иного метода модификации.

**Выбор оптимального метода модификации и его внедрение.** Как видно из приведенной классификации (см. рис. 1.4), в настоящее время применяются разнообразные методы модификации рабочих поверхностей режущих инструментов. При этом универсального метода не существует, так как один и тот же метод в одних условиях эксплуатации инструмента может дать положительный эффект, а в



Рис. 1.6. Основные этапы выбора эффективной технологии модификации рабочих поверхностей режущих инструментов

других – отрицательный. Применение того или иного метода модификации связано с затратами на приобретение специального оборудования для его реализации, поэтому эффективность его применения будет существенно зависеть от серийности производства и многих других факторов.

В связи с большим разнообразием инструментальных материалов, видов режущих инструментов, условий их работы, а также многовариантностью научно-технических задач, может быть предложена только общая методика выбора эффективной технологии модификации рабочих поверхностей режущих инструментов (рис. 1.6).

На первом этапе осуществляется всесторонний анализ условий эксплуатации режущего инструмента (режима резания, свойств обрабатываемого материала и т.д.), определяются конкретные выходные показатели процесса резания, которые должны быть улучшены в результате применения метода модификации рабочих поверхностей режущего инструмента.

Второй этап предусматривает определение физико-механических и кристаллохимических свойств поверхности и поверхностного слоя (шероховатость, микротвердость, теплостойкость, сродство с обрабатываемым материалом и т.д.), оказывающих наиболее сильное влияние на выходные показатели процесса резания при конкретных условиях эксплуатации режущего инструмента.

На третьем этапе производится непосредственно выбор метода модификации поверхности. Для этого выявляются технологические возможности различных

методов с точки зрения обеспечения необходимых физико-механических и кристаллохимических свойств поверхности и поверхностного слоя, производится экономическая оценка их применения.

Заключительным этапом является назначение технологических режимов обработки рабочих поверхностей режущего инструмента исходя из условий обеспечения требуемых параметров поверхности и поверхностного слоя режущего инструмента.

Рассмотренный подход в первую очередь предназначен для проведения научно-исследовательских и поисковых работ в рамках разработки и оптимизации различных технологических процессов модификации поверхностей инструментов. Внедрение результатов работ, полученных в лабораториях, в рамках действующего производственного предприятия требует проведения большого комплекса подготовительных работ.

На рис. 1.7 представлены основные мероприятия, которые необходимо выполнить для внедрения в производство новых технологических процессов модификации рабочих поверхностей режущих инструментов.

В числе этих мероприятий: определение номенклатуры инструмента и поверхностей, модификация которых целесообразна, выбор наиболее эффективного метода модификации и технологических режимов, их экспериментальная проверка в заводской лаборатории; подготовка материальной базы – приобретение и изготовление стандартного (например, электроно-лучевой установки) и нестандартного



Рис. 1.7. Основные мероприятия, необходимые для производственного внедрения технологических процессов модификации рабочих поверхностей режущих инструментов

(например, манипулятора для крепления и перемещения обрабатываемых инструментов в процессе модификации) оборудования, различных вспомогательных приборов и устройств (твердомеров, профилометров, стеллажей и т.д.); подготовка производственных помещений и коммуникаций, обучение кадров, комплектование специализированных служб, разработка технической документации и др.

Рассмотрим принципиальные особенности основных методов модификации рабочих поверхностей режущих инструментов, использующихся в инструментальном производстве.

**Нанесение покрытий.** Нанесение износостойких покрытий является наиболее универсальным среди известных методов модификации и поэтому получило наибольшее промышленное распространение при изготовлении режущих инструментов. Достаточно сказать, что более 80 % твердосплавных пластин в мире выпускается с различными покрытиями. Нанесение покрытий широко применяется и для быстрорежущих инструментов, а в последнее время и для пластин из минералокерамики и сверхтвердых материалов.

Для инструментов из инструментальных сталей и твердых сплавов главный эффект от нанесения покрытий заключается в повышении твердости контактных площадок режущих инструментов и снижении их адгезионного взаимодействия с обрабатываемым материалом. В результате этого трансформируются функциональные и физические параметры

процесса резания: стружкообразование, контактные и тепловые процессы, а также изнашивание рабочих площадок инструментов. Следствием этих изменений являются, во-первых, повышение стойкости режущих инструментов, которое ведет к существенно более экономному использованию инструментальных материалов; во-вторых, смещение допустимых скоростей резания для данного инструментального материала в область более высоких значений, что обеспечивает повышение производительности обработки и, в-третьих, снижение шероховатости обработанных поверхностей. Кроме того, нанесением покрытий различных составов можно уменьшить потребление смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), а в некоторых случаях вообще отказаться от их использования.

Поскольку инструменты из керамики сами по себе обладают высокими значениями твердости (до 94 HRA) и низкой склонностью к взаимодействию с обрабатываемым материалом, то эффекты от нанесения покрытий на керамику будут заключаться несколько в другом. Из-за низких прочностных свойств и теплопроводности керамики, а также дефектов объема и поверхности, образующихся при спекании, прессовании и шлифовании пластин, подавляющую долю их отказов составляет хрупкое разрушение (сколы и выкрашивание). Применение различных покрытий обеспечивает так называемый «эффект залечивания» поверхностных дефектов (микротрещин, пор и т.д.), а также



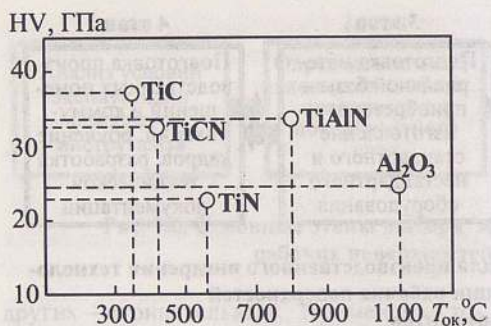


Рис. 1.8. Характеристики соединений, использующихся в качестве покрытий

тормозит или останавливает развитие фронта трещин, идущих из глубины пластины в направлении поверхности. Наиболее полно это можно реализовать применением многослойных покрытий с чередующимися слоями переменной твердости. Аналогичный эффект достигается и при нанесении покрытий на инструменты из сверхтвердых материалов.

Покрытия, наносимые на инструменты, обычно представляют собой нитриды, карбиды, карбонитриды и оксиды тугоплавких металлов –  $Al_2O_3$ , TiN, TiC, TiCN, TiAlN и др. На рис. 1.8 представлены

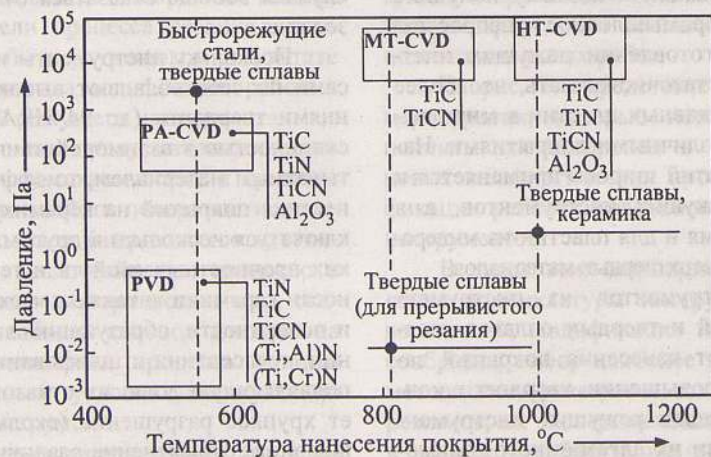


Рис. 1.9. Технологические условия формирования покрытий CVD- и PVD-методами и области их применения

значения твердости и температуры окисления ( $T_{ок}$ ) некоторых соединений, использующихся в качестве покрытий.

В настоящее время промышленность располагает достаточно большим арсеналом методов нанесения износостойких покрытий (см. табл. 1.20), из которых в инструментальном производстве наиболее широко применяются методы химического осаждения покрытий из газовой фазы – Chemical Vapour Deposition (CVD) и физического осаждения покрытий в вакууме – Physical Vapour Deposition (PVD).

К разновидностям метода CVD относят: высокотемпературное осаждение покрытий – high-temperature (HT-CVD); среднетемпературное осаждение покрытий – medium-temperature (MT-CVD); осаждение покрытий с плазменным сопровождением – plasma assisted (PA-CVD). Основными разновидностями метода PVD являются: электронно-лучевое испарение; вакуумно-дуговое испарение; магнетронное распыление. Методы CVD и PVD существенно различаются по температурам и давлениям, при которых они реализуются, по составам наносимых покрытий, а также по областям применения (рис. 1.9).

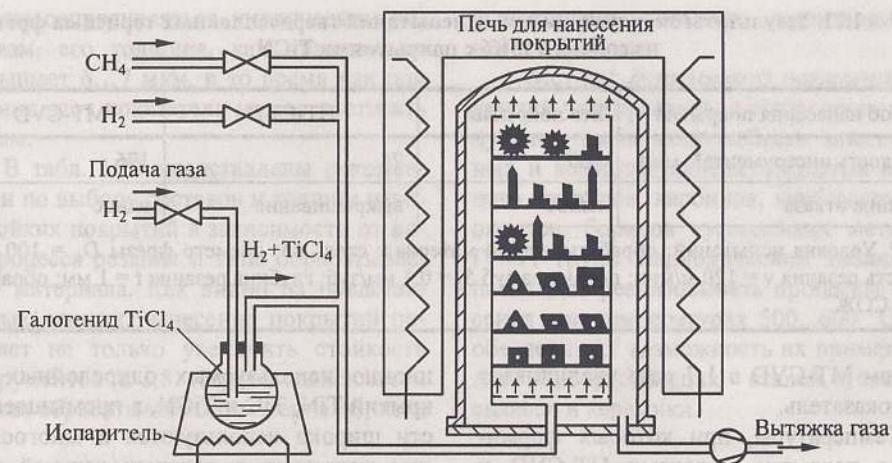
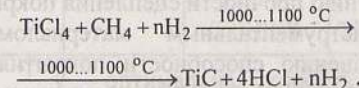


Рис. 1.10. Принципиальная схема процесса химического осаждения покрытий из газовой фазы на твердосплавные инструменты

Методами химического осаждения покрытий (CVD) в основном получают покрытия  $Al_2O_3$ , TiN, TiC и TiCN.

В общем случае процессы CVD основаны на протекании гетерогенных химических реакций в парогазовой среде, окружающей инструменты, в результате которых образуется износостойкое покрытие (рис. 1.10). Осаждение покрытий происходит в специальной печи в присутствии водорода при взаимодействии газобразных галогенидов типа  $TiCl_4$ ,  $AlCl_3$  с составляющими смесей – азотом при осаждении нитридов тугоплавких металлов, метаном при осаждении карбонитридов и углекислым газом при осаждении оксидов.

Уравнение химической реакции при формировании покрытия на основе карбида титана высокотемпературным методом химического осаждения (HT-CVD) имеет следующий вид:



При нанесении покрытий на основе карбидов и карбонитридов тугоплавких металлов на твердосплавные инструменты методом HT-CVD, наблюдается диф-

фузия кобальта (частично и вольфрама) из твердого сплава в покрытие. В результате этого на границе раздела покрытие – твердый сплав формируется хрупкая  $\eta$ -фаза ( $W_6Co_6C$ ,  $W_3Co_6C$ ), толщина которой может достигать 4 мкм.

Формирование  $\eta$ -фазы существенно повышает склонность твердосплавных инструментов к хрупкому разрушению в процессе резания. Поэтому для твердых сплавов, эксплуатирующихся при фрезеровании в условиях действия циклических нагрузок, а также при обработке труднообрабатываемых сплавов, например на основе никеля, в последнее время используют метод химического осаждения покрытий при средних температурах – MT-CVD. Этот метод реализуется при температурах 780...850 °C, когда формирование хрупкой  $\eta$ -фазы не происходит.

Данные эксплуатационных испытаний (табл. 1.21) твердосплавных фрез с покрытиями TiCN, полученными различными CVD-методами, наглядно демонстрируют, что нанесение покрытия методом HT-CVD из-за формирования хрупкой  $\eta$ -фазы при фрезеровании может привести даже к снижению стойкости инструмента по сравнению с инструментом без покрытия, в то время как нанесение покрытия

### 1.21. Результаты эксплуатационных испытаний твердосплавных торцевых фрез из сплава T15K6 с покрытиями TiCN

Способ нанесения покрытия	Без покрытия	HT-CVD	MT-CVD
Стойкость инструмента*, мин	100	74	176
Причина отказа	износ	выкрашивание	износ

\* Условия испытаний: обрабатываемый материал: сталь 45; диаметр фрезы  $D_{\phi} = 100$  мм; скорость резания  $v = 120$  м/мин; подача на зуб  $S_z = 0,1$  мм/зуб; глубина резания  $t = 1$  мм; обработка без СОЖ.

методом MT-CVD в 1,7 раза увеличивает этот показатель.

Температуры, при которых формируются покрытия методами HT-CVD и MT-CVD, превышают 750 °С, что исключает возможность их применения к инструментам из быстрорежущих сталей. Для устранения этого ограничения в последнее время за рубежом все большее применение находят методы химического осаждения покрытий с плазменным сопровождением – PA-CVD, активируемые, например, плазмой тлеющего разряда. Эти методы реализуются при температурах 550...650 °С и могут использоваться для нанесения покрытий как на инструменты из быстрорежущих сталей, так и из твердых сплавов.

Все CVD-методы обеспечивают равномерное нанесение покрытий на рабочие поверхности инструмента и обладают относительно высокой производительностью, что делает их особенно привлекательным для массового производства. Существенными недостатками CVD-методов является практическое отсутствие возможностей широкого управления составом, свойствами и структурой формируемых покрытий. Другим недостатком этих методов до недавнего времени являлась взрывоопасность и токсичность используемых реагентов. Поэтому за рубежом были разработаны различные технологические решения, позволяющие осуществлять осаждение покрытий без использования водорода.

В настоящее время, помимо тради-

ционно используемых однослойных покрытий TiN, TiC и TiCN, в промышленности широко используются многослойные покрытия, в которых каждый слой выполняет строго регламентированные функции. Типичным представителем таких покрытий является покрытие TiC-TiCN-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Использование барьерного (наружного) слоя из Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> сдерживает диффузионные процессы и служит своеобразным термоизолирующим слоем, снижает склонность инструментального материала к окислению при повышенных температурах резания. Карбид титана обладает кристаллохимической совместимостью с твердосплавной подложкой, а карбонитрид титана является прекрасной связкой и используется для повышения прочности адгезионной связи между инструментальным материалом и наружным слоем покрытия.

Кроме состава покрытия, очень важной и достаточно противоречивой характеристикой является его толщина. С одной стороны, ее рост благоприятно сказывается на повышении износостойкости контактных площадок инструмента, с другой – приводит к заметному увеличению количества дефектов в покрытии, снижению прочности сцепления покрытия с инструментальным материалом и уменьшению способности покрытия сопротивляться хрупкому разрушению. Именно поэтому при нанесении покрытий на инструменты, эксплуатирующиеся в условиях прерывистого резания, например, при фрезеровании, когда покрытие

должно сопротивляться циклическим нагрузкам, его толщина, как правило, не превышает 6...7 мкм, в то время как при точении этот показатель может достигать 15 мкм.

В табл. 1.22 представлены рекомендации по выбору составов и толщин износостойких покрытий в зависимости от вида процесса резания и типа обрабатываемого материала. Как видно из представленных данных, нанесение покрытий позволяет не только увеличить стойкость инструментов (в 1,8...5 раз в зависимости от вида обрабатываемого материала), но и

существенно повысить производительность обработки.

Методы физического осаждения покрытий универсальны с точки зрения получения гаммы монослойных, многослойных и композиционных покрытий на основе нитридов, карбидов, карбонитридов, оксидов, боридов тугоплавких металлов IV–VI групп Периодической таблицы и позволяют реализовывать процессы нанесения при температурах 500...600 °С, что обеспечивает возможность их применения для быстрорежущих сталей, твердых сплавов и керамики.

### 1.22. Рекомендуемые составы некоторых износостойких покрытий для нанесения на твердый сплав CVD-методами

Группа применения	Операция	Материал основы	Рекомендуемые покрытия	Общая толщина покрытия, мкм	$v^*$ , м/мин	$v_n^{*2}$ , м/мин	$K_{ст}^{*3}$
P01-P25	Точение	T5K10	TiC-TiCN-TiN	8	150	200	3...5
		T30K4	TiC-TiCN-TiN	8	180	240	
		TT10K8B	TiN-TiCN-TiC	8	200	250	
	Фрезерование	TT8K6	TiN-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -TiCN	10	200	250	2,5...3
TT7K12		TiC-TiCN-TiN	6	100	150		
K01-K20	Точение, фрезерование	T5K10	TiN-TiC-TiN	6	140	200	3...5
		BK6	TiC-TiCN-TiN	6...8	120	180	
		BK10-XOM	TiC-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -TiN	6...8	160	220	
M10-M20	Точение, фрезерование	TT7K12	TiC-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6...8	160	220	2...2,8
		BK6	TiC-TiCN-TiN	6...8	120	150	
K05	Точение	TT8K6	TiN-TiC-TiN	6...8	150	180	1,8...2,5
		BK6	TiC-TiCN-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8	20	45	
		BK8	TiC-TiCN-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10	25	60	
		TT10K8	TiC-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -TiN	10	25	60	

\*1  $v$  – оптимальная скорость резания для инструмента без покрытия.

\*2  $v_n$  – для инструмента с покрытием.

\*3  $K_{ст}$  – коэффициент увеличения стойкости (отношение средних значений стойкости инструментов с покрытием и без покрытия).

Как показывает производственный опыт, при обработке на повышенных скоростях резания PVD-покрытия имеют даже некоторое преимущество перед CVD-покрытиями. Это связано с тем, что по мере повышения скорости резания и, как

следствие, температуры в зоне обработки, PVD-покрытия значительно меньше теряют в твердости. В табл. 1.23 представлены сведения о свойствах и областях применения некоторых покрытий, наносимых PVD-методами.

### 1.23. Свойства и области применения некоторых PVD-покрытий

Покрытие	Цвет	Свойства, особенности и область применения
TiN	золотистый	Благодаря простой технологии нанесения и невысокой стоимости исходных материалов получило наиболее широкое промышленное применение. Обладает твердостью по Виккерсу 22...25 ГПа и коэффициентом трения по стали 0,55. Применяется для всех видов режущих инструментов при резании конструкционных сталей и сплавов нормальной обрабатываемости
TiCN	серо-голубой	Обладает высокой твердостью по Виккерсу – до 37 ГПа, имеет низкий коэффициент трения по стали – 0,25, относительно невысокую стойкость к окислительному износу, но является достаточно хрупким. Применяется для чистовой обработки конструкционных сталей и сплавов нормальной обрабатываемости
(Ti,Al)N	бронзовый	Характерной особенностью является образование в процессе резания на его поверхности слоя $Al_2O_3$ , служащего тепловым барьером. Обладает повышенной стойкостью к окислительному износу, высокой твердостью по Виккерсу – до 37 ГПа и имеет коэффициент трения по стали 0,6. Применяется для операций с большими термическими нагрузками – при высокоскоростной обработке, резании материалов с пониженной теплопроводностью, а также для обработки твердых материалов, в том числе без применения СОЖ
CrN	серебристый	Обладает высокой пластичностью, хорошими трибологическими свойствами. Имеет твердость по Виккерсу не более 14 ГПа и коэффициент трения по стали 0,3. Применяется для снижения налипания материала заготовки на режущие инструменты при обработке мягких металлов – алюминия, меди и сплавов на их основе
MoS <sub>2</sub>	черный	Является трибологическим покрытием, обладающим достаточно низкой твердостью, но имеющим чрезвычайно низкий коэффициент трения (до 0,05). Применяется для обработки материалов без использования СОЖ, а также для обработки цветных металлов и сплавов
(Ti,Cr)N	золотисто-серый	Свойства и области применения аналогичны покрытию TiN, но является более пластичным, поэтому применяется для инструментов, эксплуатирующихся в условиях ударно-циклических нагрузок и больших сечений срезаемого слоя

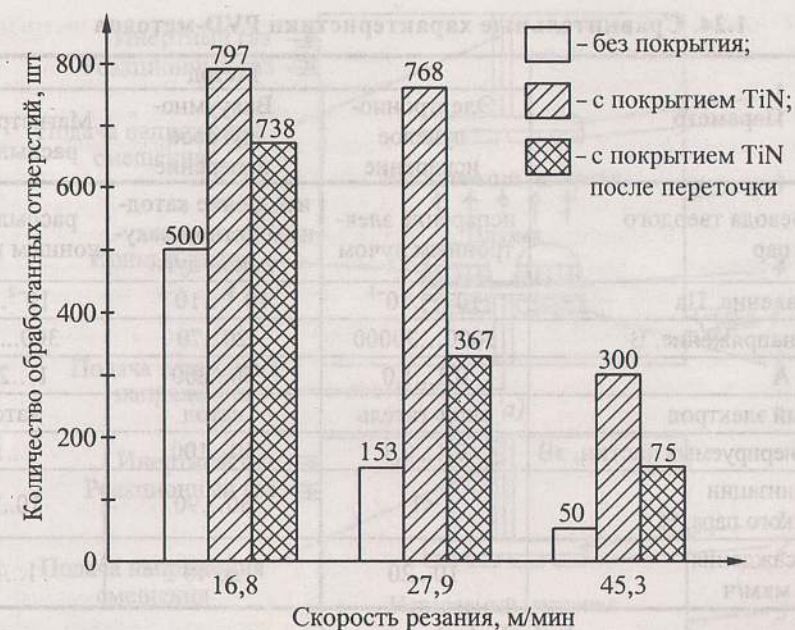


Рис. 1.11. Стойкость быстрорежущих сверл с покрытием TiN при сверлении стали на различных скоростях резания: диаметр сверла  $d = 6,35$  мм; подача  $S_0 = 0,11$  мм/об; обработка с СОЖ

На рис. 1.11 показано, как нанесение даже самого простого однослойного покрытия TiN на сверла из быстрорежущей стали P6M5 позволяет существенно увеличить их стойкость при обработке конструкционных сталей. Эффект повышения стойкости в сравнении со сверлами без покрытия особенно заметен по мере увеличения скорости резания. Видно, что при низких скоростях резания увеличение стойкости относительно невелико (в 1,6 раза), при этом переточка по задней поверхности существенно не снижает стойкости сверл с покрытием. При повышении скорости резания относительная стойкость сверл из быстрорежущей стали с покрытием TiN увеличивается до 6 раз.

Нанесение PVD-покрытий может осуществляться различными способами, но в инструментальном производстве наибольшее распространение получили электронно-лучевое, вакуумно-дуговое испарение и магнетронное распыление.

Различие этих способов состоит в принципах физического испарения вещества, различной степени ионизации плазменного потока и конструктивных особенностях установок.

В табл. 1.24 даны сравнительные особенности PVD-методов и их энергетические характеристики, а на рис. 1.12 представлены принципиальные схемы установок для нанесения покрытий этими методами.

В основе PVD-методов, как правило, лежит испарение (распыление) вещества в вакуумной камере с последующей ионизацией частиц, ускорением в электрическом (магнитном) поле по направлению к покрываемой поверхности и их конденсацией на этой поверхности в присутствии реакционного газа. На практике нередко применяют дополнительные автономные источники для повышения средней энергии осаждаемых частиц.

## 1.24. Сравнительные характеристики PVD-методов

Параметр	Метод		
	Электронно-лучевое испарение	Вакуумно-дуговое испарение	Магнетронное распыление
Способ перевода твердого вещества в пар	испарение электронным лучом	испарение катодным пятном вакуумной дуги	распыление ионным пучком
Рабочее давление, Па	$10^{-3} \dots 10^{-1}$	$10^{-3} \dots 10^{-1}$	$10^{-2} \dots 1$
Разрядное напряжение, В	5000...30000	20...70	300...700
Сила тока, А	0,1...1,0	50...200	1...200
Расходуемый электрод	анод-тигель	катод	катод
Энергия генерируемых частиц, эВ	0,1...0,3	10...100	1...10
Степень ионизации металлического пара, %	<1	80...90	10...20
Скорость осаждения покрытия, мкм/ч	10...20	до 40	1...10

При использовании PVD-методов, перевод твердого вещества в металлический пар может осуществляться в результате распыления материала ионным пучком (магнетронное распыление, рис. 1.12, а), испарения материала катодным пятном вакуумной дуги (вакуумно-дуговое испарение, рис. 1.12, б) и испарения материала в тигле электронным лучом (электронно-лучевое испарение, рис. 1.12, в).

В качестве испаряемого (распыляемого) вещества обычно используют тугоплавкие металлы IV–VI групп Периодической таблицы (Ti, Cr, Mo, Zr и др.), а в качестве реакционных газов применяют азот ( $N_2$ ), метан ( $CH_4$ ) и кислород ( $O_2$ ) и получают покрытия в виде нитридов, карбидов, карбонитридов или оксикарбидов тугоплавких металлов.

Метод вакуумно-дугового испарения нашел широкое применение в отечественной инструментальной промышленности. Его суть заключается в испарении вещества катодным пятном вакуумной дуги и последующей конденсации на рабочих поверхностях инструментов в условиях ионной бомбардировки металлического

пара или его соединения с реакционным газом, которое образуется благодаря протеканию плазмохимических реакций. Применительно к образованию нитрида титана плазмохимическая реакция имеет вид:  $Ti^{+} + N \rightarrow TiN$ .

Широкому промышленному распространению метода вакуумно-дугового испарения способствовала высокая скорость нанесения покрытий (до 40 мкм/час) и степень ионизации осаждаемого потока частиц (до 90%), хорошая прочность адгезионной связи покрытия с инструментальной матрицей, возможность управления процессом нанесения и формирования композиционных покрытий с требуемым комплексом свойств. В то же время этот способ имеет существенный недостаток – наличие капельной фазы в покрытии, образующейся в результате поглощения газов металлами с частичным образованием жидкого раствора и неравномерности микро- и макроструктуры испаряемого катода. Поэтому выбор технологических режимов нанесения покрытий должен производиться исходя из условий минимального образования капельной фазы.

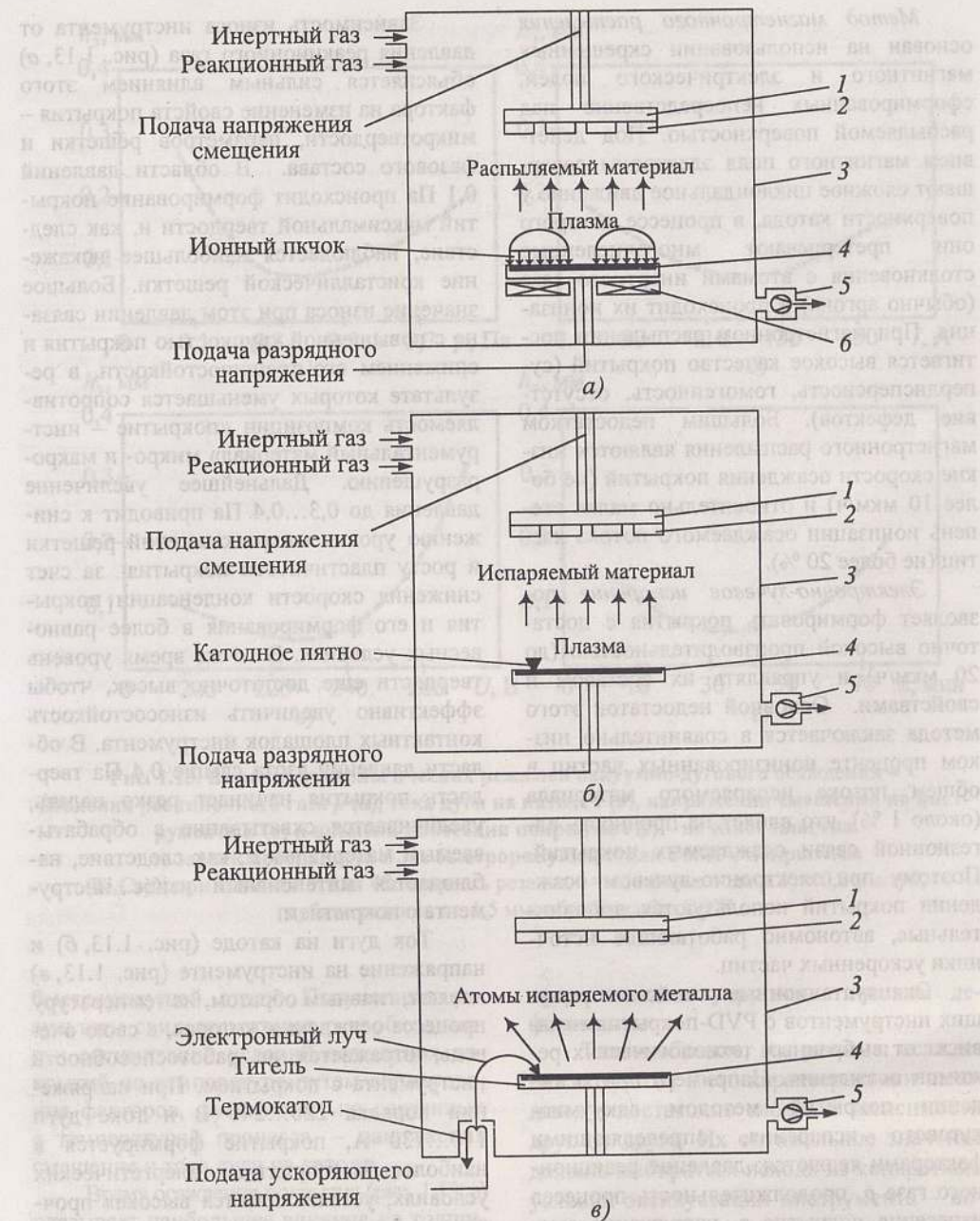


Рис. 1.12. Принципиальные схемы нанесения покрытий на режущие инструменты PVD-методами: а – магнетронным распылением; б – вакуумно-дуговым испарением; в – электронно-лучевым испарением; 1 – держатель инструментов; 2 – инструменты; 3 – вакуумная камера; 4 – осаждаемый материал; 5 – вакуумный насос; 6 – магнитная система для магнетронного распыления

Метод магнетронного распыления основан на использовании скрещенных магнитного и электрического полей, сформированных непосредственно над распыляемой поверхностью. Под действием магнитного поля электроны совершают сложное циклоидальное движение у поверхности катода, в процессе которого они претерпевают многочисленные столкновения с атомами инертного газа (обычно аргона) и происходит их ионизация. При магнетронном распылении достигается высокое качество покрытий (супердисперсность, гомогенность, отсутствие дефектов). Большим недостатком магнетронного распыления являются низкие скорости осаждения покрытий (не более 10 мкм/ч) и относительно малая степень ионизации осаждаемого потока частиц (не более 20 %).

Электронно-лучевое испарение позволяет формировать покрытия с достаточно высокой производительностью (до 20 мкм/ч) и управлять их составом и свойствами. Основным недостатком этого метода заключается в сравнительно низком проценте ионизированных частиц в общем потоке испаряемого материала (около 1 %), что влияет на прочность адгезионной связи осаждаемых покрытий. Поэтому при электронно-лучевом осаждении покрытий используются дополнительные, автономно работающие источники ускоренных частиц.

Эксплуатационные свойства режущих инструментов с PVD-покрытиями зависят от выбранных технологических режимов осаждения. Например, при осаждении покрытий методом вакуумно-дугового испарения, определяющими факторами являются: давление реакционного газа  $p$ , продолжительность процесса нанесения покрытия  $t$ , напряжение смещения на инструменте  $U$  и ток дуги на катоде  $I$ . На рис. 1.13 представлено влияние этих режимов на износ пластин из быстрорежущей стали P6M5 с покрытием (Ti,Cr)N при точении конструкционной стали 45.

Зависимость износа инструмента от давления реакционного газа (рис. 1.13, а) объясняется сильным влиянием этого фактора на изменение свойств покрытия – микротвердости, параметров решетки и фазового состава. В области давлений 0,1 Па происходит формирование покрытий максимальной твердости и, как следствие, наблюдается наибольшее искажение кристаллической решетки. Большое значение износа при этом давлении связано с повышенной хрупкостью покрытия и снижением его трещиностойкости, в результате которых уменьшается сопротивляемость композиции «покрытие – инструментальный материал» микро- и макро-разрушению. Дальнейшее увеличение давления до 0,3...0,4 Па приводит к снижению уровня микронскажений решетки и росту пластичности покрытия за счет снижения скорости конденсации покрытия и его формирования в более равновесных условиях. В то же время уровень твердости еще достаточно высок, чтобы эффективно увеличить износостойкость контактных площадок инструмента. В области давлений азота свыше 0,4 Па твердость покрытия начинает резко падать, увеличивается схватывание с обрабатываемым материалом и, как следствие, наблюдается интенсивный износ инструмента с покрытием.

Ток дуги на катоде (рис. 1.13, б) и напряжение на инструменте (рис. 1.13, в) влияют, главным образом, на температуру процесса осаждения, которая, в свою очередь, отражается на работоспособности инструмента с покрытием. При напряжении порядка 220...240 В и токе дуги 110...130 А, покрытие формируется в наиболее благоприятных энергетических условиях, устанавливается высокая прочность адгезионной связи покрытия с быстрорежущей матрицей, что обеспечивает минимальную интенсивность изнашивания инструмента. Дальнейшее увеличение этих факторов ведет к резкому повышению температуры процесса осаждения и, как следствие, к разупрочнению поверхностных слоев

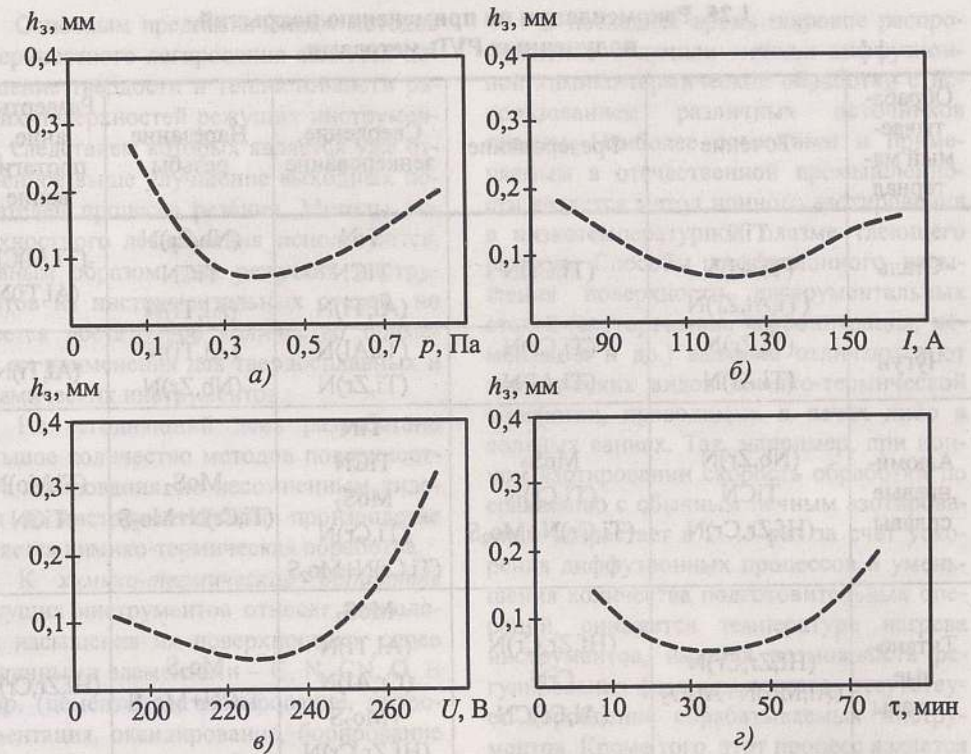


Рис. 1.13. Влияние технологических режимов вакуумно-дугового осаждения – давления реакционного газа  $p$  (а), тока дуги на катоде  $I$  (б), напряжении смещения на инструменте  $U$  (в) и времени нанесения покрытия  $t$  (з) – на износ пластин по задней поверхности  $h_3$  из быстрорежущей стали P6M5 с покрытием (Ti,Cr)N при точении стали 45: скорость резания  $v = 65$  м/мин; подача  $S_z = 0,2$  мм/зуб; глубина резания  $t = 1,5$  мм; обработка без СОЖ

быстрорежущей стали. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости оптимизации условий осаждения покрытий по температуре путем варьирования факторов, функционально связанных с температурой процесса, – напряжения смещения и тока дуги на катоде.

Время осаждения покрытия (рис. 1.13, з) оказывает наибольшее влияние на толщину формируемых покрытий, рост которой, с одной стороны, повышает износостойкость контактных площадок инструмента, а с другой, снижает прочность сцепления покрытия с инструментальным материалом и уменьшает способность покрытия

сопротивляться упругопластическим деформациям.

Таким образом, все режимы осаждения покрытия и его характеристики находятся в достаточно сложной зависимости друг от друга. Их оптимальное значение должно выбираться исходя из конкретных условий эксплуатации инструмента – видом действующих нагрузок, свойствами обрабатываемого материала и др.

В табл. 1.25 представлены некоторые рекомендации по выбору составов и применению различных покрытий, полученных PVD-методами.

### 1.25. Рекомендации по применению покрытий, полученных PVD-методами

Обрабатываемый материал	Точение	Фрезерование	Сверление, зенкерование	Нарезание резьбы	Развертывание, протягивание
Сталь	TiN (Ti,Al)N (Ti,Al,Zr)N	(Ti,Cr)N	TiN TiCN (Al,Ti)N	(Nb,Zr)N TiCN (Al,Ti)N	(Ti,Al)CN (Al,Ti)N
Чугун	(Ti,Zr)N (Ti,Al)N	(Ti,Cr)N (Ti,Al)N	(Ti,Al)N (Ti,Zr)N	(Al,Ti)N (Nb,Zr)N	(Al,Ti)N
Алюминиевые сплавы	(Nb,Zr)N TiCN (Hf,Zr,Cr)N	MoS <sub>2</sub> (Ti,Cr)N (Ti,Cr)N+Mo <sub>2</sub> S	TiN TiCN MoS <sub>2</sub> (Ti,Cr)N (Ti,Cr)N+Mo <sub>2</sub> S	MoS <sub>2</sub> (Ti,Cr)N+Mo <sub>2</sub> S	(Ti,Mo)N TiCN
Титановые сплавы	(Hf,Zr,Cr)N (Al,Mo)N+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Hf,Zr,Cr)N CrN (Al,Cr)CN	MoS <sub>2</sub> (Al,Ti)N (Cr,Al)N +Mo <sub>2</sub> S (Hf,Zr,Cr)N	Mo <sub>2</sub> S TiCN+Mo <sub>2</sub> S	(Hf,Zr,Cr)N
Никелевые сплавы	(Ti,Nb,Al)N (Hf,Zr,Cr)N (Al,Ti)N+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Ti-Cr)N	(Ti,Cr)N (Hf,Zr,Cr)N	(Al,Ti)N	(Ti,Zr)N	(Ti,Nb,Al)N
Медь	CrN	CrN	CrN	CrN	(Ti,Cr)N
Латунь, бронза	TiCN (Al,Ti)N (Nb,Zr)N	TiCN (Al,Ti)N (Ti,Cr)N	TiCN (Al,Ti)N (Nb,Zr)N	TiCN	TiCN
Пластик	TiCN (Ti,Al)N	TiCN (Ti,Al)N	TiCN (Ti,Al)N	TiCN (Ti,Al)N	TiCN (Ti,Al)N

Таким образом, сегодня существуют различные PVD-методы для нанесения покрытий на режущие инструменты. При выборе того или иного способа необходимо учитывать масштабы производства и стоимость технологического оборудования для нанесения покрытий и многие другие факторы.

**Поверхностное легирование.** В отличие от нанесения покрытий, эта группа методов модификации характеризуется тем, что атомы легирующего материала проникают в кристаллическую решетку поверхностных слоев режущих инструментов на глубину до 80 мкм и изменяют его химический состав.

Основным предназначением методов поверхностного легирования является повышение твердости и теплостойкости рабочих поверхностей режущих инструментов, следствием которых является уже отмеченное выше улучшение выходных показателей процесса резания. Методы поверхностного легирования используются, главным образом, для режущих инструментов из инструментальных сталей, но имеется достаточное количество примеров их применения для твердосплавных и керамических инструментов.

На сегодняшний день разработано большое количество методов поверхностного легирования, но несомненным лидером в инструментальном производстве является химико-термическая обработка.

К химико-термической обработке режущих инструментов относят технологии насыщения их поверхностных слоев различными элементами – С, N, CN, O, В и др. (цементация, азотирование, нитроцементация, оксидирование, борирование и др.). Выбор способа химико-термической обработки обусловлен требованиями, предъявленными к поверхностному слою инструмента, теплостойкостью стали и др.

Наиболее пригодными для всех теплостойких инструментальных сталей являются: азотирование, низкотемпературное цианирование, нитроцементация, карбонитрация (желательно с последующим оксидированием), выполняемые в печах или соляных ваннах после термической обработки в качестве заключительной операции. Влияние их на свойства и стойкость инструментов примерно одинаково. На поверхностях инструментов в результате выполнения этих обработок создаются слои высокой твердости (до 70...71 HRC), теплостойкости, возникают полезные сжимающие напряжения и уменьшается налипание (адгезионное взаимодействие с обрабатываемым материалом). Остальные свойства инструментов определяются свойствами их сердцевины.

В последнее время широкое распространение получили методы диффузионной химико-термической обработки с использованием различных источников плазмы. Наиболее освоенным и применяемым в отечественной промышленности является метод ионного азотирования в низкотемпературной плазме тлеющего разряда. Способы диффузионного насыщения поверхности инструментальных сталей (азотирование, карбонитрация, цементация и др.) выгодно отличаются от классических видов химико-термической обработки, проводимых в печах либо в соляных ваннах. Так, например, при ионном азотировании скорость обработки по сравнению с обычным печным азотированием возрастает в 2...5 раз за счет ускорения диффузионных процессов и уменьшения количества подготовительных операций, снижается температура нагрева инструментов, имеется возможность регулирования фазового состава, отсутствует коробление обрабатываемых инструментов. Кроме того, этот процесс является нетоксичным и экологически чистым.

**Ионное азотирование** – многофакторный процесс. Структура, фазовый состав и другие характеристики диффузионного слоя определяются рядом технологических факторов – давлением газа в камере, температурой и временем азотирования, а также составом газовой атмосферы. Управляя ими, можно регулировать толщину азотированного слоя и его структурное состояние, которые определяют комплекс необходимых свойств инструментов с учетом конкретных условий их эксплуатации.

**Ионная имплантация** рабочих поверхностей режущих инструментов используется для упрочнения поверхности быстрорежущих сталей, твердых сплавов и керамики. В основе ионной имплантации (легирования) тонких приповерхностных слоев инструментов лежит облужение в вакууме пучком ионов газа или металла, ускоренных до энергии 104...106 эВ, в результате чего происходит внедрение в

поверхность ионов и атомов легирующего вещества (титана, хрома, азота и др.).

В промышленности существует два основных варианта ионной имплантации:

- прямая имплантация, когда изменение свойств поверхностных слоев материала происходит непосредственно под действием облучающих ионов;

- атомами отдачи (так называемое ионное перемешивание), когда свойства поверхностного слоя формируются за счет атомов предварительно нанесенной на инструментальную матрицу пленки, а облучающие ионы (обычно инертных газов) только обеспечивают каскадное перемешивание атомов пленки и матрицы.

Первый вариант имплантации осуществляется на установках тлеющего разряда и в ионных ускорителях, а второй – только с применением ионных ускорителей.

Ионная имплантация является универсальным методом по спектру легирующих примесей и диапазону концентраций примеси в легированном слое инструментальных материалов. Кроме того, имплантируемый слой не изменяет размеры режущих инструментов и не отслаивается, в отличие от покрытий.

Основными механизмами воздействия облучения на физико-механические и эксплуатационные свойства поверхностных слоев инструментального материала являются:

- создание различных барьеров для движения дислокаций, что приводит к повышению микротвердости и прочностных характеристик поверхностного слоя;

- создание в поверхностном слое сверхравновесных концентраций имплантированной примеси, приводящее к твердорастворному упрочнению материала;

- перераспределение легирующих компонентов инструментального материала и обогащение его поверхностного слоя легкой компонентой (в частности, углеродом), что позволяет предотвратить интенсивное обезуглероживание поверхности, сопровождающее процесс изнашивания;

- изменение напряженного состояния поверхностного слоя, позволяющее создать поля напряжений, которые ком-

пенсуют неблагоприятное воздействие полей напряжений в процессе эксплуатации;

- уменьшение высоты микронеровностей за счет распыления поверхности, приводящее к уменьшению фактического давления при трении и, как следствие, к снижению интенсивности изнашивания инструмента.

Указанные положительные эффекты могут быть достигнуты только при правильном выборе энергии и типа облучающих ионов, доз, плотностей потоков и температур облучения.

На рис. 1.14. представлены результаты эксплуатационных испытаний токарных резцов, оснащенных непереключаемыми пластинами из твердых сплавов BK8, T5K10 и T15K6, имплантированных ионами гелия и аргона, при продольном точении нержавеющей стали 12X18H9T.

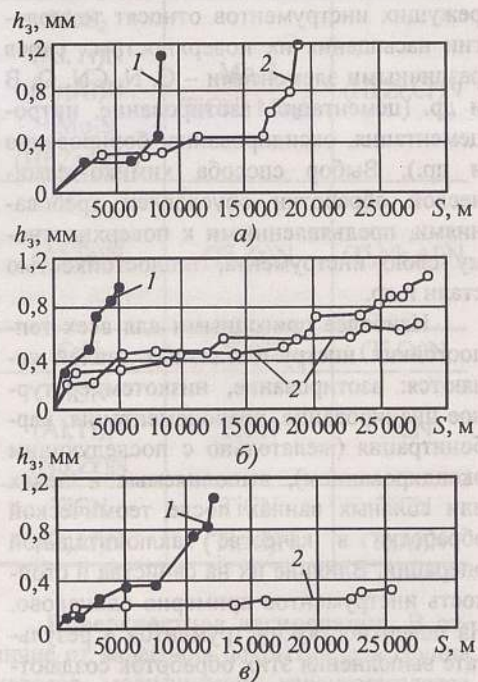


Рис. 1.14. Зависимость износа по задней поверхности  $h_3$  исходных (1) и имплантированных гелием и аргоном (2) пластин из твердых сплавов BK8 (а), T5K10 (б) и T15K6 (в) от пути резания  $S$ , пройденного резцом: скорость резания  $v = 120$  м/мин; подача  $S_0 = 0,12$  мм/об; глубина резания  $t = 1$  мм

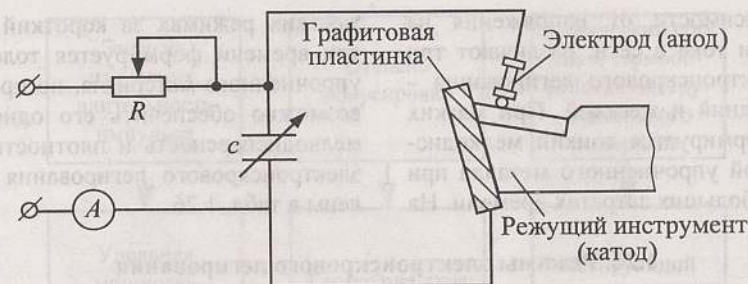


Рис. 1.15. Принципиальная схема модификации поверхности токарного резца методом электроискрового легирования

Из представленных зависимостей износа инструмента от пути, пройденного резцом до полного отказа, хорошо видно, что стойкость облученных твердосплавных пластин во всех случаях существенно выше стойкости необлученных.

В настоящее время широкое промышленное распространение имплантационной технологии ограничивается ее низкой производительностью и высокой стоимостью. Особенно остро эти проблемы стоят при необходимости имплантации слоев большой толщины.

При электроискровом легировании рабочих поверхностей режущих инструментов импульсные разряды в газовой среде сопровождаются электрической эрозией и полярным переносом материала анода на инструмент, являющийся катодом. Для формирования на инструменте слоя требуемой толщины, необходима серия электрических разрядов при сканировании анода по обрабатываемой поверхности инструмента.

На рис. 1.15 представлена принципиальная схема этого процесса. Между электродом (анод) и инструментом (катод) в воздухе происходит электрический разряд, который ведет к химическим реакциям легирующего металла с атомарным азотом и углеродом воздуха, а также с материалом инструмента. Для предотвращения повреждения режущих кромок при электроискровом легировании, их изолируют специальными графитовыми пластинками. В процессе модификации элект-

род перемещается по обрабатываемой поверхности, выполняя либо круговые движения с продольной подачей, либо зигзагообразные движения с небольшой амплитудой и продольной подачей.

В результате химических реакций в поверхностном слое инструмента образуются сложные соединения (карбиды, высокодисперсные нитриды, карбонитриды), составляющие износостойкий упрочненный слой толщиной до 50...80 мкм, микротвердость которого повышается до двух раз. Однако в поверхностном слое часто формируются неблагоприятные растягивающие остаточные напряжения. Кроме того, после электроискрового легирования наблюдается ухудшение шероховатости поверхности инструмента, что требует применения дополнительных видов механической обработки.

При выполнении электроискрового легирования следует как можно реже отрывать электрод от обрабатываемой поверхности, поскольку это ведет к разряду конденсатора установки. При последующем приближении электрода к инструменту может произойти электрический разряд в ионизированном воздухе, что вызовет эрозию обрабатываемой поверхности, а также может привести к появлению прижогов.

При реализации этого метода могут быть использованы различные электроды – на хромовой основе (хромомарганцевые и феррохромовые), твердосплавные, металлические и графитовые.

В зависимости от напряжения на электродах и тока в сети, различают три режима электроискрового легирования – мягкий, средний и жесткий. При мягких режимах формируется тонкий мелкодисперсный слой упрочненного металла при достаточно больших затратах времени. На

жестких режимах за короткий промежуток времени формируется толстый слой упрочненного материала, но при этом невозможно обеспечить его однородность, мелкодисперсность и плотность. Режимы электроискрового легирования представлены в табл. 1.26.

1.26. Режимы электроискрового легирования

Режим	Напряжение на электродах, В		Сила тока, А		Производительность обработки, см <sup>2</sup> /мин	Удельный расход материала электрода, г/см <sup>2</sup>		
	вспомогательный ход	рабочее	короткого замыкания	рабочая		феррохрома	сплава Т15К6	титана
Мягкий	15	9...13	3,5	0,8...1,0	4,0...16	0,009	0,006	0,002
	23	10...18	3,7	1,0...1,5	3,0...8,0	0,030	0,025	0,010
Средний	40	21...33	4,5	1,5...2,0	2,0...8,0	0,050	0,045	0,024
	75	30...48	4,3	2,0...2,5	2,0...7,0	0,070	0,060	0,036
Жесткий	135	35...58	4,2	2,2	1,0...6,0	0,05	0,080	–
	190	48...68	5,5	2,0...2,8	0,5...5,0	0,110	0,100	–

В основе лазерного легирования рабочих поверхностей режущих инструментов лежит введение присадок в процессе лазерного нагрева. С помощью лазерного излучения сравнительно легко осуществляется процесс азотирования и науглероживания поверхностей инструментальных сталей и твердых сплавов, а также легирование различными тугоплавкими металлами (Ti, Al, Zr и др.). При этом выбор систем легирования проводится целенаправленно в зависимости от условий эксплуатации режущих инструментов. Образующиеся новые фазы и соединения резко повышают микротвердость поверхностных слоев, а в некоторых случаях увеличивают и их теплостойкость, что в свою очередь повышает стойкость режущих инструментов. Этот способ модификации поверхности реализуется без объемного нагрева инструментов, т.е. является локальным, не вызывает дополнительной деформации режущих инструментов и дает возможность обрабатывать только те

участки инструментов, которые наиболее подвержены износу в процессе резания. Несмотря на это, экономические расчеты часто показывают нерентабельность применения лазерного легирования в инструментальном производстве в силу следующих причин: лазерные технологические установки имеют достаточно высокую стоимость, низкий КПД (используется только 15 % подводимой энергии) и обладают низкой производительностью. Кроме того, имеются большие сложности при обработке сложнопрофильных инструментов.

При легировании рабочих поверхностей режущих инструментов могут быть использованы и другие источники плазмы – электронный луч (при электронно-лучевом легировании) и дуговой разряд (при плазменном легировании).

Необходимо отметить, что все виды энергии, используемые для поверхностного легирования инструментов, успешно применяются и в целях термической обработки.



Рис. 1.16. Основные параметры процесса лазерной обработки материалов

**Термическая обработка.** В отличие от поверхностного легирования, термическая обработка вызывает изменение структуры и свойств поверхностных слоев инструментов без изменения их химического состава.

В основе лазерной закалки (упрочнения) рабочих поверхностей режущих инструментов лежит воздействие на поверхностные слои инструментов высококонцентрированного источника энергии – лазерного луча. Так же, как и при лазерном легировании, этот способ модификации поверхности реализуется без объемного нагрева инструментальных материалов и является локальным. При сканировании поверхностей инструментов лазерным лучом они претерпевают сильные структурные изменения благодаря сверхбыстрым процессам нагрева и охлаждения тонких поверхностных слоев. Изменяя мощность и время воздействия лазерного излучения на обрабатываемые участки инструментов, можно получить широкий спектр структурных состояний поверхностного слоя материала: ультрамикросталлические структуры, пересыщенные твердые растворы, структуры с повышенной гомогенностью и аморфные структу-

ры. С модификацией структуры поверхностных слоев инструментальных материалов изменяются и их физико-механические свойства – твердость, теплостойкость и т.д.

Основные параметры процесса лазерной обработки (легирования и закалки) материалов, влияющие на эксплуатационные показатели инструментов, приведены на рис. 1.16.

На практике применяется несколько технологических схем модификации рабочих поверхностей инструментов с применением лазерного излучения (рис. 1.17).

На рис. 1.17, а представлена схема импульсно-периодического лазерного излучения. Лазерное упрочнение осуществляется импульсами излучения, сфокусированными в пятно диаметром  $d$ . Каждый последующий импульс перекрывает предыдущее пятно нагрева, т.е. перекрытие  $\Delta x$  меньше диаметра пятна лазерного излучения. По другой схеме, изображенной на рис. 1.17, б, используется непрерывное излучение. Здесь получают высокую концентрацию лазерного излучения фокусировкой его в пятно минимальных размеров. Процесс упрочнения в этом случае осуществляется сканированием луча



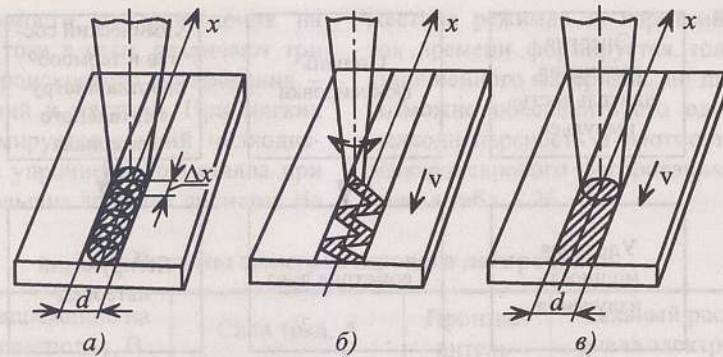


Рис. 1.17. Технологические схемы лазерной обработки материалов:

*a* – импульсно-периодическое ( $d$  – диаметр пятна,  $\Delta x$  – перекрытие пятен);  
*б* – непрерывное излучение со сканированием ( $v$  – скорость перемещения инструмента);  
*в* – непрерывное излучение ( $d$  – диаметр пятна,  $v$  – скорость перемещения инструмента)

в поперечном направлении с определенной частотой и одновременным линейным перемещением инструмента в направлении обработки со скоростью  $v$ . Согласно третьей схеме, представленной на рис. 1.17, *в*, при непрерывном излучении лазерный луч имеет большую мощность и поэтому обеспечивает достаточную для упрочнения плотность мощности при фокусировке в пятно значительно больших размеров, чем в схеме, приведенной на рис. 1.17, *б*. Процесс упрочнения осуще-

вляется перемещением инструмента в направлении обработки со скоростью  $v$ .

Технологический процесс лазерного упрочнения и легирования распространяется на режущий инструмент широкой номенклатуры из углеродистых и быстрорежущих сталей. Кроме того, нередко указанному виду поверхностной модификации подвергаются инструменты из твердых сплавов и даже керамики. На рис. 1.18 показано, что для различных

типов инструментальных материалов механизм повышения износостойкости в результате лазерного воздействия различен.

На рис. 1.19 представлены фрагменты результатов стойкостных испытаний концевых фрез из быстрорежущей стали Р6М5 после лазерной закалки на газовом  $\text{CO}_2$ -лазере с плотностью энергии  $0,25 \text{ Дж/мм}^2$ . Лазерному воздействию подвергались только те участки фрез, которые подвержены наибольшему изнашиванию в процессе эксплуатации, т.е. спиральные задние поверхности зубьев.

Из представленных зависимостей видно, что применение лазерной закалки приводит к существенному увеличению периода начального  $\tau_n$  и установившегося  $\tau_y$  износа инструмента. Увеличение скорости резания и подачи на зуб приводит к уменьшению периодов износа, но тенденция к увеличению времени работы инструмента до наступления отказа сохраняется.

Что касается недостатков лазерной закалки, то они аналогичны тем, которые уже были отмечены для лазерного легирования, – низкий КПД и производительность оборудования, а также сложность при обработке сложнопрофильных инструментов. Поскольку в промышленности имеется достаточное количество альтернативных методов, обеспечивающих аналогичные изменения поверхностных свойств инструментов, этот метод имеет достаточно ограниченное применение в инструментальном производстве.

Эффект от применения электронно-лучевой обработки поверхностей инструментов аналогичен тому, который достигается в результате лазерной обработки. Электронно-лучевая обработка осуществляется в среде высокого вакуума, который необходим для защиты эмиттера электронов от окисления и предотвращения их рассеяния. Суть электронно-лучевой обработки заключается в том, что электронный луч бомбардирует поверхность инструмента с энергией плотности порядка  $8 \text{ МВт/см}^2$  и перемещается от одного локализованного участка к другому через

определенные интервалы времени. Скорость охлаждения после отвода электронного луча очень высока, в результате чего аустенитная структура превращается в мартенсит. Этот метод модификации поверхностей инструментов обладает теми же недостатками, что и лазерная обработка, хотя оборудование для электронно-лучевой обработки имеет более высокий КПД (используется 74% приложенной энергии).

Хорошо известно, что недостатком процесса стандартной термообработки инструментов из инструментальных сталей является большое количество устойчивого остаточного аустенита, который трудно поддается превращению в мартенсит при повторных высокотемпературных отпусках. С целью превращения остаточного аустенита в мартенсит, иногда применяют криогенную обработку, также называемую обработкой холодом. Охлаждение до отрицательных температур вызывает дополнительное мартенситное превращение, в результате которого в тонких поверхностных слоях формируется структура мелкодисперсного мартенсита повышенной твердости.



Рис. 1.18. Механизм повышения износостойкости режущих инструментов при лазерном воздействии (закалке и/или легировании)

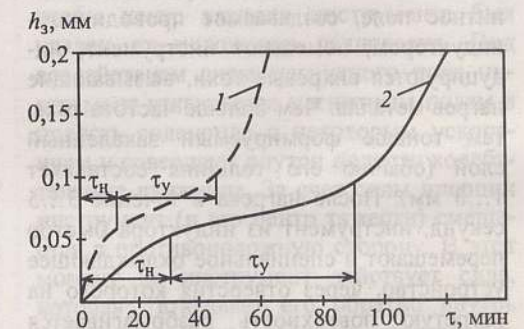


Рис. 1.19. Зависимости износа зубьев фрез по задней поверхности  $h_3$  от времени работы  $\tau$  (1 – после стандартной термообработки, 2 – после лазерной закалки): диаметр фрезы  $D_\phi = 12 \text{ мм}$ ; скорость резания  $v = 35 \text{ м/мин}$ ; подача  $S_z = 0,1 \text{ мм/зуб}$ ; глубина резания  $t = 1,5 \text{ мм}$

При оценке целесообразности применения криогенной обработки сталей и назначении технологических режимов необходимо учитывать следующие аспекты:

- продолжительность выдержки при отрицательной температуре не оказывает влияния на результаты обработки;

- под влиянием криогенных температур наибольшие структурные изменения происходят в сталях с повышенным содержанием остаточного аустенита;

- закономерности изменения размеров инструмента в результате аустенитно-мартенситных превращений следует определять опытным путем для конкретной марки стали с учетом режимов предыдущей термообработки и конструктивных особенностей инструмента;

- при обработке слонoproфильного инструмента с неравномерным распределением массы рекомендуется немедленно после закалки применять низкий отпуск для снятия закалочных напряжений;

- непосредственно после закалки нельзя производить охлаждение ниже нуля, так как в этих случаях увеличиваются внутренние напряжения и появляется опасность образования трещин.

**Закалка токами высокой частоты** основана на том, что в переменное магнитное поле, создаваемое проводником-индуктором, помещающим инструмент, индуцируются вихревые токи, вызывающие нагрев металла. Чем больше частота тока, тем тоньше формируемый закаленный слой (обычно его толщина составляет 1...3 мм). После нагрева в течение 3...5 секунд, инструмент из индуктора быстро перемещают в специальное охлаждающее устройство, через отверстия которого на нагретую поверхность разбрызгивается закалочная жидкость. Высокая скорость нагрева смещает фазовые превращения в область более высоких температур. Температура закалки при нагреве токами высокой частоты должна быть выше, чем при обычном нагреве. При правильных режимах нагрева после охлаждения получается структура мелкоигольчатого мар-

тенсита. Недостатком этого вида закалки является неравномерность глубины и твердости закаленного слоя, наличие резкого перехода от упроченной поверхности к неупроченной сердцевине.

**Деформационная обработка.** С целью уменьшения шероховатости рабочих поверхностей режущих инструментов и повышения их твердости могут быть использованы различные методы деформационного воздействия. При деформационном воздействии отсутствуют термические дефекты, обеспечивается минимальная шероховатость поверхности с благоприятной формой микронеровностей, создаются полезные сжимающие остаточные напряжения, плавно повышается микротвердость поверхностного слоя на глубине 1...3 мм.

**Методы деформационного воздействия** подразделяются на *статические* и *динамические*. Распространенными методами статического поверхностного деформирования являются *обкатывание шариками и роликами*, а также *алмазное выглаживание*. При реализации этих методов используют специальные инструменты, деформирующие элементы которых (шарики, ролики или тела иной конфигурации) взаимодействуют с обрабатываемой поверхностью режущих инструментов по схемам качения, скольжения или внедрения.

На рис. 1.20 представлена принципиальная схема метода обкатывания режущего инструмента роликом. Суть этого метода состоит в том, что ролик прижимается к поверхности режущего инструмента с фиксированной силой  $P$ , перемещается относительно нее с подачей  $S$ , совершая при этом вращение вокруг своей оси с частотой  $n$ . В зоне локального контакта ролика с обрабатываемой поверхностью инструмента возникает очаг пластической деформации, который перемещается вместе с деформирующим элементом, благодаря чему поверхностный слой режущего инструмента последовательно деформируется на глубину  $h$ , равную глу-

бине распространения очага деформации. Размеры очага деформации зависят от технологических режимов обработки – силы  $P$ , формы и размеров ролика, подачи, твердости инструментального материала и др.

Применение этого метода позволяет снизить параметр шероховатости рабочих поверхностей инструмента до  $Ra\ 0,1$ . Под действием давления ролика на обкатываемую поверхность в наружных слоях происходит остаточная пластическая деформация и вследствие уплотнения дислокаций может быть повышена ее прочность или твердость.

Алмазное выглаживание режущих инструментов по своей сути аналогично рассмотренному выше обкатыванию роликом и заключается в пластическом деформировании поверхностных слоев обрабатываемого инструмента кристаллом алмаза, рабочая часть которого выполнена в виде сферы или боковой поверхности цилиндра. Алмазный инструмент, прижимаемый с определенной силой, скользит по поверхности инструмента, сглаживая микронеровности и упрочняя ее.

К динамическим методам деформирования относятся дробеструйная, вибрационная и ультразвуковая обработки.

При *дробеструйной обработке* деформирующим элементом является сыпучая рабочая среда в виде абразивных гранул, стеклянной и стальной дроби и др. В процессе дробеструйной обработки поток дроби направляется на обрабатываемый инструмент со скоростью соударения, достигающей 100 м/с, в результате чего происходит пластическое деформирование поверхностного слоя инструмента. Главным преимуществом этого метода является его высокая технологичность и универсальность, обеспечивающие возможность обработки любых сложнофасонных поверхностей режущих инструментов. Применение дробеструйной обработки позволяет устранить напряжения растяжения, которые возникают в поверхностных слоях инструментов в процессе их шлифования и заточки.

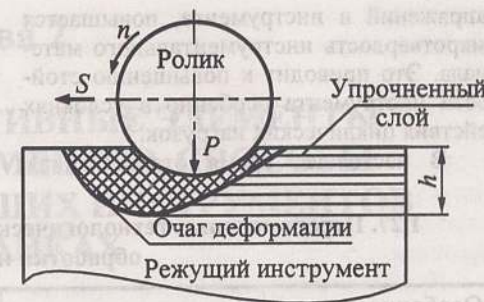


Рис. 1.20. Принципиальная схема пластического деформирования режущего инструмента роликом

**Ультразвуковая обработка** осуществляется в результате воздействия на обрабатываемую поверхность шара из твердого материала, прижатого к ней с постоянной силой и вибрирующего с частотой  $2 \cdot 10^4$  Гц. Применение ультразвуковой обработки позволяет формировать в поверхностном слое большие остаточные напряжения сжатия – до 1100...1200 МН/м<sup>2</sup>.

Одним из распространенных методов деформационного воздействия на рабочие поверхности режущих инструментов является *магнитно-импульсная обработка*. Технология магнитного упрочнения сводится к следующему. Инструмент помещают в полость соленоида таким образом, чтобы центр тяжести инструмента был удален от положения равновесия. Под воздействием силы магнитного поля инструмент втягивается магнитным полем в полость соленоида с некоторым ускорением и совершает внутри полости колебательные движения. За счет силы инерции инструмент (и его центр тяжести) смещается в противоположную сторону. В этот момент на инструмент действует сила, которая втягивает его обратно внутрь соленоида. Таким образом, инструмент, многократно пересекая магнитный поток, совершает в полости соленоида свободные перемещения, которые с течением времени затухают. Когда колебания прекращаются, инструмент занимает положение равновесия. В результате такой обработки уменьшается избыточная энергия и происходит релаксация внутренних

напряжений в инструменте, повышается микротвердость инструментального материала. Это приводит к повышению стойкости инструмента особенно в условиях действия циклических нагрузок.

В настоящее время отечественная

промышленность располагает современным оборудованием для реализации разнообразных технологических процессов магнитно-импульсной обработки инструмента. Некоторые из этих процессов представлены в табл. 1.27.

1.27. Перспективные технологические процессы магнитно-импульсной обработки инструмента

Особенности метода магнитно-импульсной обработки	Область применения	Режим обработки
Обработка с нарастающей амплитудой импульса	Для снятия напряжений в инструментах, работающих при ударно-циклических нагрузках	Напряженность поля 100...800 кА/м; время цикла 0,1...1,0 с; число циклов 2...10; время выдержки между циклами 1...20 мин
Обработка со сменной полярности	Для локальной обработки ответственных инструментов, работающих в тяжелых условиях	Напряженность поля 300...1500 кА/м; время цикла 0,2...2,0 с; число циклов 1...3, 7...9, 11...21 (всегда нечетное); выдержка между циклами 5...10 мин
Обработка с ускоренным вращением заготовки в соленоиде	Для снятия напряжений в местах сварки разнородных материалов (при пайке СТМ, алмазов и др.)	Напряженность поля 100... 800 кА/м; время цикла 0,1...1,0 с; число циклов 2...10; время выдержки между циклами 1...20 мин; частота вращения детали в соленоиде 1000...10 000 об/мин в течение 1...5 мин
Обработка вращающимся саморегулирующимся магнитным полем	Для повышения долговечности готового инструмента	Напряженность поля 100...800 кА/м; время цикла 0,1...1,0 с; число циклов 2...10; время выдержки между циклами 1...20 мин
Обработка с выдержкой и последующим размагничиванием через 15...20 часов	Для снятия напряжений и уменьшения остаточных магнитных полей в изделиях	Напряженность поля 100...800 кА/м; время цикла 0,1...1,0 с; число циклов 2...10; время выдержки между циклами 1...20 мин; размагничивание 2...3 раза
Обработка с применением гибких магнитных концентраторов с ферромагнитной жидкостью	Для обработки инструмента сложного профиля и большой длины	Напряженность поля 300...1500 кА/м; время цикла 0,2...2,0 с; число циклов 1...3, 7...9, 11...21 (всегда нечетное); выдержка между циклами 5...10 мин

## Глава 2

### ОБЩИЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ. СПОСОБЫ ЗАКРЕПЛЕНИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ НА СТАНКАХ

В обработке металлов резанием основную роль играют инструменты. Несмотря на разнообразие и специфические особенности, режущие инструменты имеют большое количество общих геометрических и конструктивных элементов. Связь режущих инструментов со станками осуществляется при помощи вспомогательных инструментов, конструктивные особенности которых обусловлены способами их закрепления.

#### 2.1. Составные части и элементы режущих инструментов

Все режущие инструменты состоят из рабочих и хвостовых частей (державок). Рабочая (режущая) часть инструмента имеет один или несколько зубьев со следующими геометрическими параметрами: задний угол  $\alpha$ , передний угол  $\gamma$ , главный угол в плане  $\phi$ , вспомогательный угол в плане  $\phi_1$ , угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$ , угол заострения  $\beta$ , радиус вершины  $r_n$ . Геометрические параметры различных видов инструментов приведены в соответствующих главах справочника.

Основную роль в процессе резания играет клин (угол заострения  $\beta$ ) с режущими кромками, образованный передней поверхностью, по которой сходит стружка, и задней поверхностью, обращенной к поверхности резания.

К основным конструктивным элементам лезвийных режущих инструментов относятся:

- зубья, несущие на себе элементы с режущими лезвиями;
- стружечные канавки, предназначенные для размещения и транспортирования стружки в процессе резания;
- каналы для подвода СОЖ в зону резания или отвода стружки из зоны резания;
- элементы крепления инструментов и элементы баз, используемых при изготовлении, контроле и переточках инструментов.

Каждый режущий инструмент независимо от вида и размера имеет почти все перечисленные геометрические параметры и конструктивные элементы.

При проектировании режущих инструментов основными поверхностями, формирующими их профиль, являются:

- плоскости – используют при проектировании стержневых резцов, зуборезных гребенок и др. инструментов;
- поверхности вращения, у которых образующие могут быть в виде:
  - прямой, параллельной оси вращения (развертки, цилиндрические фрезы и др.);
  - прямой, наклоненной под некоторым углом к оси вращения (угловые фрезы, конические развертки, зенковки и др.);
  - кривой (фасонные резцы, фасонные фрезы и др.);
  - винтовые поверхности – используют при проектировании резьбонарезных инструментов, червячных зуборезных фрез и др.

У концевых фрез и зенкеров расположение режущих зубьев по винтовой линии обеспечивает равномерное резание

благодаря постепенному входу зубьев в обрабатываемую поверхность и выходу из нее, а также способствует лучшему отводу стружки из зоны резания. В некоторых случаях (например, у спиральных сверл) винтовая поверхность предназначена для получения оптимального переднего угла и сохранения формы режущей части после переточек.

При проектировании зуборезных долбяков, червячных фрез, резцовых головок для обработки конических колес с криволинейными зубьями и винтовых поверхностей зубья инструментов выполняют в виде затылованных поверхностей.

## 2.2. Общие конструктивные элементы инструментов с неразъемными соединениями, их формы, размеры и способы соединения

К этой группе относятся инструменты, имеющие неразъемные соединения рабочих частей с хвостовиками (державками): резцы, концевые инструменты, протяжки и др. Они содержат рабочие части, выполненные из инструментальных материалов, и хвостовики (державки), изготовленные из конструкционных сталей.

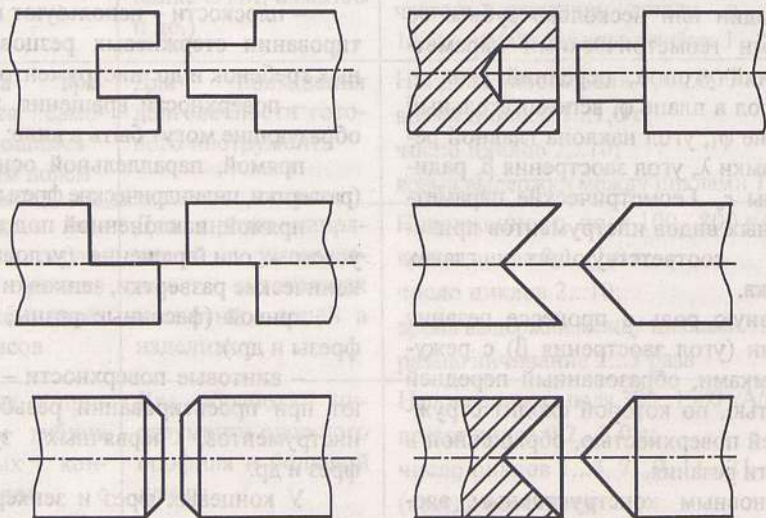


Рис. 2.1. Формы стыков рабочих частей и хвостовиков концевых инструментов

Формы рабочих частей инструментов определяются их видом, а размеры – запасом на переточки, надежностью крепления, направлением инструментов во время работы, а также размерами заготовок.

Соединение рабочих частей и корпусов инструментов (биметаллические режущие инструменты) осуществляют сваркой, пайкой, склеиванием, запрессовкой, зачеканкой или обжатием при совместном выдавливании.

Сварку выполняют встык, без дополнительных конструктивных элементов. Сварной шов должен иметь прочность не менее 0,9 прочности корпуса и удален от режущей части на расстояние, обеспечивающее достаточный запас на переточки.

Пайку выполняют с использованием дополнительных конструктивных элементов, выполненных на соединяемых частях инструментов.

На рис. 2.1 приведены формы стыков концевых инструментов, подготовленных под пайку. При этом расстояния от стыков до режущих частей должны обеспечивать запас на переточки инструментов и исключать их распайку во время резания, связанную с нагревом рабочих частей.

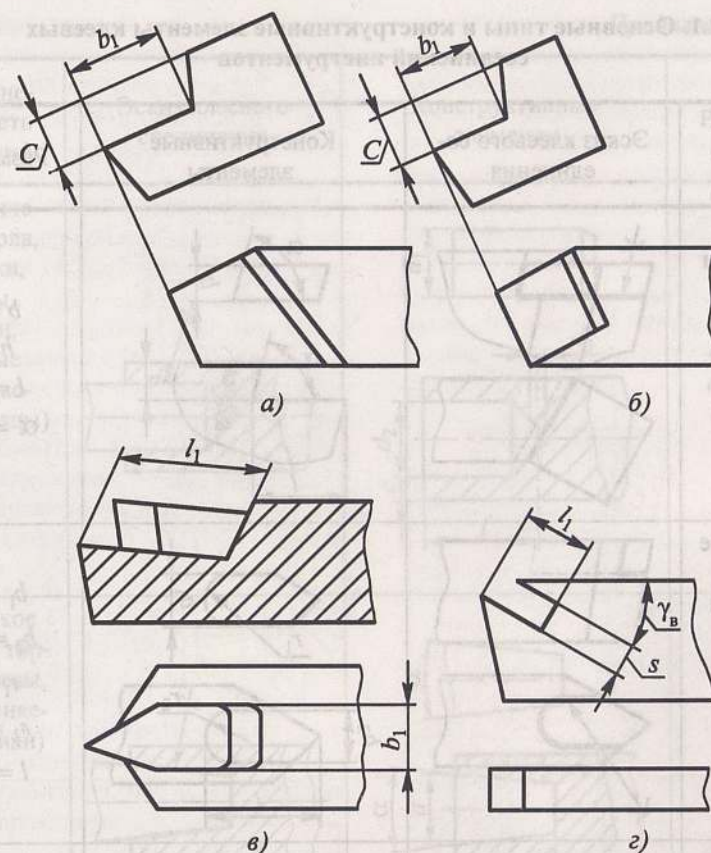


Рис. 2.2. Формы гнезд под напайные пластины: а – открытая; б – полузакрытая; в – закрытая; з – врезная

Формы гнезд под пластины, обеспечивающие надежное соединение пайкой, приведены на рис. 2.2.

Формы гнезд должны соответствовать формам пластин, а размеры гнезд рассчитаны в зависимости от размеров пластин. Для напайных пластин, врезаемых на полную глубину, длина и ширина гнезда, мм:

$$l_1 = l - s \operatorname{tg}(\alpha_k + 2);$$

$$b_1 = b - s \operatorname{tg}[(\alpha_{k_1} + \gamma) + (2...4)],$$

где  $l$  – длина пластины, мм;  $s$  – толщина пластины, мм;  $b$  – ширина пластины, мм;

$b_1$  – ширина гнезда у основания пластины, мм;  $\alpha_k$  – задний угол корпуса, °;  $\alpha_{k_1}$  – задний угол корпуса в направлении  $l_1$ , °.

Угол врезания пластин  $\gamma_b$  принимают:

– для пластин из быстрорежущих сталей  $\gamma_b = \gamma + (2...5)^\circ$  – при обработке хрупких материалов,  $\gamma_b = 0^\circ$  – при обработке вязких материалов;

– для пластин из твердых сплавов  $\gamma_b = 0$  – при обработке сталей и других вязких материалов,  $\gamma_b = \gamma + (0...2)^\circ$  – при обработке чугунов и других хрупких материалов.

### 2.1. Основные типы и конструктивные элементы клеевых соединений инструментов

Тип соединений (область применения)	Эскиз клеевого соединения	Конструктивные элементы	Размеры, мм
Открытое (проходные и подрезные резцы, развертки)			$b = 5...10;$ $h = b - 1;$ $l = 15...20;$ $\alpha = 60...90^\circ$
Полузакрытое (резбовые, подрезные и расточные резцы, развертки)			$b_1 = 6...10;$ $b_2 = b_1 + 0,2;$ $r_1 = 3...5;$ $r_2 = r_1 + 0,1;$ $l = (3...5)b_1$
Врезное поперечное (все типы резцов, дисковые и насадные фрезы, протяжки)			$b_1 = 4...8;$ $b_2 = b_1 + 0,2;$ $h = 7...15;$ $H = 10...20$
Врезное продольное (протяжки, хоны)			$b_1 = 3...15;$ $b_2 = b_1 + 0,3;$ $c = 3...15;$ $h_1 = h_2 = 3...15;$ $H = 20...50;$ $l = 200...1200$

Продолжение табл. 2.1

Тип соединений (область применения)	Эскиз клеевого соединения	Конструктивные элементы	Размеры, мм
Цилиндрическое (сверла, развертки, зенкеры, метчики, концевые фрезы, расточные резцы)			$d_1 = 3...15;$ $d_2 = d_1 + 0,1;$ $d_3 = 1,0...1,5;$ $l = (3...5)d_1;$ $c = 2...5$
Коническое (долбяки, торцовые фрезы, сверла, зенкеры, метчики)			$d = 8...20;$ $l = (3...4)d;$ $\alpha = 5...20^\circ$
Клиновое (метчики, сверла, развертки)			$d_1 = d_2 = 8...20;$ $\alpha_1 = \alpha_2 = 30...45^\circ;$ $\alpha_3 = 70...100^\circ;$ $\delta = 0,05...0,15$

Продолжение табл. 2.1

Тип соединений (область применения)	Эскиз клевого соединения	Конструктивные элементы	Размеры, мм
Клеорезьбовое (пазовые и дисковые фрезы)			$f = 3 \dots 6;$ $k = 4 \dots 8;$ $d = M14 \dots M32;$ $D_1 = d + 2k;$ $l = (2 \dots 4) d;$ $D = d + 2k + 2\delta;$ $\delta = 0,05 \dots 0,15$
Коническое с пазом (фрезы, сверла)			$d_1 = b_1 = 8 \dots 20;$ $b = b_1 + 0,1;$ $D/b = 1,5 \dots 2,0;$ $h = 3 \dots 15;$ $\alpha = 5 \dots 20^\circ$

У стандартных резцов из быстрорежущих сталей углы врезания  $\gamma_v = 0; 12; 16^\circ$ ; из твердых сплавов —  $\gamma_v = 0; 10^\circ$ , а задние углы соответственно  $\gamma_v = \alpha_k = \alpha + (2 \dots 3)^\circ, \alpha_{k_1} + (2 \dots 3)^\circ$ .

Глубину  $C$  гнезда под режущую пластину принимают равной  $C = s$ , если  $s \leq 4$  мм;  $C = 0,5s$ , если  $s = 4 \dots 7$  мм и  $C = 0,4S$ , если  $s > 1$  мм.

Режущие пластины для напайных резцов приведены в ГОСТ 25393-90.

Клеевые соединения получают с использованием дополнительных конструктивных элементов и элементов, исключающих нагружение стыка растягивающими и сдвигающими нагрузками. Расчет стыка на вдвигающие нагрузки проводят по формуле:

$$[\tau_s] \geq \frac{P_{сдв}}{FK},$$

где  $[\tau_s]$  — предел прочности клея на сдвиг, Н/мм<sup>2</sup>;  $P_{сдв}$  — сдвигающая нагрузка, Н;  $F$  — площадь склеивания, мм;  $K$  — коэффициент запаса прочности.

$$K = K_o K_k K_n K_m,$$

где  $K_o$  — коэффициент, учитывающий способ отверждения клевого шва (в термостате  $K_o = 1,1$ , на воздухе — 1,2);  $K_k$  — конструктивный коэффициент (открытый стык —  $K_k = 1$ , полузакрытый — 1,1, а закрытый — 1,2);  $K_n$  — коэффициент, учитывающий характер нагрузки (статическая нагрузка  $K_n = 1,8$ , динамическая —  $K_n = 8$ ),  $K_m$  — коэффициент, учитывающий влияние склеиваемой пары материалов (пара «минералокерамика-сталь» —  $K_m = 1$ , пара «твердый сплав-сталь» —  $K_m = 1,4$ ).

В табл. 2.1 приведены основные типы клевых соединений, их конструктивные элементы и области применения.

Зачеканка и завальцовка находят ограниченное применение и поэтому заменяются пайкой или склеиванием.

Обжатие осуществляют при совместном горячем выдавливании соединяемых элементов инструментов, например, заготовки рабочей части и хвостовика. В последние годы для изготовления заготовок инструментов, в том числе и биметаллических, все большее применение находит процесс горячего гидродинамического выдавливания (ГГДВ), который включает в себя обжатие выдавливаемых заготовок. На рис. 2.3 приведены конструктивные элементы заготовок под выдавливание и их размеры.

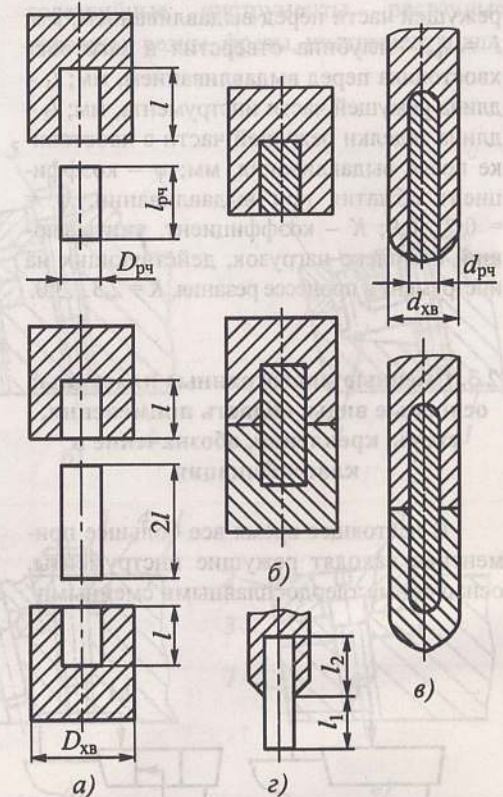


Рис. 2.3. Заготовки для получения биметаллических концевых инструментов:  
 а — элементы сборных заготовок;  
 б — заготовка в сборе перед выдавливанием;  
 в — выдавленная заготовка;  
 z — режущий концевой инструмент

С целью рационального использования быстрорежущих сталей и обеспечения надежного соединения режущих частей и хвостовиков инструментов размеры заготовок следует назначать:

$$d_{хв} = (0,40...0,45)D_{хв};$$

$$d_{рч} = (0,40...0,45)D_{рч};$$

$$l = (l_1 + l_2)(1 - \psi); \quad l_2 = [(1,2...1,5)d_{рч}] K,$$

где  $d_{хв}$ ,  $d_{рч}$  – диаметры заготовок соответственно хвостовика и режущей части после выдавливания, мм;  $D_{хв}$ ,  $D_{рч}$  – диаметры заготовок соответственно хвостовика и режущей части перед выдавливанием, мм;  $l = l_{рч}$  – глубина отверстия в заготовке хвостовика перед выдавливанием, мм;  $l_1$  – длина режущей части инструмента, мм;  $l_2$  – длина заделки режущей части в хвостовике после выдавливания, мм;  $\psi$  – коэффициент обжатия при выдавливании,  $\psi = 0,7...0,9$ ;  $K$  – коэффициент, учитывающий комплекс нагрузок, действующих на инструмент в процессе резания,  $K = 2,5...3,0$ .

### 2.3. Сменные многогранные пластины: основные виды, область применения, схемы крепления, обозначение и классификация

В настоящее время все большее применение находят режущие инструменты, оснащенные твердосплавными сменными

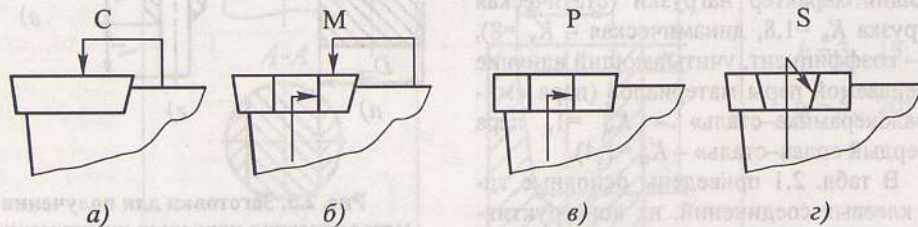


Рис. 2.4. Схемы крепления СМП: а – прихватом сверху;

б – прихватом сверху и штифтом через отверстие; в – штифтом через отверстие;

г – винтом через фасонное отверстие

многогранными пластинами (СМП), имеющими форму многогранников (треугольников, квадратов, ромбов, пятигранников и т.д.), каждая сторона которых является режущей кромкой. Пластины крепят к корпусам инструментов с помощью специальных приспособлений (рис. 2.4 и 2.5), позволяющих поворачивать их вокруг своих осей, вводя в рабочее положение новую режущую кромку вместо затупленной.

Инструменты, оснащенные СМП, имеют следующие преимущества:

- повышенная на 25...30 % стойкость, так как в твердосплавных пластинах отсутствуют термические напряжения (что характерно для пайки), которые существенно уменьшают запас прочности и приводят к появлению трещин, сколов и поломок;

- большая скорость резания и производительность за счет применения твердых сплавов и керамики, обладающих более низкой прочностью и высокой износостойкостью;

- меньшее время наладки инструментов на размер из-за простоты замены затупившихся режущих кромок и взаимозаменяемости высокоточных СМП;

- отсутствие повторной заточки инструментов;

- постоянство геометрических параметров инструментов, которые определяются точностью исполнения СМП и гнезд под них;

- экономия дефицитного вольфрама за счет возврата в металлургическую промышленность около 90 % использованных СМП, в то время как возврат напайных пластин составляет около 15 %;

- меньший запас инструментов в целом, так как одна державка резца или корпус фрезы могут быть использованы многократно для десятков и даже сотен СМП;

- низкая стоимость обработки и существенное повышение экономической скорости резания;

- возможность применения износостойких покрытий.

В настоящее время освоен массовый выпуск СМП, а также опорных пластин и стружколомов (табл. 2.2–2.7), имеющих различные форму, размеры и степень точности. Увеличение числа и форм СМП являются результатом их непрерывного совершенствования в целях осуществления различных видов обработки резанием, обеспечения устойчивого стружколома и разработки более компактных методов крепления СМП в инструментах. Все это позволило существенно расширить области применения СМП: сборные многолезвийные инструменты, расточные головки и резцы, фрезы, инструменты для

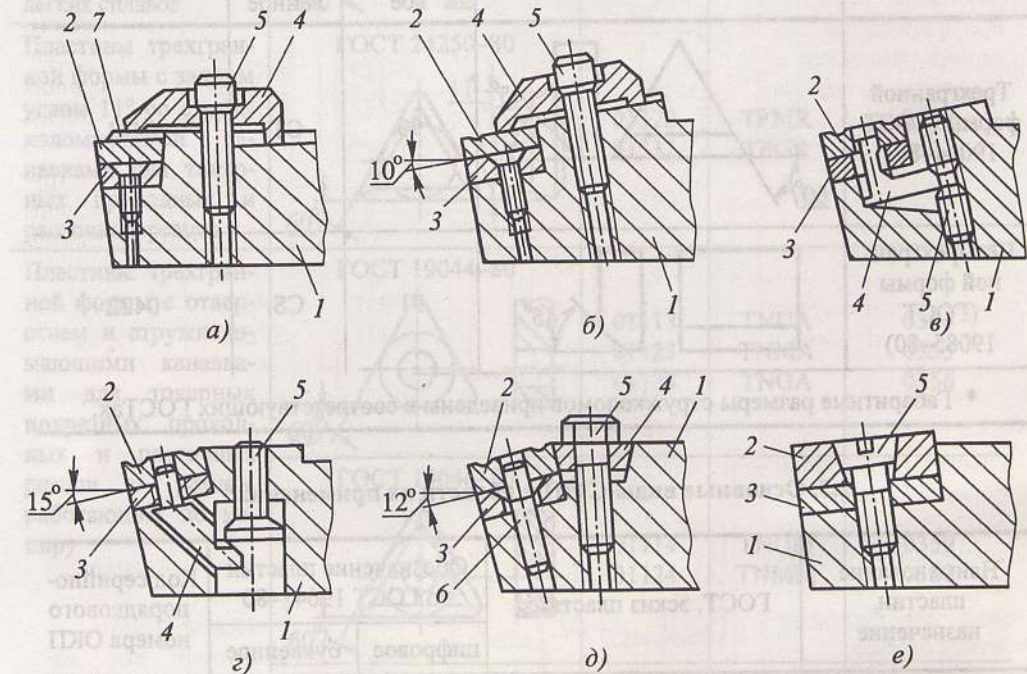


Рис. 2.5. Варианты механического крепления сменных многогранных пластин:

а, б – накладным прихватом; в, г – подвижным штифтом;

д – клином; е – винтом через отверстие; 1 – корпус;


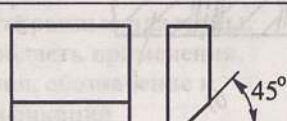
2 – режущая пластина; 3 – опорная пластина;

4 – крепежный элемент; 5 – винт; 6 – штифт; 7 – стружколом

обработки отверстий и т.д. Благодаря преимуществам инструментов, оснащенных СМП, их широко используют на станках с ЧПУ, автоматических линиях, многоцелевых станках, т.е. там, где требуется высокая надежность, быстротенность и взаимозаменяемость. Классификация, система обозначений и формы сменных многогранных пластин приведены в ГОСТ 19042–80, ГОСТ 19043–80,


ГОСТ 24257–80, где приняты две системы обозначений пластин: цифровая и буквенно-цифровая. Пластин классифицируют по назначению (режущие, опорные и стружколомы) и следующим признакам: режущие – по форме, наличию заднего угла, классу допуска, наличию отверстия и стружколомающих канавок; опорные – по форме и наличию заднего угла; стружколомы – по форме.

### 2.2. Основные виды стружколомов\*

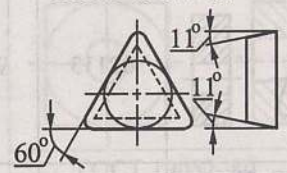
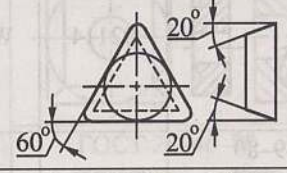
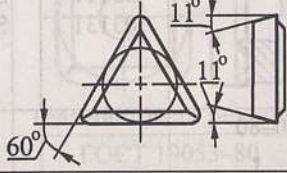
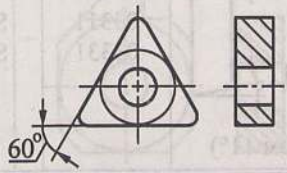


Наименование стружколома	Эскиз	Обозначение стружколома по ГОСТ 19042–80		Код серийно-порядкового номера ОКП
		цифровое	буквенное	
Трехгранной формы (ГОСТ 19084–80)		90	СТ	0421
Четырехгранной формы (ГОСТ 19085–80)		91	CS	0422

\* Габаритные размеры стружколомов приведены в соответствующих ГОСТах.

### 2.3. Основные виды СМП и области их применения\*

Наименование пластин, назначение	ГОСТ, эскиз пластины	Обозначение пластин по ГОСТ 19042–80		Код серийно-порядкового номера ОКП
		цифровое	буквенное	
Пластин трехгранной формы для токарных проходных, подрезных и расточных резцов		01111	TNUN	0352
		01131	TNGN	0353

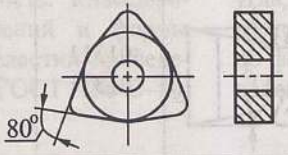
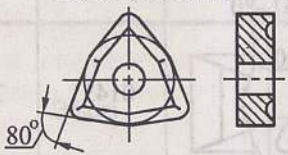

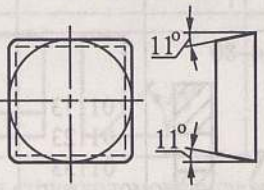
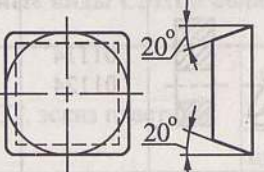
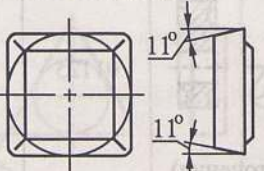
Продолжение табл. 2.3

Наименование пластин, назначение	ГОСТ, эскиз пластины	Обозначение пластин по ГОСТ 19042–80		Код серийно-порядкового номера ОКП
		цифровое	буквенное	
Пластин трехгранной формы с задним углом 11° для токарных проходных, подрезных и расточных резцов	ГОСТ 19045–80 	01311 01331	TPUN TPGN	0357 0358
Пластин трехгранной формы с задним углом 20° для токарных проходных, подрезных и расточных резцов для обработки легких сплавов	ГОСТ 24251–80 	01431	TEGN	0444
Пластин трехгранной формы с задним углом 11° со стружколомающими канавками для токарных проходных и расточных резцов	ГОСТ 24250–80 	01322 01332	TPMR TPGR	0409 0441
Пластин трехгранной формы с отверстием и стружколомающими канавками для токарных подрезных, проходных и расточных резцов и резцов, работающих по копиру	ГОСТ 19044–80 	01113 01123 01133	TNUA TNMA TNGA	0354 0355 0356
	ГОСТ 19046–80 	01114 01124	TNUM TNMM	0359 0360
	ГОСТ 24247–80 	01125	TNMG	0405

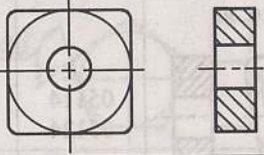
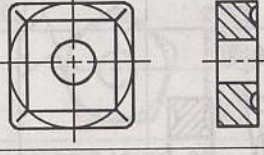

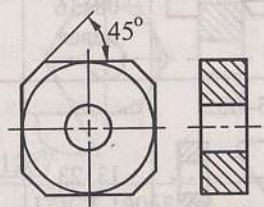
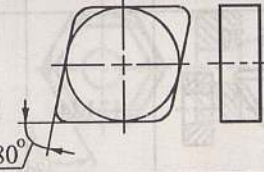
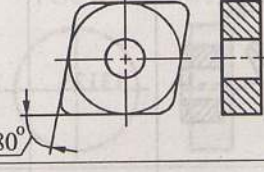
(для чистового точения)



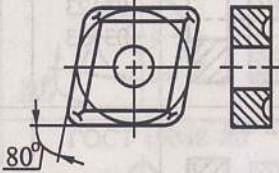
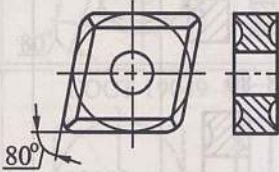
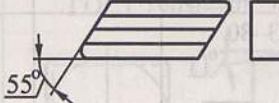
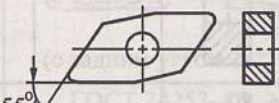

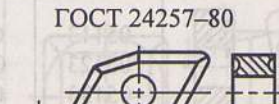
Продолжение табл. 2.3

Наименование пластин, назначение	ГОСТ, эскиз пластины	Обозначение пластин по ГОСТ 19042-80		Код серийно-порядкового номера ОКП
		цифровое	буквенное	
Пластины шестигранной формы с углом $80^\circ$ с отверстием и стружколомающими канавками для токарных, проходных, расточных, автоматных резцов	ГОСТ 19047-80 	02113	WNUA	0361
	ГОСТ 19048-80 	02114	WNUM	0362
Пластины квадратной формы для токарных проходных и расточных резцов	ГОСТ 19049-80 	03111 03131	SNUN SNGN	0363 0364
	ГОСТ 19050-80 	03311 03331	SPUN SPGN	0365 0366
Пластины квадратной формы с задним углом $20^\circ$ для токарных проходных и расточных резцов, торцовых фрез для обработки легких сплавов	ГОСТ 24253-80 	03431	SEGN	0442
	ГОСТ 24252-80 	03322 03332	SPMR SPGR	0408 0440






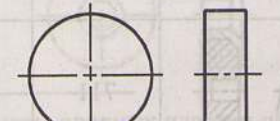
Продолжение табл. 2.3

Наименование пластин, назначение	ГОСТ, эскиз пластины	Обозначение пластин по ГОСТ 19042-80		Код серийно-порядкового номера ОКП
		цифровое	буквенное	
Пластины квадратной формы с отверстием, с одно- и двусторонними стружколомающими канавками, фасками для токарных проходных и расточных резцов, для торцовых фрез	ГОСТ 19051-80 	03113 03123 03133	SNUA SNMA SNGA	0367 0368 0369
	ГОСТ 19052-80 	03114 03124	SNUM SNMM	0370 0371
	ГОСТ 24248-80 	03125	SNMG	0406
	(для чистового резания)			
Пластины ромбической формы с углом $45^\circ$	ГОСТ 19053-80 	03143 03153	SNCA SNEA	0372 0350
	ГОСТ 19056-80 	05111 05131	CNUN CNGN	0375 0376
Пластины ромбической формы с углом $80^\circ$ , с отверстием, с одно- и двусторонними стружколомающими канавками для торцовых фрез и специальных резцов с главным углом в плане $\varphi = 90^\circ$	ГОСТ 19057-80 	05113 05123 05133	CNUA CNMA CNGA	0377 0378 0379

Продолжение табл. 2.3

Наименование пластин, назначение	ГОСТ, эскиз пластины	Обозначение пластин по ГОСТ 19042-80		Код серийно-порядкового номера ОКП
		цифровое	буквенное	
Пластины ромбической формы с углом $80^\circ$ , с отверстием, с одно- и двусторонними стружколомающими канавками для торцовых фрез и специальных резцов с главным углом в плане $\varphi = 90^\circ$	ГОСТ 19059-80 	05114 05124	CNUM CNMM	0381 0382
	ГОСТ 24249-80  (для чистового резания)	05125	CNMG	0407
Пластины параллелограммной (ГОСТ 19062-80) и ромбической формы с углом $55^\circ$ с одно- и двусторонними стружколомающими канавками и отверстием для токарных резцов, работающих по копиру	ГОСТ 19062-80 	08116 правая 08116 левая	KNUX	0385 0410
	ГОСТ 24255-80 	13123	DNMA	0443
	ГОСТ 24256-80 	13124	DNMM	0439
	ГОСТ 24257-80 	13125	DNMG	0445

Продолжение табл. 2.3

Наименование пластин, назначение	ГОСТ, эскиз пластины	Обозначение пластин по ГОСТ 19042-80		Код серийно-порядкового номера ОКП
		цифровое	буквенное	
Пластины пятигранной формы с отверстием и стружколомающими канавками для токарных проходных резцов с $\varphi = 60^\circ$ и торцовых фрез	ГОСТ 19063-80 	10111 10131	PNUN PNGN	0386 0387
	ГОСТ 19064-80 	10113 10123 10153	PNUA PNMA PNEA	0388 0389 0390
	ГОСТ 19065-80 	10114 10124	PNUM PNMM	0391 0392
Пластины шестигранной формы с отверстием и стружколомающими канавками для проходных резцов с $\varphi = 45^\circ$ и торцовых фрез	ГОСТ 19067-80 	11113 11133	HNUA HNGA	0394 0395
	ГОСТ 19068-80 	11114	HNUM	0396
	ГОСТ 19069-80 	12111 12131	RNUN RNGN	0397 0398

Продолжение табл. 2.3


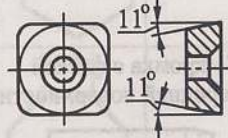






Наименование пластин, назначение	ГОСТ, эскиз пластины	Обозначение пластин по ГОСТ 19042-80		Код серийно-порядкового номера ОКП
		цифровое	буквенное	
Пластины круглой формы с отверстием и стружколомающей канавкой для торцовых фрез и специальных резцов	ГОСТ 19070-80 	12133 12113 12123	RNGA RNUA RNMA	0399 0403 0404
	ГОСТ 19071-80 	12114 12124	RNUM RNMM	0400 0402
Пластины круглой формы с задним углом и стружколомающей канавкой для торцовых фрез и специальных резцов для чистового резания	ГОСТ 19072-80 	12224	RCMM	0401

\*Габаритные размеры пластин приведены в соответствующих ГОСТах.

## 2.4. Основные виды опорных пластин\*

Наименование пластин (ГОСТ)	Эскиз пластины	Обозначение пластин по ГОСТ 19042-80		Код серийно-порядкового номера ОКП
		цифровое	буквенное	
Трехгранной формы (ГОСТ 19073-80) 		701	OTN	0427
Трехгранной формы с задним углом (ГОСТ 19074-80) 		703	OTP	0428
Шестигранной формы с углом 80° (ГОСТ 19075-80) 		711	OWN	0429

Продолжение табл. 2.4

Наименование пластин (ГОСТ)	Эскиз пластины	Обозначение пластин по ГОСТ 19042-80		Код серийно-порядкового номера ОКП
		цифровое	буквенное	
Квадратной формы (ГОСТ 19076-80) 		721	OSN	0430
Квадратной формы с задним углом (ГОСТ 19077-80) 		723	OSP	0431
Ромбической формы с углом 80° (ГОСТ 19078-80) 		731	OCN	0432
В форме параллелограмма с углом 55° (ГОСТ 19079-80) 		741	OKN	0433
Ромбической формы с углом 55° (ГОСТ 24254-80) 		781	ODN	0438
Пятигранной формы (ГОСТ 19080-80) 		751	OPN	0434
Шестигранной формы (ГОСТ 19081-80) 		761	OHN	0435
Круглой формы (ГОСТ 19083-80) 		771	ORN	0437

\* Габаритные размеры опорных пластин приведены в соответствующих ГОСТах.

В соответствии с ГОСТ 19042–80 в ред. 1991 г. (ИСО 1832–85) по форме пластины разделяют на равносторонние и равноугольные (правильный многоугольник и круг) – Н, Q, Р, R, S, Т; равносторонние и неравноугольные (ромб, неправильный шестиугольник) – С, D, E, M, V, W; неравносторонние и равноугольные (прямоугольник) – L; неравносторонние и

неравноугольные (параллелограмм) – А, В, К, F (табл. 2.5). По форме режущей кромки пластины делят на: острые – F ( $r < 0,02$  мм); скругленные – E; с фаской – Т; с фаской и скругленные – S (рис. 2.6). По направлению резания различают три типа пластин (рис. 2.7): R – только правого; L – только левого; N – правого и левого (рис. 2.8).

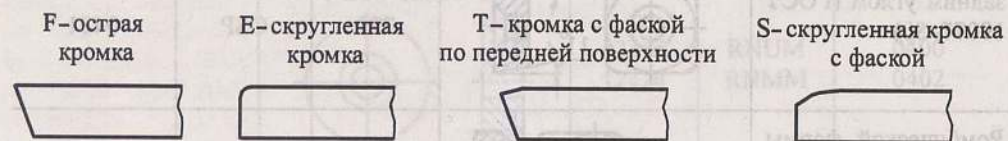


Рис. 2.6. Формы режущих кромок СМП

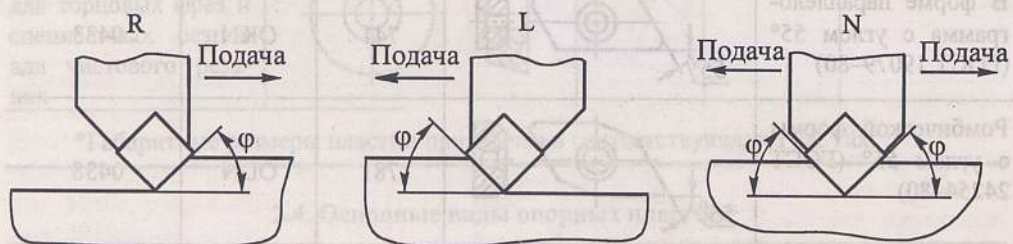
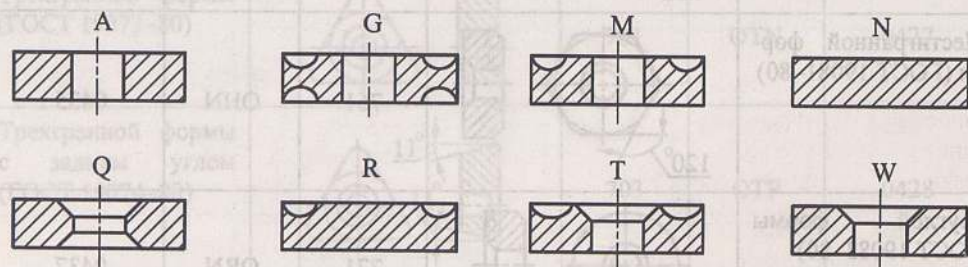


Рис. 2.7. Направления резания



X – специальная конструкция

Рис. 2.8. Конструктивные особенности (исполнение) СМП

## 2.5. Обозначение форм СМП

Группа	Форма	Эскиз	Режущая		Опорная		Стружколом	
			буквенное	цифровое	буквенное	цифровое	буквенное	цифровое
Равносторонние и равноугольные	Шестигранная		Н	11	ОН	76	–	–
	Восьмигранная		О	–	–	–	–	–
	Пятигранная		Р	10	ОР	75	–	–
	Круглая		R	12	OR	77	–	–
	Квадратная		S	03	OS	72	CS	91
	Треугольная		Т	01	ОТ	70	СТ	90
Равносторонние и неравноугольные	Ромбическая с углом при вершине, °:							
	80		С	05	ОС	73	–	–
	55		D	13	ОD	78	–	–
	75		E	–	–	–	–	–
	86		M	–	–	–	–	–
	35		V	–	–	–	–	–

Продолжение табл. 2.5

Группа	Форма	Эскиз	Режущая		Опорная		Стружколом		
			буквенное	цифровое	буквенное	цифровое	буквенное	цифровое	
Равносторонние и неравносторонние	Шестигранная с углом при вершине 80°		W	02	OW	71	-	-	
Неравносторонние и равноугольные	Прямоугольная		L	09	-	-	-	-	
Неравносторонние и неравносторонние	Параллелограммная с углом при вершине*, °		A	-	-	-	-	-	
				B	-	-	-	-	-
				K	08	OK	74	-	-
				F	07	-	-	-	-
				85	-	-	-	-	-
82	-	-	-	-	-				
55	-	-	-	-	-				
84	-	-	-	-	-				

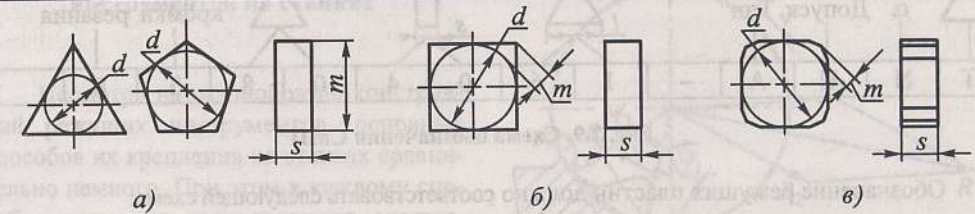
\* Обозначается наименьший угол при вершине.

Пластины классифицируют по размерам: длине режущей кромки; толщине пластины; радиусу при вершине. Длина режущей кромки определяется теоретически без учета закругления вершины. Для круглых пластин указывают их диаметр, для неравносторонних – главную режущую или самую длинную кромку. Если размер выражается одной цифрой, то в старшем разряде ставится ноль. При обозначении радиуса при вершине указывают число десятых долей миллиметра. Для каждой формы пластин установлена длина режущей кромки. Для пластин формы Т установлены следующие размеры (мм): 11; 16,5; 22; 27,5; для пластин формы S: 9,525; 12,7; 15,875 и т. д. Регламентированы: толщина пластин (3,18; 4,76; 6,35; 7,93 мм), радиус при вершине (0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2,4 мм). По ГОСТ 19042–80 установлены пять классов точности изготовления пластин (С, Е, G, М, U). U, М – шлифованные по опорным и передним

поверхностям (пластины со стружколомающими канавками шлифуют только по опорным поверхностям, допускается изготавливать пластины со стружколомающими канавками со шлифованной ленточкой); G, Е, С – шлифованные по опорным, передним и задним поверхностям. Предельные отклонения размеров по классам точности приведены в табл. 2.6 и 2.7.

Обозначения по пп. 1–7 являются обязательными. Буквы, обозначающие форму режущих, опорных и стружколомающих пластин, должны соответствовать указанным в табл. 2.5. Например, треугольная пластина (Т) с нулевым задним углом (N), класса U с отверстием и без стружколомающих канавок (А) с размерами  $l = 16,5$  мм;  $s = 4,76$  мм;  $r = 0,8$  мм, имеющая режущие кромки с фаской (Т), правого направления резания (R) будет обозначаться так: TNUA – 160408TP (рис. 2.9) и т. д.

## 2.6. Предельные отклонения размеров СМП



Размеры СМП: а – многогранных, б – квадратных, в – с фаской

Обозначение класса допусков		Предельные отклонения размеров, мм		
цифровое	буквенное	$m$	$s$	$d$
6	A*	$\pm 0,005^*$	$\pm 0,025$	$\pm 0,025$
-	F*	$\pm 0,005^*$	$\pm 0,025$	$\pm 0,013$
4	C*	$\pm 0,013$	$\pm 0,025$	$\pm 0,025$
-	H	$\pm 0,013$	$\pm 0,025$	$\pm 0,013$
5	E	$\pm 0,025$	$\pm 0,025$	$\pm 0,025$
3	G	$\pm 0,025$	$\pm 0,130$	$\pm 0,025$
-	J*	$\pm 0,005^*$	$\pm 0,025$	$\pm 0,050 \dots \pm 0,150^{**}$
7	K*	$\pm 0,013^*$	$\pm 0,025$	$\pm 0,050 \dots \pm 0,150^{**}$
-	L	$\pm 0,025$	$\pm 0,025$	$\pm 0,050 \dots \pm 0,150^{**}$
2	M	$\pm 0,08 \dots \pm 0,20^{**}$	$\pm 0,130$	$\pm 0,050 \dots \pm 0,150^{**}$
-	N	$\pm 0,008 \dots \pm 0,20^{**}$	$\pm 0,25$	$\pm 0,050 \dots \pm 0,150^{**}$
1	U	$\pm 0,13 \dots \pm 0,38^{**}$	$\pm 0,130$	$\pm 0,080 \dots \pm 0,250^{**}$

\* Классы допусков используются у пластин со шлифованными фасками.

\*\* Предельные отклонения зависят от размеров пластин.

2.7. Предельные отклонения размеров  $m$  и  $d$  СМП форм Н, О, Р, R, S, Т, С, Е, М, W, мм

Диаметр вписанной окружности	Предельные отклонения размеров			
	$T$		$d$	
	при классе допуска			
	М	U	J, K, L, M	U
5,556...9,525	$\pm 0,08$	$\pm 0,13$	$\pm 0,05$	$\pm 0,08$
12,700	$\pm 0,13$	$\pm 0,20$	$\pm 0,08$	$\pm 0,13$
15,875...22,225	$\pm 0,15$	$\pm 0,27$	$\pm 0,10$	$\pm 0,18$
25,400	$\pm 0,18$	$\pm 0,38$	$\pm 0,13$	$\pm 0,25$

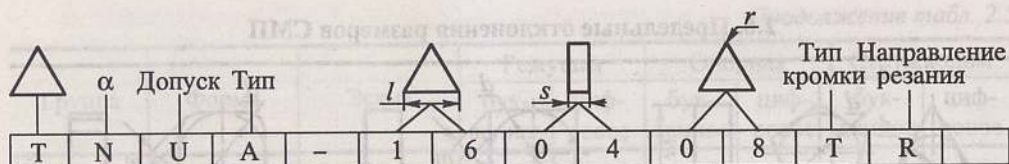


Рис. 2.9. Схема обозначения СМП

Обозначение режущих пластин должно соответствовать следующей схеме:

Цифровое (буквенное) обозначение:	01	1	1	5	-	16	04	08	T	L	-	43
1. Буква (цифра), обозначающая форму пластины (см. табл. 2.5)	T	N	U	G	-	16	04	08	T	L	-	43
2. Буква (цифра), обозначающая задний угол												
3. Буква (цифра), обозначающая класс допуска (см. табл. 2.6, 2.7)												
4. Буква (цифра), обозначающая конструктивные особенности пластин (см. рис. 2.8)												
5. Число, обозначающее размер пластины												
6. Число, обозначающее рабочую толщину пластины, мм												
7. Число, обозначающее радиус при вершине, мм												
8. Буква, обозначающая форму режущей кромки (см. рис. 2.6)												
9. Буква, обозначающая направление резания (см. рис. 2.7)												
10. Особые обозначения изготовителя												

Двузначным кодовым числом, следующим в конце маркировки СМП, могут быть определены особые свойства или назначение пластин: 15 – широкий диапазон по стружколоманию; 21 – для финишной обработки; 31 – для больших подач; 41 – для коррозионно-стойких, кислото-стойких и жаропрочных материалов; 51 – спеченная режущая кромка; 53 – шлифованная режущая кромка для финишной обработки; 61 – спеченная режущая кром-

ка для финишной обработки; 62 – для увеличенных подач, уменьшает силы резания; 71 – спеченная режущая кромка для увеличенных подач; 73 – шлифованная режущая кромка для финишной обработки (уменьшает силы резания).

Опорные пластины обозначают буквой О, стружколомы – буквой С (ОТН – трехгранная опорная пластина без заднего угла; СС – квадратный стружколом).

## 2.4. Способы крепления режущих инструментов на станках

Несмотря на разнообразие конструкций режущих инструментов, основных способов их крепления на станках сравнительно немного. При этом к каждому способу крепления предъявляются следующие требования: высокие надежность и жесткость крепления, простота, удобство и быстрота установки и снятия инструмента со станка.

**Крепление инструментов на оправках.** Насадные инструменты закрепляют (устанавливают) на цилиндрические или конические оправки. Поэтому такие инструменты имеют базовые отверстия цилиндрической или конической формы.

К инструментам с цилиндрическими отверстиями относят насадные фрезы, дисковые шевры, дисковые зуборезные долбяки, накатные ролики, круглые фасонные резцы и зубонарезные гребенки.

К инструментам с коническими отверстиями относят насадные зенкеры, развертки и резцовые головки для конических колес.

ГОСТ 9472–90 устанавливает три способа крепления режущих инструментов:

- на цилиндрической оправке и осевой шпонке (тип 1);
- на цилиндрической оправке и торцовой шпонке (тип 2);
- на конической оправке и торцовой шпонке (тип 3).

Согласно ГОСТ 9472–90 для насадных инструментов применяют стандартный ряд диаметров отверстий от 8 до 100 мм (см. табл. 2.8).

Работа инструмента зависит от диаметра оправки. Например, в процессе фрезерования оправка находится под действием крутящего и изгибающего моментов. Поэтому при выборе диаметра оправки выполняют проверочный расчет на прочность.

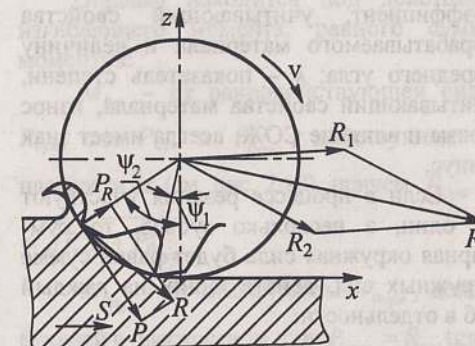


Рис. 2.10. Силы, действующие на зуб фрезы с прямыми зубьями

На зуб прямозубой фрезы действуют окружная сила  $P$ , касательная к траектории движения точки ее приложения и радиальная сила  $P_R$ , направленная по радиусу (рис. 2.10). равнодействующая этих сил  $R$  вызывает изгибающий момент оправки.

Окружная сила  $P$  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 зависит от удельной силы резания  $p$  и площади сечения снимаемой стружки, т.е.

$$P = pf;$$

$$f = Ba_x \sin \psi_x;$$

$$p = Ca_x^k = CS_z^k \sin^k \psi_x;$$

$$p = CBS_z^{k+1} \sin^{k+1} \psi_x,$$

где  $B$  – ширина фрезерования, мм;  $a_x$  – толщина среза, мм;  $S_z$  – подача, мм/зуб;  $\psi_x$  – угол поворота от начального до мгновенного положения зуба (при работе одним зубом он равен углу контакта  $\psi_2$ );  $C$  –

коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала и величину переднего угла;  $k$  – показатель степени, учитывающий свойства материала, износ фрезы и влияние СОЖ; всегда имеет знак минус.

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

$$P_{\text{сум}} = CBS_z^{k+1} \sum_1^{z_i} \left[ \sin^{k+1} \psi_1 + \sin^{k+1} \psi_2 + \dots + \sin^{k+1} \psi_i \right];$$

где  $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_i$  – углы поворота соответствующих зубьев от начала фрезерования.

Зная  $P_{\text{сум}}$ , можно определить суммарный крутящий момент. Аналогично можно определить и изгибающий момент, вызываемый равнодействующей сил  $R$ ,

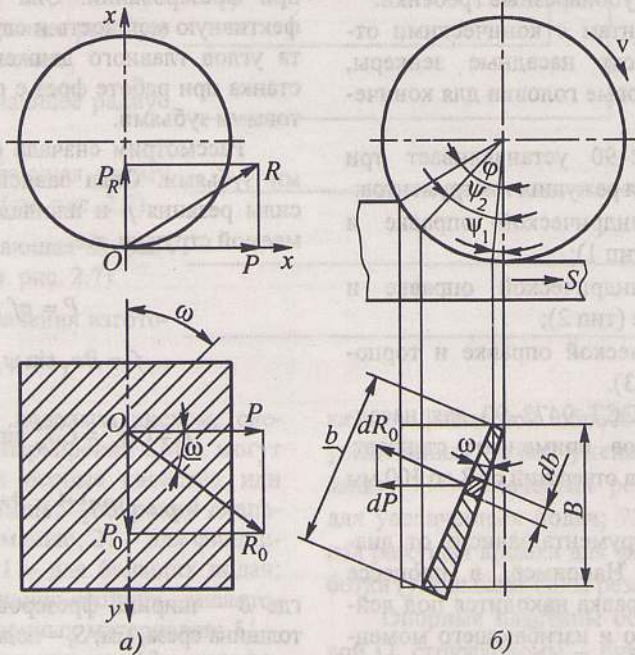


Рис. 2.11. Силы, действующие на зуб фрезы с винтовыми зубьями

приложенных к каждому зубу фрезы:

$$R_1 = \sqrt{P_1^2 + P_{R_1}^2}; R_2 = \sqrt{P_2^2 + P_{R_2}^2} \text{ и т.д.};$$

$$R_i = \sqrt{P_i^2 + P_{R_i}^2} \text{ или } R_{\text{сум}} = \sqrt{P_{\text{сум}}^2 + P_{R_{\text{сум}}}^2}.$$

На основании экспериментальных работ можно принять:

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

Далее 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. 2.11, а). 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  $P_0$  – равнодействующую  $R_0$ , направленную перпендикулярно к режущей кромке.

В связи с тем, что толщина среза  $d_x$  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 площади сечения стружки. Выделим на режущей кромке бесконечно малый участок  $db$ , на котором действует элементарная сила  $dR_0$ , равная  $pd_x db$ . Так как  $dP = dR_0 \cos \omega$  и  $db = \frac{D d\psi}{2 \sin \omega}$  (рис.

2.11, б), можно записать:

$$dP = C_\omega C \frac{D \operatorname{ctg} \omega}{2} S_z^{k+1} \sin^{k+1} \psi d\psi,$$

где  $C_\omega$  – коэффициент, учитывающий влияние угла наклона зубьев.

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

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

Полученный интеграл может быть решен приближенно различными способами. Тогда мгновенная окружная сила  $P_0$ , отнесенная к одному зубу, будет равна:

$$P_0 = C_\omega C \frac{D}{2} \operatorname{ctg} \omega \frac{2^{k+2}}{k+2} S_z^{k+1} \sum_1^{z_i} \left( \sin^{k+1} \frac{\psi_2}{2} - \sin^{k+2} \frac{\psi_1}{2} \right).$$

Коэффициенты  $C_\omega, C$  и показатель степени  $k$  определяют экспериментально.

Зная  $P_{\text{сум}}$ , можно найти  $P_{R_{\text{сум}}} = (0,6 \dots 0,8) P_{\text{сум}}$  и  $P_0 = P_{\text{сум}} \operatorname{tg} \omega$ .

Оправка подвергается сложному изгибу из-за наличия крутящего и изгибающего моментов (как балка, защемленная одним концом):

$$M_d = P_{\text{сум}} \frac{D}{2}.$$

Оправка находится под действием изгибающего момента, равного сумме моментов:

$M_{b_R}$  – от равнодействующей силы  $R_{\text{сум}}$ , сил  $P_{\text{сум}}$  и  $P_{R_{\text{сум}}}$ , действующих в плоскости  $xz$  (см. рис. 2.10), причем  $R_{\text{сум}} = \sqrt{P_{\text{сум}}^2 + P_{R_{\text{сум}}}^2}$ ;

$M_{b_{P_0}}$  – от осевой силы  $P_{0_{\text{сум}}}$ , действующей в плоскости  $xy$ , где  $P_{0_{\text{сум}}} = R_{\text{сум}} \operatorname{tg} \omega$ .

Следовательно,  $M_b = M_{b_R} \pm M_{b_{P_0}}$ , причем знак «плюс» принимается в случае, если осевая сила направлена к шпинделю, а знак «минус» – от шпинделя.

Изгибающий момент от силы  $R$ :

$$M = Rl = (3/16 - 1/4) RL,$$

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

Изгибающий момент от силы  $P_{0_{\text{сум}}} \approx (0,4 \dots 0,6) P_{\text{сум}}$ :

$$M_{b_{P_0}} = P_{0_{\text{сум}}} \frac{D}{2} = P_{\text{сум}} \operatorname{tg} \omega \frac{D}{2}.$$

Расчетный момент, принимаемый по IV теории прочности, равен

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

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

$$d_0 = \sqrt{\frac{M_{\text{расч}}}{0,1 \sigma_b}}.$$

Полученный диаметр оправки округляют в большую сторону.

Передачу крутящего момента осуществляют через продольную (рис. 2.12, а) или торцовую шпонку (рис. 2.12, б, в). Размеры сопрягаемой пары приведены в табл. 2.8.

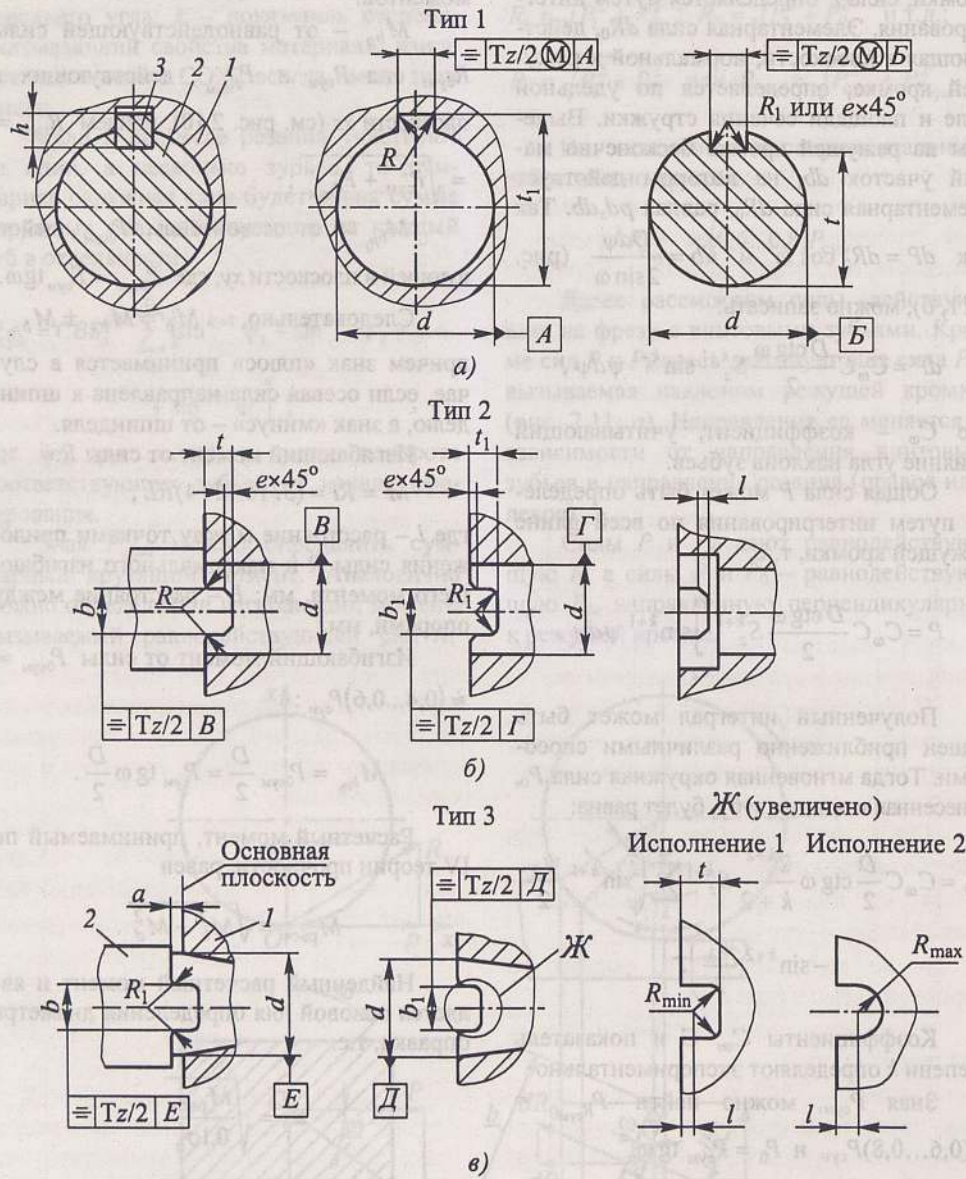


Рис. 2.12. Типы крепления инструментов на оправках:  
1 – инструмент; 2 – оправка; 3 – шпонка

2.8. Основные размеры сопрягаемых элементов инструментов и оправок, мм (см. рис. 2.12)

Размер	Тип 1*																			Тип 2**																										
	d (поля допусков H7 или H6, h6 или h5, кроме типа 3)																																													
	8	10	13	16	19	22	27	32	40	50	60	70	80	100	8	10	12	14	16	18	20	22	25	25	25,5	14,0	16,0	1,12	1,6	2,5	3,0	1,6														
$h$ (h11)	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	25	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	25	25	25,5	14,0 <td>16,0<td>1,12<td>1,6<td>2,5<td>3,0<td>1,6 </td></td></td></td></td></td>	16,0 <td>1,12<td>1,6<td>2,5<td>3,0<td>1,6 </td></td></td></td></td>	1,12 <td>1,6<td>2,5<td>3,0<td>1,6 </td></td></td></td>	1,6 <td>2,5<td>3,0<td>1,6 </td></td></td>	2,5 <td>3,0<td>1,6 </td></td>	3,0 <td>1,6 </td>	1,6											
$t$ , номинальное значение	6,7	8,2	11,2	13,2	15,6	17,6	22,0	27,0	34,5	44,5	54,0	63,0	73,0	91,0	6,7	8,2	11,2	13,2	15,6	17,6	22,0	27,0	34,5	44,5	54,0	63,0	73,0	91,0	6,7	8,2	11,2	13,2	15,6	17,6	22,0	27,0	34,5	44,5	54,0	63,0	73,0	91,0				
$t$ , предельное отклонение			-0,1																																											
$t_1$ (H12)	8,9	11,5	14,6	17,7	21,1	24,1	29,8	34,8	43,5	53,5	64,2	75,0	85,5	107,0	8,9	11,5	14,6	17,7	21,1	24,1	29,8	34,8	43,5	53,5	64,2	75,0	85,5	107,0	8,9	11,5	14,6	17,7	21,1	24,1	29,8	34,8	43,5	53,5	64,2	75,0	85,5	107,0				
$R_{\min}$			0,3	0,4	0,7		0,9			1,1		1,5		2,0			0,3	0,4	0,7		0,9			1,1		1,5		2,0			0,3	0,4	0,7		0,9			1,1		1,5		2,0				
$R_{\max}$			0,4	0,6	1,0		1,2			1,6		2,0		2,5			0,4	0,6	1,0		1,2			1,6		2,0		2,5			0,4	0,6	1,0		1,2			1,6		2,0		2,5				
$R_{1\min}$			0,08			0,16				0,25				0,4			0,08				0,16						0,4			0,08							0,4					0,4				
$R_{1\max}$ ( $e \times 45^\circ$ )			0,16			0,25				0,40				0,6			0,16				0,25						0,6			0,16							0,6					0,6				
$z/2$			0,07				0,09							0,12			0,07				0,09						0,12			0,07							0,12					0,12				
$b$ (h11)	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25													
$b_1$ (H11)	5,4	6,4	8,4	10,4	12,4	14,4	16,4	18,4	20,5	22,5	25,5	5,4	6,4	8,4	10,4	12,4	14,4	16,4	18,4	20,5	22,5	25,5	5,4	6,4	8,4	10,4	12,4	14,4	16,4	18,4	20,5	22,5	25,5													
$t$ (h11)	3,5	4,0	4,5	5,0	5,6	6,3	7,0	8,0	9,0	10,0	11,2	12,5	14,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,6	6,3	7,0	8,0	9,0	10,0	11,2	12,5	14,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,6	6,3	7,0	8,0	9,0	10,0	11,2	12,5	14,0							
$t_1$ (H13)	4,0	4,5	5,0	5,6	6,3	7,0	8,0	9,0	10,0	11,2	12,5	14,0	16,0	4,0	4,5	5,0	5,6	6,3	7,0	8,0	9,0	10,0	11,2	12,5	14,0	16,0	4,0	4,5	5,0	5,6	6,3	7,0	8,0	9,0	10,0	11,2	12,5	14,0	16,0							
$R_{\min}$	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0				
$R_{\max}$	0,4	0,6	0,7	0,9	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	0,4	0,6	0,7	0,9	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	0,4	0,6	0,7	0,9	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0				
$R_{1\min}$	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0				
$R_{1\max}$	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0				
$l_{\min}$	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,2	1,2	1,6	1,6	2,0	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,2	1,2	1,6	1,6	2,0	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,2	1,2	1,6	1,6	2,0				



Продолжение табл. 2.8

Размер	d (поля допусков Н7 или Н6, h6 или h5, кроме типа 3)													
	8	10	13	16	19	22	27	32	40	50	60	70	80	100
$I_{max}$	0,5	0,6	0,8	1,0	1,3	1,5	1,9	2,5	3,2	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0
$z/2$	0,10													
<b>Тип 3</b>														
$a_{min}$	0,08													
$a_{max}$	0,10													
$b$ (h12)	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	25	32
$b_1$ (H13)	3,3	4,3	5,4	6,4	7,4	8,4	10,4	12,4	14,4	16,4	18,4	20,5	25,5	32
$l$ (H13)	3,7	4,8	5,6	7,0	7,6	8,3	9,3	10,0	11,5	12,5	13,5	14,5	15,5	16,0
$l$ (h12)	3,5	4,6	5,6	6,7	7,7	8,8	9,8	11,0	12,0	17,0	14,0	15,0	16,0	16,0
$l_{min}$	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,2	1,5	1,5
$l_{max}$	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	1,0	1,0	1,3	1,3	1,5	1,5	1,5
$R_{min}$	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	1,0	1,2	1,2	1,6	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5
$R_{max}$	1,65	2,15	2,7	3,2	3,7	4,2	5,2	6,2	7,2	8,2	9,2	10,25	12,75	12,75
$R_1$ , не более	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,8	0,8	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2
$z/2$	0,10													

\* Допускается радиус  $R$  заменять фаской, равной  $R_{min} \times 45^\circ$ .

\*\* Допускается радиус  $R_1$  заменять фаской, равной  $R_{1min} \times 45^\circ$ .

Примечания: 1. Допускается вместо поля допуска h5 (для диаметра  $d$ ) применять g5.

2. Предельные отклонения ширины  $b$  должны быть не более С11 – для отверстия, Н9 или Р9, Н9 – для короткой оправки (консольной); Н11 или Р9, Н9 – для длинной оправки (двухопорной) и Н9 или е7 – для шпонки.

3. Допускается изготавливать шпоночный паз по ширине  $b$  с полем допуска В12, по высоте  $t_1$  – с Н14 (для фрез толщиной менее 6 мм).

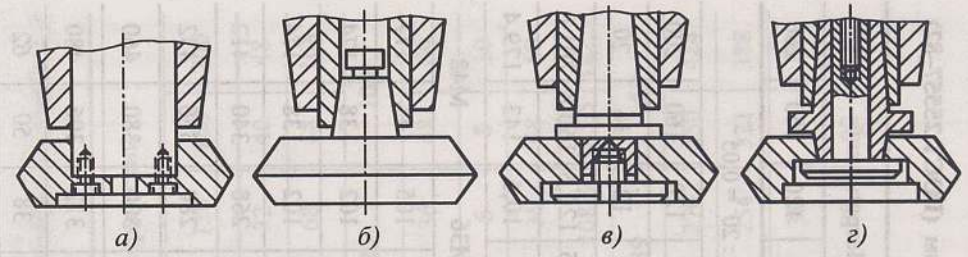


Рис. 2.13. Варианты крепления торцовых фрез на фрезерных станках

Конструкции и основные размеры оправок для насадных фрез разверток и зенкеров приведены в табл. 2.10–2.12.

На рис. 2.13 показаны различные варианты крепления торцовых фрез на фрезерных станках. Посадку фрез осуществляют непосредственно на конец шпинделя станка (рис. 2.13, а, б) или на оправку, вставляемую в шпиндель (рис. 2.13, в, з). Посадочные отверстия выполняют цилиндрическими или коническими (рис. 2.13, б, з).

Концы шпинделей всех типов универсальных, сверлильных, расточных и фрезерных станков, в том числе с ЧПУ, с коническими посадочными поверхностями (кроме шпинделей с цанговым крепле-

нием инструментов) изготавливают в восьми исполнениях по ГОСТ 30064–93.

Исполнения 1–3 – с конусами Морзе и метрическими конусами; исполнение 4 – с внутренним и наружным конусами с конусностью 7:24; исполнения 5–8 – с конусностью 7:24. Концы шпинделей сверлильных станков изготавливают с наружными конусами Морзе В10, В12, В18 по ГОСТ 9953–82.

**Крепление инструментов при помощи конусов.** Большинство концевых инструментов закрепляют в шпинделях станков при помощи хвостовиков, имеющих наружные конусы Морзе и лапки, или с резьбовыми отверстиями (рис. 2.14 и табл. 2.9).

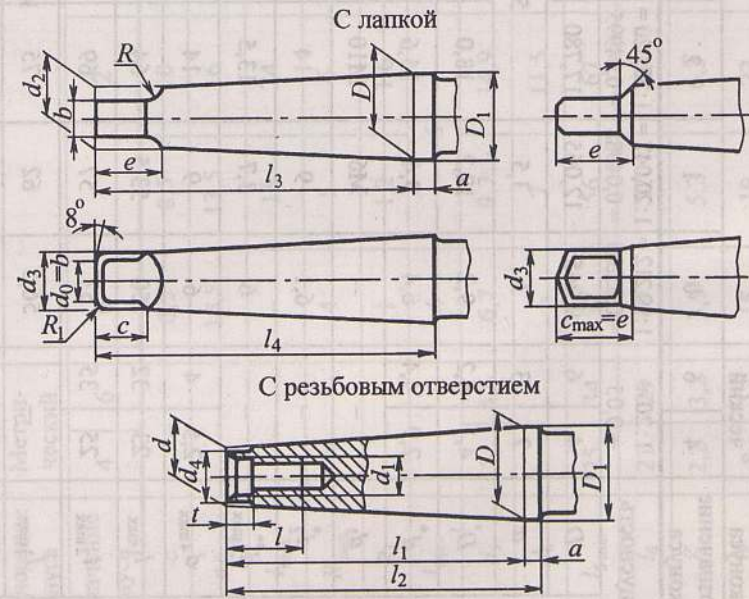


Рис. 2.14. Наружные конусы

2.9. Основные размеры (см. рис. 2.14) наружных инструментальных конусов Морзе и метрических, мм (ГОСТ 25557-82)

Наименование конуса	Метрический		Морзе							Метрический				
	4	6	0	1	2	3	4	5	6	80	100	120	160	200
Обозначение конуса	1:20 = 0,05		1:19,212 = 0,05205	1:20,047 = 0,04988	1:20,020 = 0,04995	1:19,992 = 0,05020	1:19,254 = 0,05194	1:19,002 = 0,05263	1:19,180 = 0,05214	1:20 = 0,05				
Конусность	4	6	9,045	12,065	17,780	23,825	31,267	44,399	63,348	80	100	120	160	200
$D$	4	6	9,045	12,065	17,780	23,825	31,267	44,399	63,348	80	100	120	160	200
$a$	2	3	3,5	5	6,5	8	8	8	8	8	10	12	16	20
$D_1^*$	4,1	6,2	9,2	12,2	18,0	24,1	31,6	44,7	63,8	80,4	100,5	120,6	160,8	201,0
$d^*$	2,9	4,4	6,4	9,4	14,6	19,8	25,9	37,6	53,9	70,2	88,4	10,6	143	179,4
$d_1$	-	-	-	M6	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M48		
$d_2^*$	-	-	6,1	9	14	19,1	25,2	36,5	52,4	69	87	105	141	177
$d_{3max}^{**}$	-	-	6	8,7	13,5	18,5	24,5	35,7	51	67	85	102	138	174
$d_{4max}$	2,5	4	6	9	14	19	25	35,7	51	67	85	102	138	174
$l_{1max}$	23	32	50	53,5	64	81	102,5	129,5	182	196	232	268	340	412
$l_{2max}$	25	35	53	57	69	86	109	136	190	204	242	280	356	432
$l_{3max}$	-	-	56,5	62	75	94	117,5	149,5	210	220	260	300	380	460
$l_{4max}$	-	-	59,5	65,5	80	99	124	156	218	228	270	312	396	480
$b$	-	-	3,9	5,2	6,3	7,9	11,9	15,9	19	26	32	38	50	62

Наружный конус

Продолжение табл. 2.9

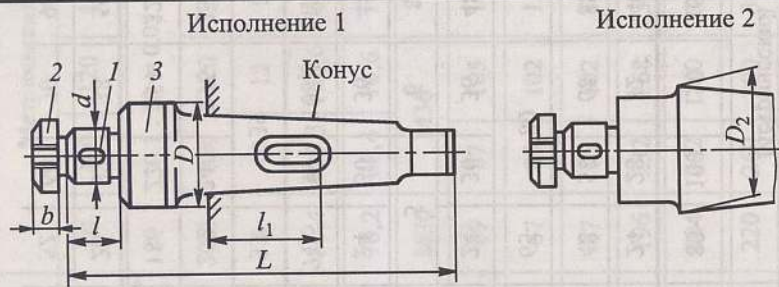
Наименование конуса	Метрический		Морзе							Метрический				
	4	6	0	1	2	3	4	5	6	80	100	120	160	200
Обозначение конуса	4	6	6,5	8,5	10	13	16	19	27	24	28	32	40	48
$c$	-	-	6,5	8,5	10	13	16	19	27	24	28	32	40	48
$e_{max}$	-	-	10,5	13,5	16	20	24	29	40	48	58	68	88	108
$l_{max}$	-	-	-	16	24	28	32	40	50	65	80	100		
$R_{max}$	-	-	4	5	6	7	8	10	13	24	30	36	48	60
$R_1$	-	-	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8	10	
$l_{max}$	-	-	4	5	7	7	9	10	16	24	30	36	48	60
$d_5$	3	4,6	6,7	9,7	14,9	20,2	26,5	38,2	54,6	71,5	90	108,5	145,5	182,5
$d_6$	-	-	-	7	11,5	14	18	23	27	33	39	52		
$l_{5min}$	25	34	52	56	67	84	107	135	188	202	240	276	350	424
$l_6$	21	29	49	52	62	78	98	125	177	186	220	254	321	388
$g$	2,2	3,2	3,9	5,2	6,3	7,9	11,9	15,9	19	26	32	38	50	62
$h$	8	12	15	19	22	27	32	38	47	52	60	70	90	110

Наружный конус

Внутренний конус

\* Размер является теоретическим и зависит от диаметра  $D$  и номинальных размеров  $a$ ,  $l_1$  и  $l_3$ .\*\* Размер может по длине превышать размер  $c$  при условии, что  $c_{max} = e$ .

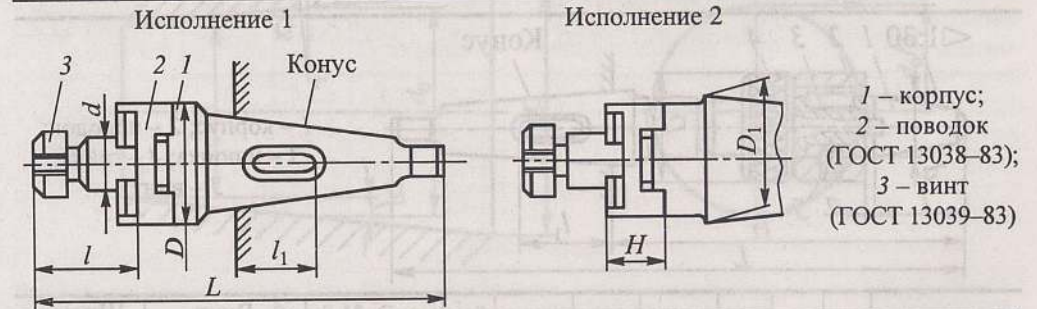
2.10. Основные размеры оправок с продольной шпонкой и коническим хвостовиком с лапкой для торцовых фрез (для расточных станков), мм (ГОСТ 13042–83)



1 – конус; 2 – винт; 3 – шпонка

Исполнение	Обозначение конуса	d	D	L	l	l <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	Шпонка (b × h × l) (ГОСТ 22360–95)	Винт (номинальный диаметр резьбы × высота головки винта b) (ГОСТ 13039–83)
1	Морзе № 4	16	36	160	16	58,5		4×4×10	M8×6
				175	28			4×4×22	
		22	36	160	18			6×6×14	M10×7
				180	36			6×6×32	
		27	40	170	22			7×7×16	M12×8
		190	45	7×7×40					
2	Морзе № 5	16	36	190	16	63,5	44,7	4×4×10	M8×6
				175	18			6×6×14	
		22	36	210	36			6×6×32	M10×7
				200	22			7×7×16	
27	40	220	45	7×7×40	M12×8				
		220	45	7×7×40					
1	Морзе № 5	32	56	210	26	63,5		8×7×20	M16×9
				240	60			8×7×56	
		40	56	210	28			10×8×22	M20×10
				240	60			10×8×56	
2	Морзе № 6	27	40	260	22	57	63,8	7×7×16	M12×8
				280	45			7×7×40	
		32	46	260	26			8×7×20	M16×9
	300			60	8×7×56				
	40	56	270	28	10×8×22			M20×10	
			300	60	10×8×56				
1	Метрический 80	32	46	280	26	64	80,4	8×7×20	M16×9
				310	60			8×7×56	
		40	56	280	28			10×8×22	M20×10
				310	60			10×8×56	

2.11. Основные размеры оправок с торцевой шпонкой и коническим хвостовиком с лапкой для торцовых фрез (для расточных станков), мм (ГОСТ 13041–83)

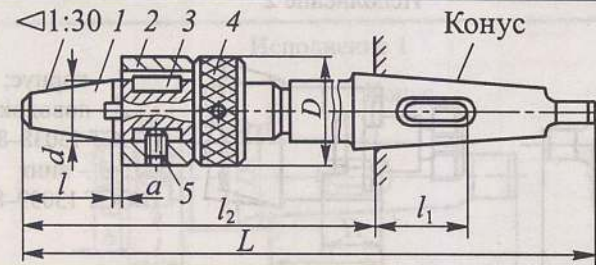


1 – корпус;  
2 – поводок (ГОСТ 13038–83);  
3 – винт (ГОСТ 13039–83)

Исполнение	Обозначение конуса	d	D	L	l	l <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	Поводок (d × H)	Винт (номинальный диаметр × высота головки винта)
1	Морзе № 4	22	40	165	18	58,5		22×18	M10×7
								27×32	
		32	60	190	26			32×36	M16×9
								32×32	
		40	70	200	26			40×36	M20×10
			32	40×30					
2	Морзе № 5	27	50	210	20	63,5		27×22	M12×8
								32×36	
		32	60	225	26			32×32	M16×9
								32×36	
		40	70	235	26			40×36	M20×10
			32	40×30					
50	90	245	28	50×42	M24×10*				
			32	50×38					
2	Морзе № 6	32	60	290	26	57		32×36	M16×9
								32×32	
		40	70	310	26			40×36	M20×10
								40×30	
50	90	310	28	50×42	M24×10*				
							50×38		
2	Метрический 80	32	60	300	26	64		32×36	M16×9*
								32×32	
		40	70	310	26			40×36	M20×10
								40×30	
50	90	320	28	50×42	M24×10*				
							50×38		

\* Для P = 600 Н.

### 2.12. Основные размеры оправок для насадных разверток и зенкеров для сверлильных и расточных станков, мм (ГОСТ 13044-85)



1 – корпус; 2 – поводок;  
3 – шпонка; 4 – гайка;  
5 – винт

Обозначение конуса	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>l</i>	<i>l</i> <sub>1</sub>	<i>l</i> <sub>2</sub>	<i>a</i>	Гайка	Винт (ГОСТ 1477-93)	Шпонка (ГОСТ 22360-95)		
Морзе № 3	13	23	250	28,40	55,5	156,0	1,6	M16×1,5	M6×8.56.05	3×3×10		
	16	28	280	30,45	(55)	186,0		M20×1,5		4×4×12		
Морзе № 4	19	34	300	34,50	58,5	182,5	2,0	M22×1,5	M8×12.56.05	5×5×14		
	22	38	320	38,58		202,5		M27×1,5		6×6×16		
	27	45	350	56,65		232,5		M30×1,5*		7×7×16		
Морзе № 5	32	55	380	60,75	63,5	230,5	2,5	M36×1,5*	M8×14.56.05	8×7×20		
	40	65	400	65,85		250,5		M45×1,5*		10×8×22		
	50	80	400	65,95		250,5		M56×2*		12×8×32		
Морзе № 6	50	80	450	65,95	57	240,9	2,5	M56×2*	M8×14.56.05	12×8×32		
	60	90		75,00				(85)		3,2	M64×2*	14×9×36
Метрический 80	50	80	450	65,95	64	230,0	2,5	M56×2*	M8×14.56.05	12×8×32		
	60	90		75,00				(100)		3,2	M64×2*	14×9×36
	80	120		100,0				3,2		M85×2*	M8×20.56.05	18×11×50

\* Гайки, изготовленные по ГОСТ 13040-67.

Примечание. В скобках даны размеры для станков, выпущенных до 1974 г.

Конус служит для передачи крутящего момента от шпинделя станка к инструменту. Передача осуществляется в результате трения контактирующих поверхностей, возникающего в процессе резания под действием осевой силы. Крутящий момент должен передаваться только конусом без участия лапки, которая служит только для выталкивания инструмента посредством клина. Это требование особенно важно для спиральных сверл, работающих в более тяжелых условиях, чем зенкеры и развертки.

Осевую силу  $Q$  можно разложить на

две составляющие силы:  $P$  – перпендикулярную к поверхности конуса и  $F$  – перпендикулярную к оси сверла (рис. 2.15):

$$P = \frac{Q}{\sin \alpha}$$

Крутящий момент можно рассчитать по формуле:

$$M = \mu P \frac{d_0}{2} = \mu \frac{Q}{\sin \alpha} \frac{D+d}{4},$$

где  $D$  и  $d$  – максимальный и минимальный диаметры рабочей части конуса, мм;  $\mu$  –

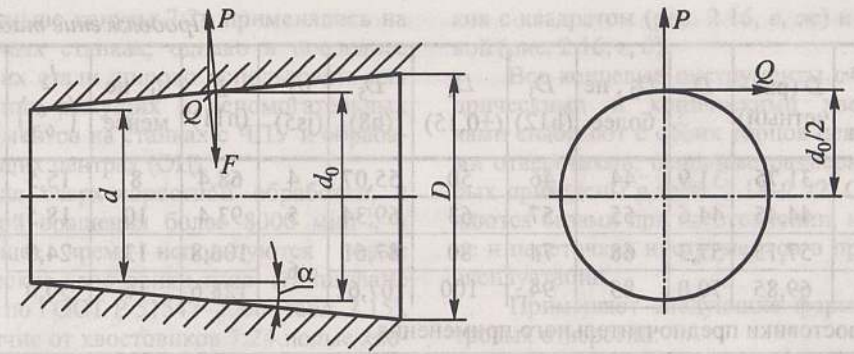


Рис. 2.15. Силы, действующие на конус сверла

коэффициент трения (0,096);  $Q$  – осевая сила, Н;  $\mu P$  – сила трения, Н.

Эта формула справедлива при условии, что угол  $\alpha$  точно выдержан на обеих сопрягаемых поверхностях, т. е. на поверхностях отверстия в шпинделе станка и на хвостовике сверла.

Тогда крутящий момент можно рассчитать по формуле:

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

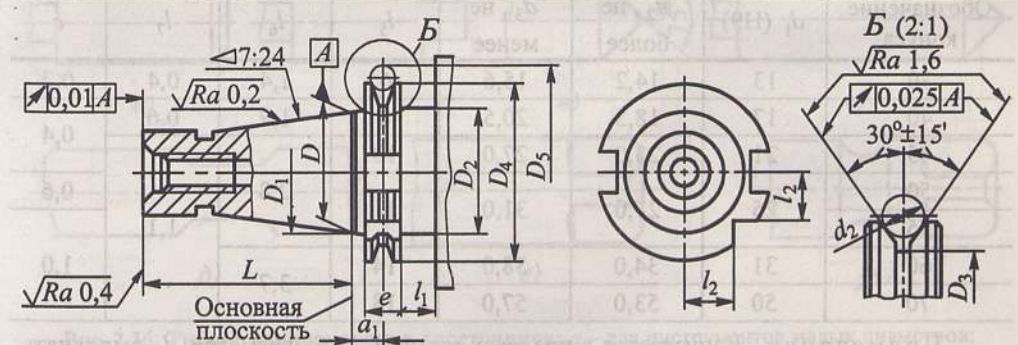
где  $\Delta\alpha$  – погрешность угла  $\alpha$ ,  $\Delta\alpha = 0 \dots 10'$ .

У спиральных сверл наблюдается определенная зависимость между крутя-

щим моментом и осевой силой, которая постоянна для каждого обрабатываемого материала. Так, например, для стали с  $\sigma_b = 300 \dots 1100$  Н/мм<sup>2</sup> отношение  $M/Q = (0,038 \dots 0,025) d$ ; для чугуна средней твердости  $M/Q = 0,034 d$ , где  $d$  – диаметр сверла. При расчете необходимо принимать максимальное значение  $M/Q$ .

Широкое применение у быстросменных инструментов нашли хвостовики с конусностью 7:24 (табл. 2.13). Они обеспечивают хорошее центрирование, но не являются самотормозящими, как конус Морзе. Поэтому для передачи крутящего момента на торцах таких хвостовиков предусмотрены шпоночные пазы.

### 2.13. Основные размеры хвостовиков инструментов с конусом 7:24 для станков с ЧПУ, мм (ГОСТ 25827-93)



Продолжение табл. 2.13

Обозначение конуса	$D$ (расчетный)	$D_1$	$D_2$ , не более	$D_3$ (h12)	$D_4$ ( $\pm 0,15$ )	$D_5$ (h8)	$d_2$ (js5)	$L$ (h11)	$l_1$ , не менее	$l_2$ ( $\begin{matrix} 0 \\ -0,3 \end{matrix}$ )	$a_1$ ( $\pm 0,1$ )
30	31,75	31,9	44	46	50	55,07	4	68,4	8	15,5	5,6
40*	44,45	44,6	55	57	63	69,34	5	93,4	10	18,5	6,6
45	57,15	57,3	68	74	80	87,61	6	106,8	13	24,0	9,2
50*	69,85	70,0	85	94	100	107,61		128,6	16	30,0	

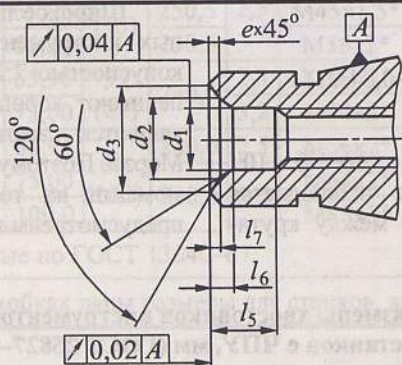
\* Хвостовики предпочтительного применения.

Примечания: 1. Размеры  $D_2$  и  $l_1$  определяют свободное пространство для захвата инструмента манипулятором.

2. Допуск  $\pm 0,1$  мм размера  $a_1$  относится к номинальному размеру  $D$ , который является расчетным.

3. Неуказанные размеры соответствуют размерам концов оправок сверлильных, расточных и фрезерных станков. Размеры и форма центрального отверстия приведены в табл. 2.14.

#### 2.14. Основные размеры и форма центральных отверстий конусов с конусностью 7:24, мм



Обозначение конуса	$d_1$ (H9)	$d_2$ , не более	$d_3$ , не менее	$l_5$	$l_6$	$l_7$	$e$
30	13	14,2	15,6	6	1,4	0,4	0,2
40	17	18,5	20,5	8	1,9	0,6	0,4
45	21	23,0	27,0	10	2,8	1,1	0,6
50	25	27,0	31,0	11			1,0
55					1,1		
60	31	34,0	38,0	14	3,7	1,0	
70	50	53,0	57,0	18			

Примечание. Допускается в пределах размера  $l_5$  на диаметре  $d_1$  выполнять канавки для выхода шлифовального круга.

Раньше конусы 7:24 применялись на фрезерных станках, однако в последнее время их стали широко использовать для крепления режущих и вспомогательных инструментов на станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах (ОЦ).

Для сверхскоростной обработки, с частотой вращения более  $8000 \text{ мин}^{-1}$ , в настоящее время используются полые конические хвостовики типа (Hohlschaft Kegel) по ГОСТ Р 51547–2000 (табл. 2.15). В отличие от хвостовиков 7:24 полые хвостовики имеют значительно меньшие габариты и массу, а крепление в них инструментов осуществляется по посадке с натягом (H7/p6, H7/n6). Действие таких патронов основано на том, что при нагреве в специальных устройствах посадочное отверстие патрона увеличивается в диаметре и хвостовик закрепляемого инструмента вставляется в расширенное отверстие. После охлаждения патрона до комнатной температуры диаметр посадочного отверстия возвращается к исходному размеру и, тем самым, обеспечиваются большие усилия зажима.

**Крепление режущих инструментов при помощи цилиндрических хвостовиков.** Наряду с коническими хвостовиками широко используются цилиндрические хвостовики, которые применяются без дополнительных крепежных элементов или в сочетании с ними (рис. 2.16).

В табл. 2.16 и 2.17 приведены основные размеры цилиндрических хвостови-

ков с квадратом (рис. 2.16, е, ж) и с лыской (рис. 2.16, з, д).

Все концевые инструменты с цилиндрическими и коническими хвостовиками снабжают с обоих торцов центровыми отверстиями, основные размеры которых приведены в табл. 2.18–2.22. Они являются базами при изготовлении, контроле и переточках инструментов в процессе эксплуатации.

Применяют следующие формы центральных отверстий:

– форма А – когда после обработки необходимость в центральных отверстиях отпадает и их сохранность в процессе эксплуатации гарантируется соответствующей термической обработкой;

– форма В – когда центральные отверстия являются базой для многократного использования или сохраняются в готовых изделиях;

– форма Т – в оправках и калибрах-пробках;

– форма С – в крупных валах (то же, что и форма А);

– форма Е – в крупных валах (то же, что и форма В);

– форма R – при необходимости достижения повышенной точности обработки;

– формы F и H – для монтажных работ, транспортирования, хранения и термообработки деталей в вертикальном положении;

– форма P – для различных конусов инструментов.

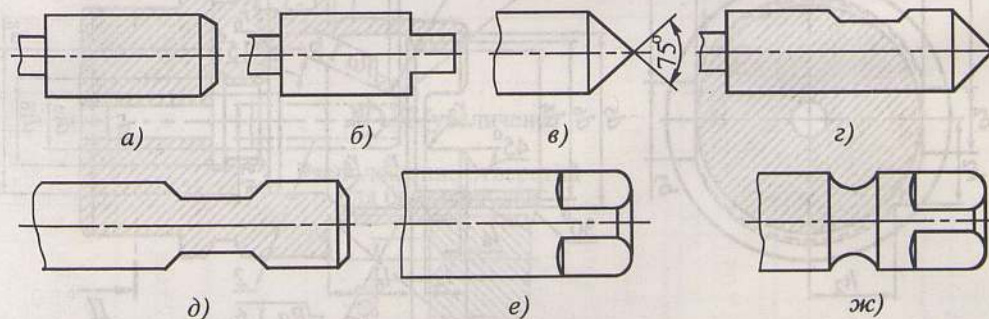
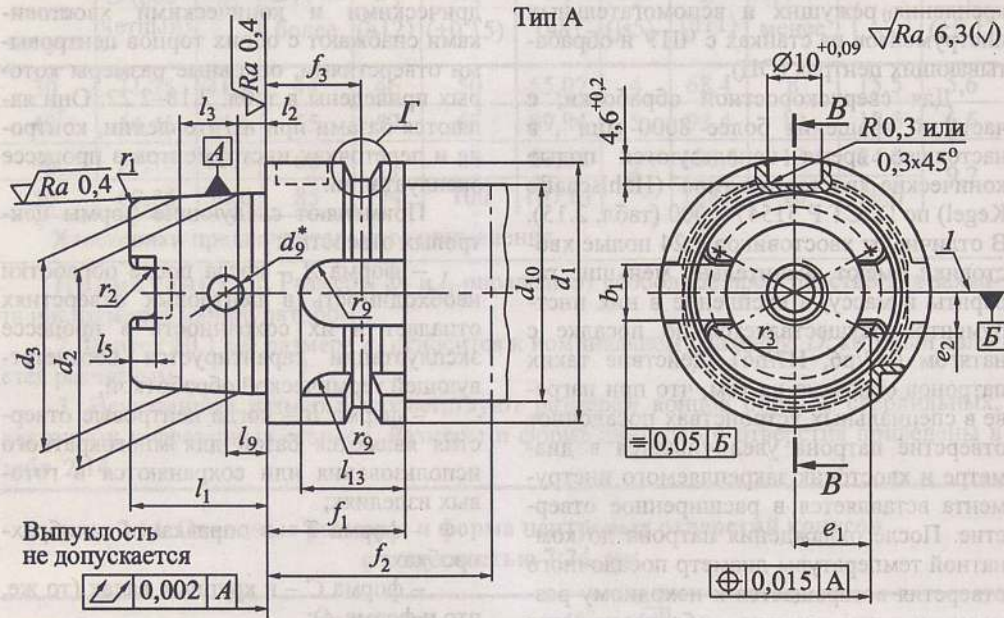


Рис. 2.16. Типы цилиндрических хвостовиков: а – для инструментов малых диаметров; б – с поводком в виде двух лысок; в – цилиндрический с наружным центром с углом  $75^\circ$ ; г, д – с лысками; е – с квадратом; ж – с квадратом и кольцевой выточкой

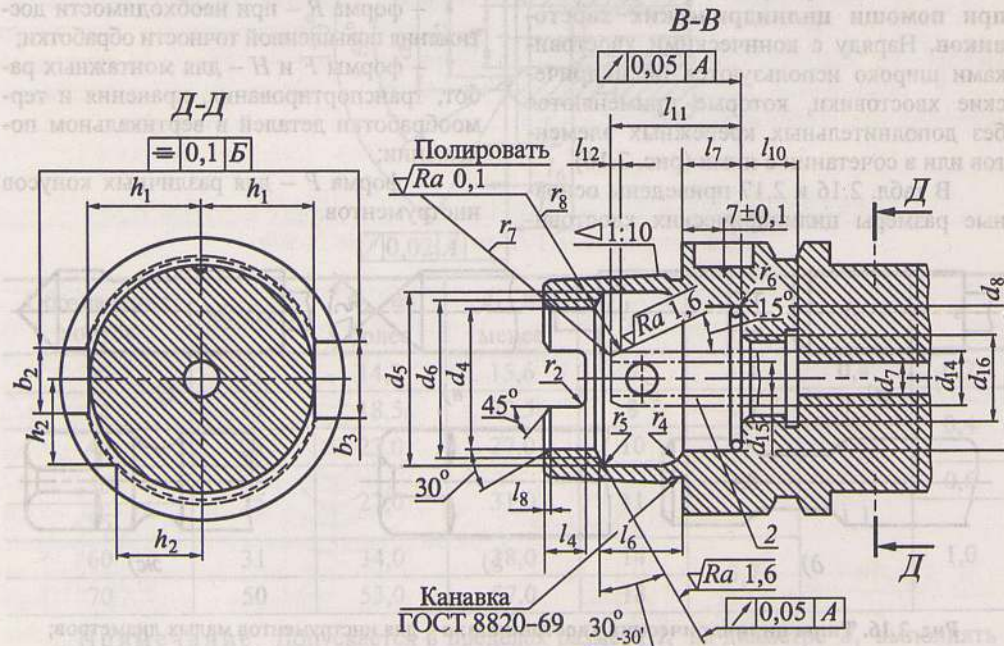
2.15. Хвостовики инструментов полые конические типа HSK (ГОСТ Р 51547-2000)

Размеры, мм



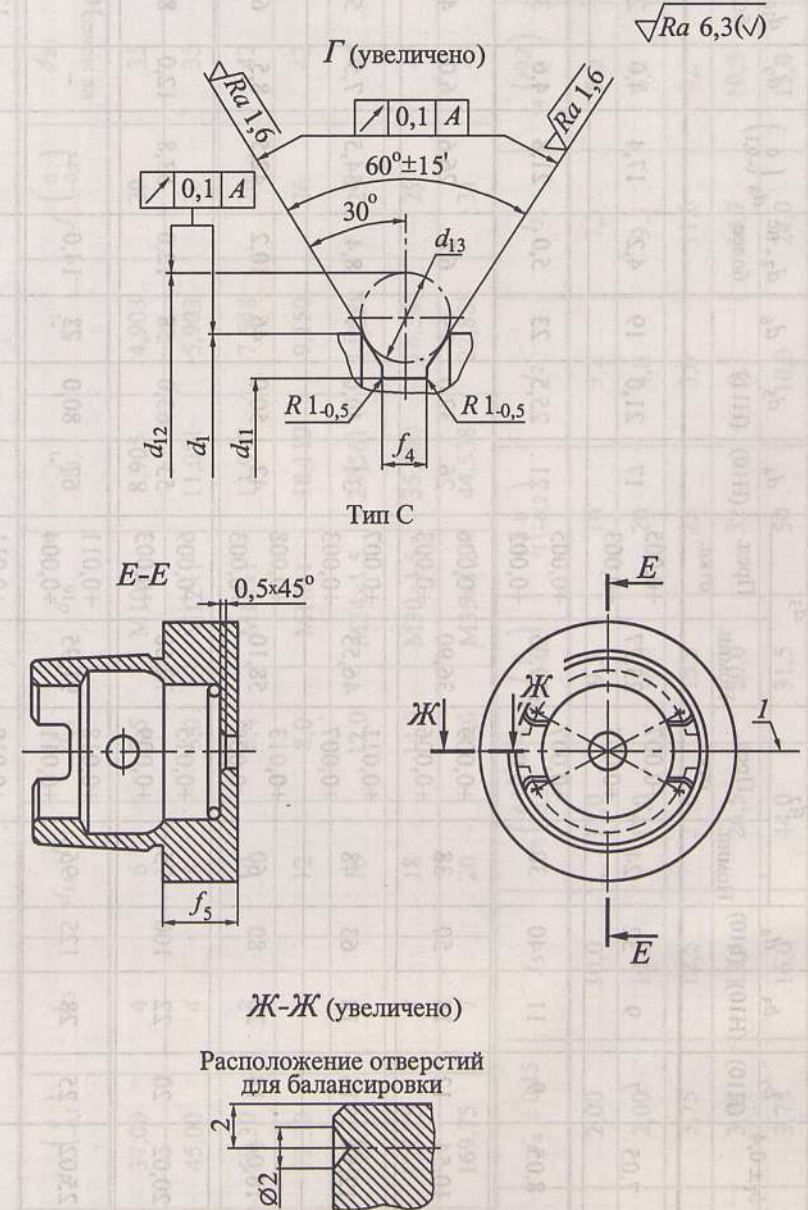
\* Наружная фаска не менее 0,5x45°.

*l* - плоскость расположения вершины режущей кромки инструмента.



2 - допуск на угловое смещение отверстий для подвода СОЖ ±1°.

Продолжение табл. 2.15



Остальные размеры и параметры см. тип А

Продолжение табл. 2.15

Основные размеры	$b_1 \pm 0,4$	$b_2$ (Н10)	$b_3$ (Н10)	$d_4$ (h10)	$d_2$		$d_3$		$d_4$ (Н10)	$d_5$ (Н11)	$d_6$	$d_7$ , не более	$d_8$ $\begin{pmatrix} 0 \\ -0,1 \end{pmatrix}$	$d_9$	$d_{10}$ , не более	$d_{11}$ $\begin{pmatrix} 0 \\ -0,1 \end{pmatrix}$
					Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.								
32	7,05	7	9	32	24	+0,007 +0,005	23,27 +0,003	17	21,0	19	4,2	17,4	4,0	26	26,5	
40	8,05	9	11	40	30	+0,007 +0,005	29,05 +0,003	21	25,5	23	5,0	21,8	4,6	34	34,8	
50	10,54	12	14	50	38	+0,009 +0,006	36,90 +0,003	26	32,0	29	6,8	26,6	6,0	42	43,0	
63	12,54	16	18	63	48	+0,011 +0,007	46,53 +0,003	34	40,0	37	8,4	34,5	7,5	53	55,0	
80	16,04	18	20	80	60	+0,013 +0,008	58,10 +0,003	42	50,0	46	10,2	42,5	8,5	67	70,0	
100	20,02	20	22	100	75	+0,015 +0,009	72,60 +0,003	53	63,0	58	12,0	53,8	12,0	85	92,0	
125	25,02	25	28	125	95	+0,018 +0,011	91,95 +0,004	67	80,0	73	14,0	—	—	105	117,0	
160	30,02	32	36	120	120	+0,018 +0,011	116,00 +0,004	85	100,0	92	16,0	—	—	130	152,0	

Продолжение табл. 2.15

Основные размеры	$f_4 \pm 0,15$	$f_5$	$h_1$ $\begin{pmatrix} 0 \\ -0,2 \end{pmatrix}$	$h_2$ $\begin{pmatrix} 0 \\ -0,3 \end{pmatrix}$	$d_{16}$	$e_1^*$	$e_2^*$	$f_1$ $\begin{pmatrix} 0 \\ -0,1 \end{pmatrix}$	$f_2$ , не менее	$f_3 \pm 0,1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$ $\begin{pmatrix} +0,2 \\ 0 \end{pmatrix}$	$l_5$ $\begin{pmatrix} +0,2 \\ 0 \end{pmatrix}$				
															$d_{12}$ $\begin{pmatrix} 0 \\ -0,1 \end{pmatrix}$	$d_{13}$	$d_{14}$ (R)	$d_{15}$
32	37,00	4	6	3,5	M10×1	8,905	4,903	20	35	16	3,2	7,3	5,0	3,0				
40	45,00	4	8	5,0	M12×1	11,081	5,903	20	35	16	4,0	9,5	6,0	3,5				
50	59,30	7	10	6,4	M16×1	13,997	7,648	26	42	18	5,0	11,0	7,5	4,5				
63	72,30	7	12	8,0	M18×1	18,110	9,150	26	42	18	6,3	14,7	10,0	6,0				
100	109,75	7	16	12,0	M24×1,5	27,561	14,888	29	45	20	10,0	24,0	15,0	10,0				
125	134,75	7	18	14,0	M30×1,5	35,580	18,388	29	45	20	12,5	30,5	19,0	12,0				
160	169,75	7	20	16,0	M35×1,5	44,538	22,888	31	47	22	16,0	40,0	23,0	16,0				

Продолжение табл. 2.15

Основные размеры	$l_6$ (js10)	$l_7$ $\begin{pmatrix} 0 \\ -0,1 \end{pmatrix}$	$l_8$ $\begin{pmatrix} +0,3 \\ 0 \end{pmatrix}$	$l_9$ $\pm 0,1$	$l_{10}$ $\begin{pmatrix} 0 \\ -0,3 \end{pmatrix}$	$l_{11}$	$l_{12}$	$l_{13}$	$r_1$	Уплотнительное кольцо <sup>2</sup>
32	8,92	8,0	0,8	5,0	6	20,0	2,5	12	0,6	18,77×1,78
40	11,42	8,0	0,8	6,0	8	21,5	2,5	12	0,8	18,77×1,78
50	14,13	10,0	1,0	7,5	10	23,0	3,0	19	1,0	21,89×2,62
63	18,13	10,0	1,0	9,0	12	24,5	3,0	21	1,2	29,82×2,62
80	22,85	12,5	1,5	12,0	14	26,0	3,0	22	1,6	36,09×3,53
100	28,56	12,5	1,5	15,0	16	28,0	3,0	24	2,0	47,6×3,53
125	36,27	16,0	2,0	—	18	30,0	3,5	24	2,5	—
160	45,98	16,0	2,0	—	20	32,0	3,5	24	3,2	—

<sup>1</sup> Расчетные значения координат для размеров  $r_3$  и  $b_1$ .

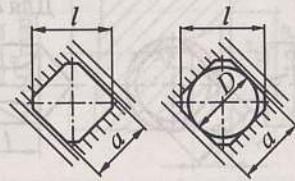
<sup>2</sup> Необходимое количество колец в поставке зависит от используемых систем и в комплект поставки не входит.

Примечания: 1. Хвостовики инструментов следует изготавливать двух типов: А — для автоматической смены инструмента; С — для ручной смены инструмента.

2. Допускается изготовление хвостовиков баз отверстия для подвода СОЖ.

3. Неуказанные радиусы закруглений 0,2 мм.

## 2.16. Основные размеры цилиндрических хвостовиков с квадратом и квадратным отверстием для инструментов, мм (ГОСТ 9523-84)



$a$ D11	$l$ , не менее	$D$ , не более	$a$ D11	$l$ , не менее	$D$ , не более
0,90	1,24	—	9,0	11,91	—
1,00	1,38	—	10,0	13,31	—
1,12	1,56	—	11,2	15,11	—
1,25	1,76	—	12,5	17,11	—
1,40	1,96	—	14,0	19,13	—
1,60	2,18	—	16,0	21,33	—
1,80	2,42	—	18,0	23,73	—
2,00	2,71	—	20,0	26,63	21,25
2,24	3,06	—	22,4	30,13	23,5
2,50	3,42	—	25,0	33,66	26,5
2,80	3,82	—	28,0	37,66	30,0
3,15	4,32	—	31,5	42,66	33,5
3,55	4,82	—	35,5	47,66	37,5
4,0	5,37	—	40,0	53,19	42,5
4,5	6,07	—	45,0	60,19	47,5
5,0	6,79	—	50,0	67,19	53,0
5,6	7,59	—	56,0	75,19	60,0
6,3	8,59	—	63,0	85,22	67,0
7,1	9,59	—	71,0	85,22	75,0
8,0	10,71	—	80,0	106,22	85,0



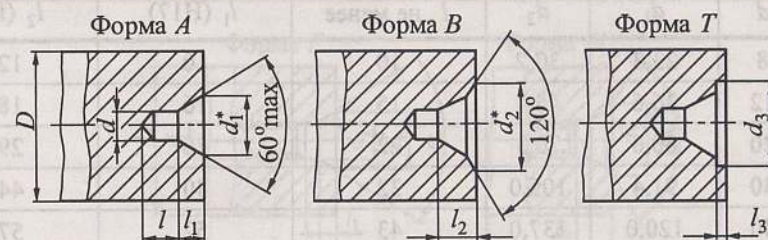
### 2.17. Основные размеры цилиндрических хвостовиков, мм (ГОСТ 9523-84)



Диаметр хвостовика $d^*$		Предпочтительный диаметр	Квадрат		Диаметр хвостовика $d^*$		Предпочтительный диаметр	Квадрат	
св.	до		$a$	$l$	св.	до		$a$	$l$
1,06	1,18	1,12	0,90	4	10,60	11,80	11,20	9,00	12
1,18	1,32	1,25	1,00		11,80	13,20	12,50	10,00	13
1,32	1,50	1,40	1,12		13,20	15,00	14,00	11,20	14
1,50	1,70	1,60	1,25		15,00	17,00	16,00	12,50	16
1,70	1,90	1,80	1,40		17,00	19,00	18,00	14,00	18
1,90	2,12	2,00	1,60		19,00	21,20	20,00	16,00	20
2,12	2,36	2,24	1,80		21,20	23,60	22,40	18,00	22
2,36	2,65	2,50	2,00		23,60	26,50	25,00	20,00	24
2,65	3,00	2,80	2,24		26,50	30,00	28,00	22,40	26
3,00	3,35	3,15	2,50		5	30,00	33,50	31,50	25,00
3,35	3,75	3,55	2,80	33,50		37,50	35,50	28,00	31
3,75	4,25	4,00	3,15	6	37,50	42,50	40,00	31,50	34
4,25	4,75	4,50	3,55		42,50	47,50	45,00	35,50	38
4,75	5,30	5,00	4,00	7	47,50	53,00	50,00	40,00	42
5,30	6,00	5,60	4,50		53,00	60,00	56,00	45,00	46
6,00	6,70	6,30	5,00	8	60,00	67,00	63,00	50,00	51
6,70	7,50	7,10	5,60		67,00	75,00	71,00	56,00	56
7,50	8,50	8,00	6,30	9	75,00	85,00	80,00	63,00	62
8,50	9,50	9,00	7,10	10	85,00	95,00	90,00	71,00	68
9,50	10,60	10,00	8,00	11	95,00	106,00	100,00	80,00	75

\* Из числа возможных диаметров в определенном интервале выбирается значение, ближайшее к значению предпочтительного диаметра хвостовика.

### 2.18. Размеры центровых отверстий с углом конуса $60^\circ$ , мм

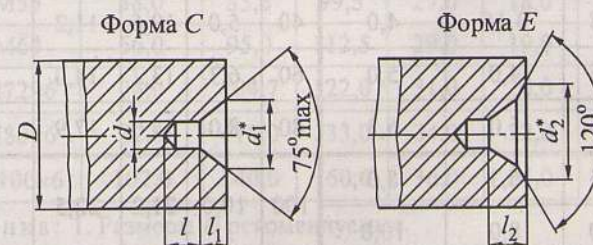


\* Размеры для справок.

$D$	$d$	$d_1$	$d_2$	$d_3$ (H14)	$l$ , не менее	$l_1$ (H12)	$l_2$ (H12)	$l_3$ , не менее
4	1,0	2,12	3,15	—	1,3	0,97	1,27	—
5	1,25	2,65	4,0	—	1,6	1,21	1,60	—
6	1,6	3,35	5,0	—	2,0	1,52	1,99	—
10	2,0	4,25	6,3	7	2,5	1,95	2,54	0,6
14	2,5	5,3	8,0	9	3,1	2,42	3,2	0,8
20	3,15	6,7	10,0	12	3,9	3,07	4,03	0,9
30	4,0	8,5	12,5	16	5,0	3,9	5,06	1,2
40	5,0	10,6	16,0	20	6,3	4,85	6,41	1,6
60	6,3	13,2	18,0	25	8,0	5,98	7,36	1,8
80	8,0	17,0	22,4	32	10,1	7,79	9,35	2,0
100	10,0	21,2	28,0	36	12,8	9,7	11,66	2,5
120	12,0	25,4	33,0	—	14,6	11,6	13,8	—
160	16,0	33,9	42,5	—	19,2	15,5	18,0	—
240	20,0	42,4	51,6	—	25,0	19,4	22,0	—
360	25	53,0	63,3	—	32,0	24,0	27,0	—

Примечание. Размеры  $D$  рекомендуемые.

### 2.19. Размеры центровых отверстий с углом конуса $75^\circ$ , мм



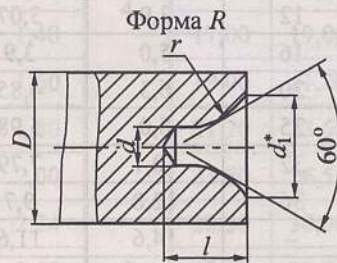
\* Размеры для справок.

Продолжение табл. 2.19

$D$	$d$	$d_1$	$d_2$	$l$ , не менее	$l_1$ (H17)	$l_2$ (H17)
120	8	23,3	30,2	10	10	12,0
180	12	36,6	45,4	15	16	18,5
260	20	60,0	70,3	22	26	29,0
360	30	91,4	105,0	32	40	44,0
500	40	120,0	137,0	43	52	57,0
800	50	150,0	170,0	52	65	71,0
1200	63	186,0	213,7	65	80	88,0

Примечание. Размеры  $D$  рекомендуемые.

## 2.20. Размеры центровых отверстий с дугообразной образующей, мм

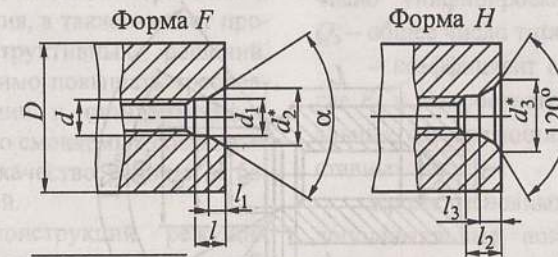


\* Размер для справок.

$D$	$d$	$d_1$	$l$ , не менее	$r$		$D$	$d$	$d_1$	$l$ , не менее	$r$	
				наименьший	наибольший					наименьший	наибольший
4	1,0	2,12	2,3	2,5	3,15	30	4,0	8,5	8,9	10,0	12,5
5	1,25	2,65	2,8	3,15	4,0	40	5,0	10,6	11,2	12,5	16,0
6	1,6	3,35	3,5	4,0	5,0	60	6,3	13,2	14,0	16,0	20,0
10	2,0	4,25	4,4	5,0	6,3	80	8,0	17,0	17,9	20,0	25,0
14	2,5	5,3	5,5	6,3	8,0	100	10,0	21,2	22,5	25,0	31,5
20	3,15	6,7	7,0	8,0	10,0						

Примечание. Размеры  $D$  рекомендуемые.

## 2.21. Размеры центровых отверстий с метрической резьбой, мм

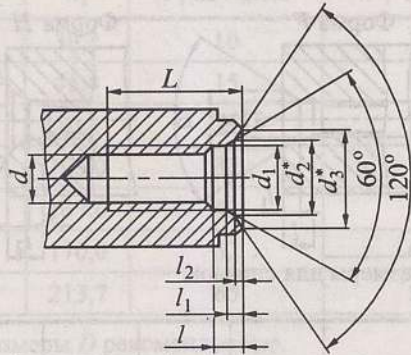


\* Размеры для справок.

$D$ для формы	$d$	$d_1$ (H14)	$d_2$	$d_3$	$l$ , не более	$l_1$ (H12)	$l_2$ , не более	$l_3$ (H12)	$\alpha$ , °
8	—	M3	3,2	5,0	—	2,8	4,56	—	—
10	16	M4	4,3	6,5	8,2	3,5	1,9	4,0	2,4
12,5	20	M5	5,3	8,0	11,4	4,5	2,3	5,5	3,3
16	25	M6	6,4	10,0	13,3	5,5	3,0	6,5	4,0
20	32	M8	8,4	12,5	16,0	7,0	3,5	8,0	4,5
25	40	M10	11,0	15,6	19,8	9,0	4,0	10,2	5,2
32	50	M12	13,0	18,0	22,0	10,0	4,3	11,2	5,5
40	63	M16	17,0	22,8	28,7	11,0	5,0	12,5	6,5
63	80	M20	21,0	28,0	33,0	12,5	6,0	14,0	7,5
100	100	M24	25,0	36,0	43,0	14,0	9,5	16,0	11,5
160	160	M30	31,0	44,8	51,8	18,0	12,0	20,0	14,0
250	250	M36	37,5	53,0	60,0	20,0	13,5	22,0	15,5
400	400	M42	43,5	59,7	70,5	22,0	14,0	25,0	17,0
630	630	M48	49,5	74,0	88,0	24,0	16,0	28,0	20,0
900	900	M56	58,0	85,6	99,5	27,0	18,0	31,0	22,0
Св.1200		M64	66,0	95,0	112,5	29,0	19,0	34,0	24,0
		M72×6	74,0	104,7	122,0	31,0	20,0	36,0	25,0
		M80×6	82,0	115,0	133,0	34,0	22,0	39,0	27,0
		M100×6	102,0	140,0	160,0	36,0	24,0	42,0	30,0

Примечания: 1. Размеры  $D$  рекомендуемые.2. Формы  $F$  и  $H$  не применять для режущего инструмента с коническими хвостовиками и конусностью 1:10, 1:7, 7:24, конусами метрическими и Морзе.

## 2.22. Размеры центровых отверстий с метрической резьбой формы P, мм



\* Размеры для справок.

Обозначение конуса		ГОСТ 9953-82	ГОСТ 7343-72	d	d <sub>1</sub> (H14)	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	L, не менее	l	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub> , не менее
Метрический	Морзе										
80	1	B12	-	M6	6,4	8,0	8,5	16,0	3,5	1,53	-
	2	B18		M10	10,5	12,5	13,2	24,0	4,5	1,9	-
	3	B24		M12	13,0	15,0	17,0	28	6,0	2,3	0,6
	4	B32		M16	17,0	20,0	22,0	32	8,0	3,2	-
	5	B45	80	M20	21,0	26,0	30,0	40	10,0	5,5	1,1
	6		90	M24	25,0	31,0	36,0	50	11,0	6,0	1,4
100	-	-	100	M30	31,0	38,0	45,0	65	14,0	8,0	2,0
			120								
			140								
100	-	-	160	M36	37,0	45,0	52,0	80	15,0	9,0	2,0
120			200								
160	-	-	-	M48	50,0	60,0	68,0	100	18,0	11,0	2,3
200											

## 2.5. Анализ и отработка конструкций режущих инструментов на технологичность

Отработка на технологичность ставит задачу снижения трудоемкости изготовления инструмента и стоимости его эксплуатации. Это достигается за счет конструктивных решений, соответствующих современным требованиям, облегчающих изготовление и эксплуатацию

инструмента, обеспечивающих снижение массы и стоимости применяемых материалов, повышение серийности при изготовлении, применение высокопроизводительных малоотходных и безотходных техпроцессов и эффективной технологической оснастки, повышение надежности и ремонтпригодности инструмента при эксплуатации.

Снижение стоимости применяемых инструментальных материалов достигает-

ся за счет выбора рациональных сортов материалов и марок материалов, способов получения заготовок, методов обработки и режимов упрочнения, а также за счет прогрессивных конструктивных решений. При этом необходимо повышать требования по унификации и стандартизации, ограничивать число сменяемых составных частей, улучшать качество рабочих и базовых поверхностей.

Отработку конструкций режущих инструментов на технологичность необходимо производить на стадии проектирования, изготовления и эксплуатации, что позволяет достигать наибольшей эффективности. При этом отработку рекомендуется производить совместно с разработчиками конструкторской и технологической документации, предприятиями-изготовителями и представителями заказчика.

ГОСТ 14.201-83 предусматривает 11 основных показателей оценки технологичности конструкций изделий (инструментов):

- трудоемкость изготовления -  $T_n$  (мин, ч);

- удельная материалоемкость  $K_{ум} = M/P$ , где  $M$  - масса инструмента,  $P$  - номинальное значение выбранного основного технического параметра, например, период стойкости, силы резания и др.;

- технологическая себестоимость  $C_t$  (руб);

- средняя оперативная трудоемкость, стоимость и продолжительность технического обслуживания (ремонта) соответственно:  $T_o$  (мин),  $C_o$  (руб) и  $T_{то}$  (мин, ч);

- удельная трудоемкость изготовления  $K_{ут} = T_n/P$ ;

- трудоемкость монтажа (сборки) инструмента -  $T_m$  (мин, ч);

- коэффициент применяемости материала -  $K_{пм} = M_i/M$ , где  $M_i$  - масса применяемого материала (для составных или сборных инструментов это масса инструментальных или других материалов). Для цельных инструментов  $K_{пм} = 1$ ;

- коэффициент унификации конструктивных элементов  $K_{уэ} = Q_{уэ}/Q_э$ , где  $Q_{уэ}$  - число унифицированных типоразмеров,  $Q_э$  - общее число типоразмеров;

- коэффициент сборности  $K_c = E_c/E$ , где  $E_c$  и  $E$  - соответственно число специальных составляющих и общее число составных частей.

Кроме основных применяют также дополнительные показатели, характеризующие работу инструмента и регламентируемые техническими документами или требованиями заказчика. К ним относятся:

- период стойкости инструмента -  $T$  (мин, ч);

- допустимое среднее количество переточек -  $K_n$ ;

- общий срок службы инструмента  $T_o = T(K_n + 1)$  (мин, ч);

- производительность обработки заданной детали или группы деталей -  $Q$  (шт/ч) и др.

При оценке технологичности можно применять также и другие эксплуатационные показатели инструментов (например, расходуемая мощность при резании, прочность конструкции, точность обработки, долговечность, наработка на отказ и др.).

Общее количество всех показателей должно быть минимальным, но достаточным для объективной оценки и анализа технологичности новой и базовой конструкций.

Анализ конструкций рекомендуется производить в три этапа:

1 этап (стадия проектирования) - отработка на технологичность по 4-7 наиболее важным выбранным показателям ( $K_{ум}$ ,  $K_{пм}$ ,  $K_{уэ}$  и др.) и создание новой более технологичной конструкции инструмента;

2 этап (после разработки техпроцесса изготовления инструмента новой кон-

струкции) – расчет 2–4 дополнительных показателей технологичности конструкции ( $T_n$ ,  $K_{yt}$ ,  $C_T$  и др.), которые добавляются к показателям, используемым на 1 этапе;

3 этап (процесс эксплуатации инструмента) – уточнение ряда показателей (например,  $T$ ,  $K_n$ ,  $Q$  и др.), которые могут изменяться как в положительную, так и в отрицательную сторону по сравнению с этими же показателями на 1 и 2 этапах.

На 1–3 этапах по выбранным показателям производят расчет комплексных показателей новой конструкции инструмента и сравнивают их с базовой конструкцией. По этим данным делают вывод о технологичности новой конструкции инструмента и ее преимуществах по сравнению с существующим или базовым инструментами.

Оценку технологичности конструкций рекомендуется производить с помощью следующих средневзвешенных комплексных показателей:

геометрического

$$V_p = \prod_i P_i^{\delta_i}, \quad (2.1)$$

арифметического

$$U_p = \sum_i P_i \delta_i, \quad (2.2)$$

где  $m$  – число принятых показателей;  $P_i$  – относительный показатель,  $\delta_i$  – параметр весомости показателей ( $\sum \delta_i = 1$  и  $\delta_i > 0$ ).

Величина  $P_i \neq 0$ , поэтому расчет комплексного показателя рекомендуется производить по более простой формуле (2.2). В этой формуле величина  $P_i$  равна отношению  $\frac{P_{6i}}{P_{ni}}$  или  $\frac{P_{ni}}{P_{6i}}$ , где  $P_{6i}$  и  $P_{ni}$  – соответственно показатели базовой и новой конструкции инструментов.

Применение того или другого отношения зависит от назначения и свойств показателя. Если величина  $P_i > 1$ , то считается, что конструкция имеет лучшую

технологичность по данному единичному показателю по сравнению с базовой конструкцией, а при  $P_i < 1$  – считается, что показатель выше у базовой конструкции. Например, если у базовой конструкции спирального сверла период стойкости  $T_6 = 60$  мин, масса  $M_6 = 50$  г, а у новой конструкции сверла соответственно  $T_n = 55$  мин,  $M_n = 48$  г (за счет изменения формы канавки при той же длине и конструктивных размерах), то в этом случае относительные показатели:

$$P_1 = \frac{T_n}{T_6} = \frac{55}{60} \approx 0,92 \quad \text{и}$$

$$P_2 = \frac{M_6}{M_n} = \frac{50}{48} = 1,04.$$

Следовательно, новая конструкция спирального сверла по сравнению с базовой имеет относительный показатель по периоду стойкости хуже, так как  $P_1 < 1$ , а по массе лучше, т.к.  $P_2 > 1$ . Поэтому в новую конструкцию рекомендуется внести ряд конструктивных или технологических изменений, чтобы повысить период стойкости сверла ( $T_n > T_6$ ) и получить  $P_1 > 1$ . Это можно достигнуть за счет применения вместо быстрорежущей стали марки Р6М5 быстрорежущей стали повышенной производительности марки Р6М5К5 или за счет применения новой технологической операции – нанесения на рабочие поверхности инструмента износостойкого покрытия, что приведет к повышению стойкости сверла.

Следует отметить, что необходимо обоснованно назначать величину параметров весомости  $\delta_i$  для выбранных единичных показателей. В этом случае комплексный показатель будет состоятельным и объективным.

На практике используют следующие методы определения величин  $\delta_i$ :

– метод предельных и номинальных значений – применяют в случаях, когда известны предельные значения единичных показателей;

– метод стоимостных регрессионных зависимостей – основан на определении зависимостей между затратами на создание, эксплуатацию продукции и единичными показателями ее качества;

– экспертный метод – основан на определении величины  $\delta_i$  по результатам значений, предлагаемых группой экспертов, состоящих из высококвалифицированных специалистов равной степени компетентности. Экспертов должно быть не менее семи, а решение принимается, если за него подано не менее 2/3 голосов. При этом обсуждение и определение величины  $\delta_i$  можно проводить в два-три тура. Этот метод носит субъективный характер, но прост в реализации и поэтому часто применяется в технике.

Следует отметить, что значения  $\delta_i$  для выбранных единичных показателей на всех этапах обработки конструкции режущего инструмента на технологичность изменяются, т.к. общее количество единичных показателей обычно увеличивается. Например, если на 1 этапе оценки было выбрано 5 единичных показателей, на 2 этапе – 6, а на 3 этапе – 8 показателей, то явно видно увеличение числа единичных показателей. При этом на всех этапах сумма  $\delta_i$  должна равняться единице, что требует изменения и перераспределения принятых ранее величин  $\delta_i$ . Кроме этого, значения  $\delta_i$  зависят от выбранных приоритетов единичных показателей на этих этапах, которые могут также изменяться в большую или меньшую сторону.

По расчетному значению величины  $U_p$  делается вывод о технологичности новой конструкции по сравнению с базовой. При этом у базовой конструкции  $U_6 = 1$ , а для новой конструкции инструмента величину  $U_n$  рассчитывают по выбранным единичным показателям с учетом принятых значений параметров весомости.

Если  $U_n < 1$ , то базовая конструкция инструмента лучше новой. Если  $U_n > 1$ , то

новая конструкция лучше базовой. Например, если  $U_n = 1,3$ , то это значит, что у новой конструкции технологичность на 30% лучше базовой и она обладает рядом преимуществ перед базовой по технологическим, эксплуатационным и конструктивным параметрам.

Отработку на технологичность рекомендуется выполнять конструктору и технологу при усовершенствовании, модернизации и создании нового инструмента и технологии его изготовления.

Под усовершенствованием понимают изменения конструкции инструмента, повышающие эффективность его производства без существенного улучшения основных свойств инструмента. При этом единичные относительные показатели ( $P_i$ ) улучшаются не более чем в 1,2 раза, а комплексные показатели – не более чем в 1,1 раза.

Под модернизацией инструмента по сравнению с базовым понимают улучшение его основных свойств путем ограниченного изменения исходных параметров инструмента. При этом величины одного из  $P_i$  изменяются не более чем в 1,1...1,5 раза, а комплексный показатель улучшается не менее чем в 1,15 раза.

Под новой конструкцией инструмента понимается инструмент, имеющий существенные изменения основных свойств и работоспособности, а его технический уровень соответствует мировому. При этом основные единичные относительные показатели повышаются не менее чем в 1,3...2 раза, а комплексные показатели увеличиваются не менее чем в 1,3 и более раз.

При отработке конструкции режущего инструмента на технологичность рекомендуется использовать САПР с применением математических моделей и диалогового режима, что позволит значительно повысить качество, сократить время отработки и найти оптимальную конструкцию режущего инструмента.

## 2.6. Конкурентоспособность режущих инструментов

В условиях рыночной экономики и жесткой конкуренции недостаточно спроектировать и поставить на рынок какую-либо конструкцию режущего инструмента. Чтобы выдержать конкуренцию, спроектированная конструкция инструмента должна обладать набором свойств, уровень показателей которых наилучшим образом соответствует требованиям потребителя с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.

Под конкурентоспособностью режущих инструментов следует понимать способность инструментов отвечать требованиям рынка в рассматриваемый период времени. Т. е. конкурентоспособность – это характеристика инструмента, отражающая его отличия от конструкции-конкурента как по степени соответствия потребностям покупателя, так и по затратам на ее удовлетворение.

Таким образом, при проектировании необходимо разработать (выбрать) вариант конструкции инструмента, обладающий определенными параметрами качества, совпадающими с параметрами потребности покупателя (потребителя).

Оценку конкурентоспособности, например, сборных режущих инструментов следует выполнять в последовательности, указанной на рис. 2.17.

На первом этапе производится сбор данных и маркетинговое изучение рынка с целью выявления прогрессивных конструктивных решений в области проектирования режущих инструментов, соответствующих запросам покупателя (потребителя).

На втором этапе производится выделение и анализ группы факторов, которые являются определяющими в формировании спроса на продукцию. Для проведения объективного анализа поставщик

(проектировщик) должен оперировать теми же показателями, что и покупатель (потребитель).

Любая конструкция сборного режущего инструмента может быть оценена по совокупности следующих основных параметров качества:

1) назначение – характеризует основные свойства инструмента, определяющие его основные функции;

2) надежность – определяет стабильность качества режущего инструмента вследствие сохранения высоких показателей назначения в течение заданного времени;

3) эргономичность – объединяет физиологические, антропометрические, гигиенические и психологические показатели;

4) эстетичность – определяет показатели информационной выразительности, рациональности формы, целостности компоновки;

5) технологичность – характеризует свойства конструкции, обуславливающие оптимальное распределение затрат материалов, средств, труда и времени при технологической подготовке производства, изготовлении и эксплуатации режущего инструмента;

6) унификация – отражает насыщенность конструкции инструмента стандартными и оригинальными составными элементами, а также уровень унификации с другими составляющими технологической системы;

7) патентно-правовой – характеризует патентную чистоту режущего инструмента;

8) экологичность – определяет уровень вредного воздействия на окружающую среду;

9) безопасность – характеризует уровень безопасности для человека при эксплуатации режущего инструмента;

10) экономичность – отражает затраты на производство и эксплуатацию режущего инструмента, выраженные системой частных критериев оптимальности и соответствующих им целевых функций.

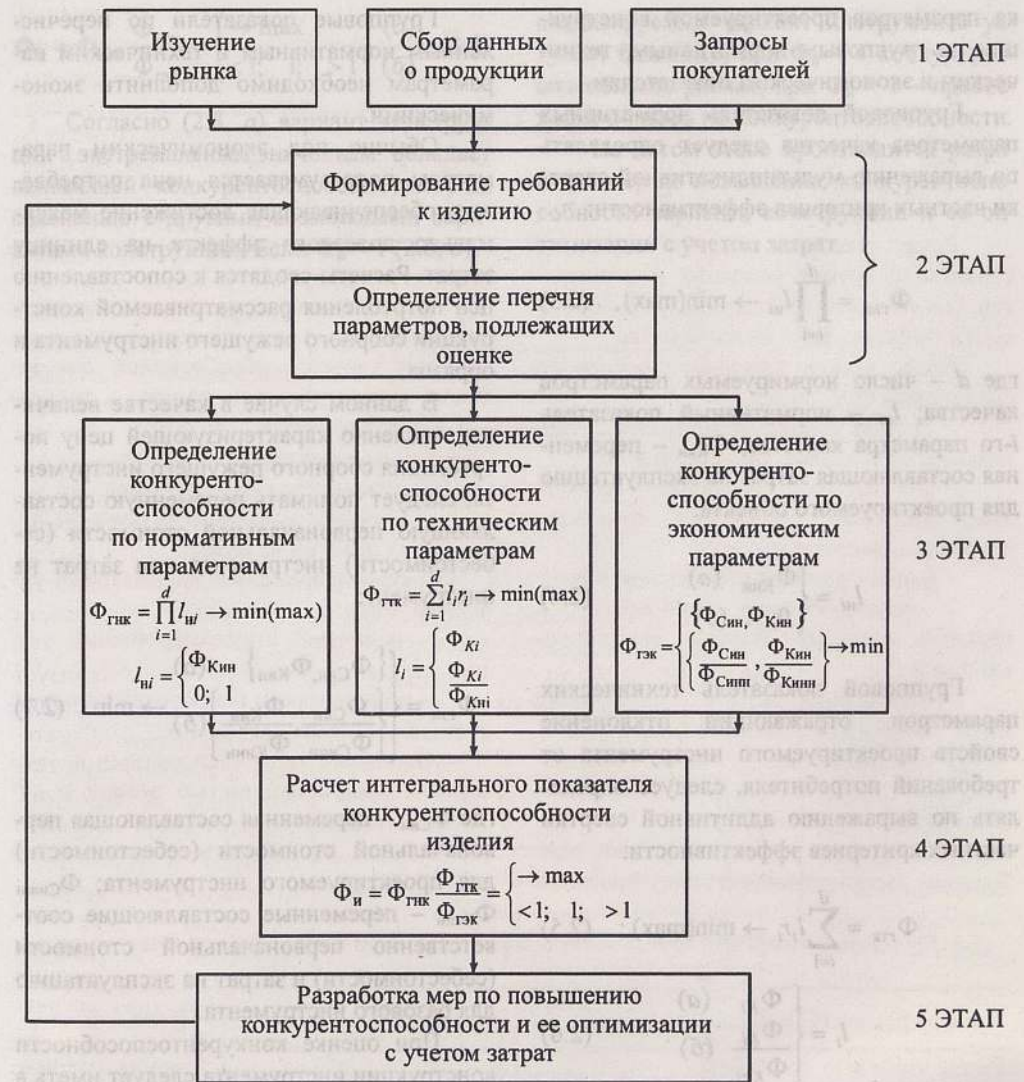


Рис. 2.17. Последовательность оценки конкурентоспособности сборных режущих инструментов

При оценке конкурентоспособности инструмента вначале необходимо определить допустимые границы целевых функций частных параметров качества. Затем необходимо принять в качестве базовой какую-либо работоспособную конструкцию режущего инструмента, параметры

качества которой находятся в установленных пределах. В качестве базовой может быть принят любой вариант проектируемой конструкции сборного режущего инструмента, имеющий соответствующие значения показателей качества.

На третьем этапе производится оцен-

\* Автор параграфа С.В. Лукина.

ка параметров проектируемой конструкции по групповым нормативным, техническим и экономическим показателям.

Групповой показатель нормативных параметров качества следует определять по выражению мультипликативной свертки частных критериев эффективности:

$$\Phi_{\text{ГНК}} = \prod_{i=1}^d l_{ni} \rightarrow \min(\max), \quad (2.3)$$

где  $d$  – число нормируемых параметров качества;  $l_{ni}$  – нормативный показатель  $i$ -го параметра качества,  $\Phi_{\text{Кин}}$  – переменная составляющая затрат на эксплуатацию для проектируемого объекта:

$$l_{ni} = \begin{cases} \Phi_{\text{Кин}} & (a) \\ 0; 1 & (б) \end{cases} \quad (2.4)$$

Групповой показатель технических параметров, отражающий отклонение свойств проектируемого инструмента от требований потребителя, следует определять по выражению аддитивной свертки частных критериев эффективности:

$$\Phi_{\text{ГТК}} = \sum_{i=1}^d l_i r_i \rightarrow \min(\max); \quad (2.5)$$

$$l_i = \begin{cases} \Phi_{Ki} & (a) \\ \Phi_{Ки} & (б) \end{cases} \quad (2.6)$$

где  $l_i$  – единичный параметрический показатель по  $i$ -му параметру качества;  $\Phi_{Ki}$  – значение целевой функции  $i$ -го частного параметра качества проектируемого инструмента;  $\Phi_{Ки}$  – значение целевой функции  $i$ -го частного параметра качества базовой конструкции инструмента, при использовании которой потребность производства удовлетворяется полностью;  $r_i$  – масса  $i$ -го параметра качества (весовой коэффициент) в общем наборе параметров.

Групповые показатели по перечисленным нормативным и техническим параметрам необходимо дополнить экономическими.

Обычно под экономическим параметром подразумевается цена потребления, обеспечивающая достижение максимально полезного эффекта на единицу затрат. Расчеты сводятся к сопоставлению цен потребления рассматриваемой конструкции сборного режущего инструмента и образца.

В данном случае в качестве величины, численно характеризующей цену потребления сборного режущего инструмента, следует понимать переменную составляющую первоначальной стоимости (себестоимости) инструмента или затрат на инструмент:

$$\Phi_{\text{ГЭК}} = \begin{cases} \{\Phi_{\text{Син}}, \Phi_{\text{Кин}}\} & (a) \\ \left\{ \frac{\Phi_{\text{Син}}}{\Phi_{\text{Синн}}}, \frac{\Phi_{\text{Кин}}}{\Phi_{\text{Кинн}}} \right\} & (б) \end{cases} \rightarrow \min, \quad (2.7)$$

где  $\Phi_{\text{Син}}$  – переменная составляющая первоначальной стоимости (себестоимости) для проектируемого инструмента;  $\Phi_{\text{Синн}}$ ,  $\Phi_{\text{Кинн}}$  – переменные составляющие соответственно первоначальной стоимости (себестоимости) и затрат на эксплуатацию для базового инструмента.

При оценке конкурентоспособности конструкции инструмента следует иметь в виду, что если хотя бы один из параметров инструмента не соответствует установленным стандартам и нормам, то конструкция считается неконкурентоспособной и остальные параметры не рассматриваются.

На четвертом этапе производится обобщенная оценка конструкций по интегральному показателю конкурентоспособности, являющемуся мультипликативной сверткой частных критериев эффективности:

$$\Phi_{\text{и}} = \Phi_{\text{ГНК}} \frac{\Phi_{\text{ГТК}}}{\Phi_{\text{ГЭК}}} = \begin{cases} \rightarrow \max & (a) \\ < 1; 1; > 1 & (б) \end{cases} \quad (2.8)$$

Согласно (2.8, а) вариант конструкции с экстремальным значением обладает наивысшей конкурентоспособностью по сравнению с другими возможными вариантами конструкции. Если  $\Phi_{\text{и}} < 1$  (2.8, б),

анализируемый вариант инструмента уступает базовому; при  $\Phi_{\text{и}} = 1$  конкурентоспособность равная; при  $\Phi_{\text{и}} > 1$  – превосходит образец по конкурентоспособности.

На пятом этапе производится разработка мер по повышению конкурентоспособности варианта конструкции и ее оптимизации с учетом затрат.

Продолжение табл. 3.1

## Глава 3

## РЕЗЦЫ

Резцы относятся к наиболее распространенной группе режущих инструментов. Они отличаются большим многообразием как по форме, так и по назначению.

Резцы можно классифицировать по следующим признакам:

- группа станка – токарные, строгальные, долбежные, расточные и др.;
- вид выполняемых работ – проходные, подрезные, прорезные, отрезные, резьбовые, расточные и т. д.;
- форма – призматические и круглые;
- конструктивное исполнение – цельные, напайные, сборные, комбинированные и т. д.;
- направление подачи – радиальные и тангенциальные, правые и левые;
- материал режущей части – быстрорежущие, твердосплавные, минералокерамические, алмазные и др.

Радиальные резцы получили наибольшее распространение ввиду простоты

их крепления и выбора геометрических параметров режущих частей.

Тангенциальные резцы применяют в основном там, где необходимо получить высокое качество обработанной поверхности, и используют на токарных автоматах и полуавтоматах.

Резцы характеризуются:

- материалом режущей части;
- формой, размерами и положением режущих пластин на резце;
- геометрическими параметрами режущей части;
- наличием стружкодробящих устройств;
- прочностью и виброустойчивостью державки и режущих кромок.

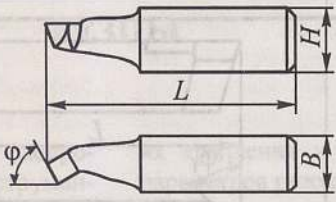
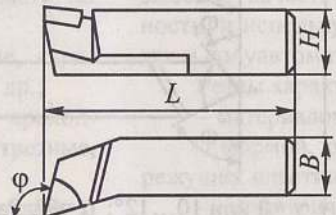
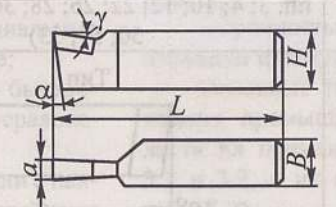
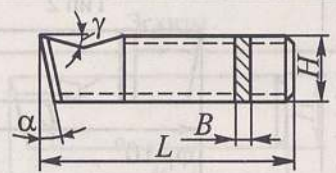
Основные типы стандартных выпускаемых промышленностью резцов и области их применения приведены в табл. 3.1 и 3.2, а их габаритные размеры – в табл. 3.3.

## 3.1. Основные типы токарных и строгальных резцов с напайными пластинами

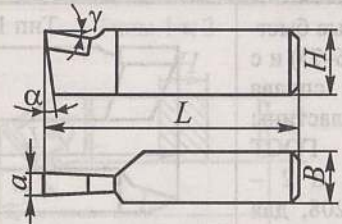
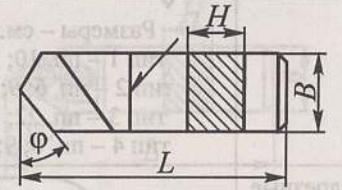
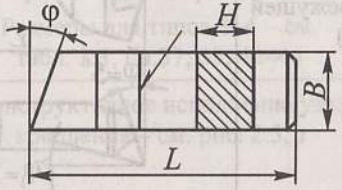
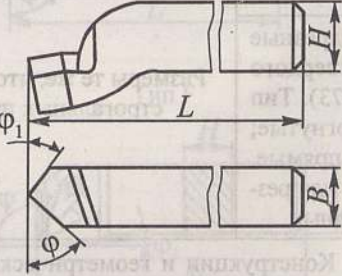
Типы резцов (ГОСТ)	Эскизы	Примечания
Резцы токарные проходные отогнутые с $\varphi = 45^\circ$ с пластинами из быстрорежущей стали (ГОСТ 18868–73) и твердого сплава (ГОСТ 18877–73). Пластины быстрорежущие по ГОСТ 2379–77 № 4101–4105; твердосплавные по ГОСТ 25395–90, тип 01; 02; 61; 62		Точение заготовок по наружному диаметру, подрезание торцов, растачивание коротких отверстий больших диаметров
	$\gamma = 0$ или $10 \dots 12^\circ$ ; $\alpha = 8^\circ$ . Размеры – см. табл. 3.3 (быстрорежущие – пп. 1–4; 10; 22; 29; 45; твердосплавные – пп. 45–48; 50; 53)	

Типы резцов (ГОСТ)	Эскизы	Примечания
Резцы токарные проходные прямые с $\varphi = 45, 60$ и $75^\circ$ ; $\varphi_1 = 45, 30$ и $15^\circ$ соответственно с пластинами из быстрорежущей стали (ГОСТ 18868–73) и твердого сплава (ГОСТ 18877–73). Пластины быстрорежущие по ГОСТ 2379–77, № 5601–5608 и 5701–5708; твердосплавные по ГОСТ 25426–90, тип 07, 67		Точение заготовок по наружному диаметру
	$\gamma = 0$ или $10 \dots 12^\circ$ ; $\alpha = 8^\circ$ . Размеры – см. табл. 3.3 (быстрорежущие – пп. 1–4; 10; 14; 22; 29; 36; 45; твердосплавные – пп. 3; 4; 10; 12; 22; 26; 28; 36; 38; 45; 46; 50; 51; 53)	
Резцы токарные проходные упорные с пластинами из быстрорежущей стали (ГОСТ 18870–73) и твердого сплава (ГОСТ 18879–73 и ГОСТ 18880–73). Пластины быстрорежущие по ГОСТ 2379–77, № 5801–5804 – для типа 1 и № 4102–4106 – для типа 2; твердосплавные по ГОСТ 25426–90, тип 07; 67 – для резцов типа 1; по ГОСТ 25397–90, тип 06, 66 – для резцов типа 2	<p>Тип 1</p> <p>Тип 2</p>	Точение ступенчатых заготовок, подрезание буртиков и торцов, точение деталей с большим отношением длины к диаметру
	$\gamma = 0$ или $10 \dots 12^\circ$ ; $\alpha = 8^\circ$ . Размеры – см. табл. 3.3 (быстрорежущие – пп. 1–4; 14; 21; 28 для типа 1 и пп. 10; 22; 36; 45; 50 для типа 2; твердосплавные – пп. 1–4; 14; 21; 28 для типа 1 и пп. 5; 8; 11; 16; 23; 30; 36; 39; 45; 48; 50; 53 для типа 2)	

Продолжение табл. 3.1

Типы резцов (ГОСТ)	Эскизы	Примечания																												
Резцы токарные расточные с пластинами из твердого сплава с $\phi = 60^\circ$ (ГОСТ 18882-73). Пластины по ГОСТ 25395-90, тип 01; 02; 61; 62		Растачивание сквозных отверстий диаметром $D_{\min} = 14 \dots 110$ мм																												
	Размеры – см. табл. 3.3 (пп. 13; 17; 19; 20; 27; 31; 33; 34; 41; 42; 47)																													
Резцы токарные расточные с пластинами из твердого сплава с $\phi = 95^\circ$ (ГОСТ 18883-73). Пластины по ГОСТ 25379-82, тип 06, 66		Растачивание сквозных отверстий диаметром $D_{\min} = 10 \dots 110$ мм																												
	Размеры – см. табл. 3.3 (пп. 8; 13; 17; 19; 20; 27; 31; 33; 34; 41; 42; 47)																													
Резцы токарные прорезные и отрезные с пластинами из быстрорежущей стали (ГОСТ 18874-73) и твердого сплава (ГОСТ 18884-73). Пластины быстрорежущие по ГОСТ 2379-77, твердосплавные по ГОСТ 17163-90, тип 13		Отрезка заготовок диаметром 10...60 мм																												
	Размеры – см. табл. 3.3 (быстрорежущие – пп. 1-4; 14; твердосплавные – пп. 8; 10; 22; 36; 45; 50)																													
Резцы автоматные отрезные пластинчатые быстрорежущие (правые и левые) (ТУ 2-035-491-76) $\alpha = 12^\circ$ , $\alpha_1 = 2^\circ$		Отрезка заготовок или прорезание канавок																												
	Размеры, мм: <table border="1" data-bbox="435 1357 882 1520"> <tr> <td>H</td> <td>12</td> <td>18</td> <td>12</td> <td>20</td> <td>25</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>B = a</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td colspan="2">85/100</td> <td colspan="4">125/150</td> </tr> <tr> <td>γ, °</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>12</td> <td>12</td> <td>12</td> </tr> </table> Здесь a – ширина режущего лезвия инструмента; B – ширина державки (B = a)	H	12	18	12	20	25	25	B = a	3	4	5	5	5	6	L	85/100		125/150				γ, °	8	10	12	12	12	12	
H	12	18	12	20	25	25																								
B = a	3	4	5	5	5	6																								
L	85/100		125/150																											
γ, °	8	10	12	12	12	12																								

Продолжение табл. 3.1

Типы резцов (ГОСТ)	Эскизы	Примечания
Резцы автоматные отрезные из быстрорежущей стали (ТУ 2-035-491-76) $\alpha = \alpha_1 = 8^\circ$ , $\gamma = 12^\circ$		Отрезка заготовок или прорезание канавок
	Размеры $H \times B \times a$ , мм 8×8×1,5; 8×8×2; 10×10×1,5; 10×12×2; 10×10×2,5; 12×12×1,5; 12×12×2; 12×12×2,5; 12×12×3; 16×16×3	
Резцы автоматные проходные (левые и правые) быстрорежущие с $\phi = 30, 45, 75^\circ$ (ТУ 2-036-491-76) $\alpha = \alpha_1 = 8^\circ$ , $\gamma = 12^\circ$		Точение заготовок по наружному диаметру
	Размеры – см. табл. 3.3, пп. 3; 4; 6; 8; 14	
Резцы револьверные подрезные быстрорежущие (ТУ 2-035-491-76) $\alpha = \alpha_1 = 8^\circ$ , $\gamma = 12^\circ$		Точение ступенчатых заготовок, подрезка буртиков и торцов
	Размеры $H \times B \times L$ , мм 8×8×30/50/70/120/150; 10×10×60/65/100/110; 12×12×65/70/110/120/175; 16×16×80; 20×20×100	
Резцы строгальные проходные изогнутые с пластинами из быстрорежущей стали с $\phi = 45^\circ$ , $\phi_1 = 10^\circ$ (ГОСТ 18887-73). Пластины по ГОСТ 2379-77, № 4401-4411		Строгание плоскостей
	Размеры $H \times B \times L$ , мм 20×12×190; 25×16×220; 32×20×280; 40×25×340; 50×32×400; 63×40×500	



Продолжение табл. 3.1

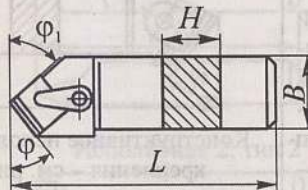
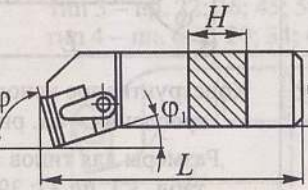
Типы резцов (ГОСТ)	Эскизы	Примечания
Резцы токарные резьбовые быстрорежущие (ГОСТ 18876-73) и с пластинами твердого сплава (ГОСТ 18885-73). Пластины быстрорежущие по ГОСТ 2379-77 для типов 1 и 2 – № 6101-6104, 6201-6208, для типов 3 и 4 – № 4702, 4703, 5501, 5503-5505; твердосплавные по ГОСТ 25398-90, тип 11 для типов 1 и 2, по ГОСТ 25422-90, тип 4 для типов 3 и 4	<p>Тип 1</p> <p>Размеры – см. табл. 3.3: тип 1 – пп. 10; 22; 36; 45; тип 2 – пп. 6; 9; 20; 34; 42; тип 3 – пп. 22; 36; 45; 50; тип 4 – пп. 6; 9; 20; 34; 42</p>	Тип 1 – для нарезания наружной метрической резьбы с шагом 0,5...6 мм; тип 2 – для наружной трапецидальной резьбы с шагом 2...24 мм
Резцы строгальные подрезные (прямые и изогнутые) с пластинами из быстрорежущей стали (ГОСТ 18889-73)		Строгание торцовых поверхностей, уступов
Резцы строгальные отрезные и прорезные изогнутые с пластинами из быстрорежущей стали (ГОСТ 18890-73). Пластины по ГОСТ 2379-77, № 4902-4907	<p>Размеры – см. табл. 3.3 (пп. 24; 37, остальные по ГОСТ 18889-73)</p> <p>Размеры – см. табл. 3.3 (пп. 25; 37, остальные по ГОСТ 18890-73)</p>	Отрезание заготовок, прорезание канавок
Резцы строгальные подрезные с пластинами из твердого сплава (ГОСТ 18893-73). Тип 1 – подрезные, изогнутые; тип 2 – подрезные прямые. Пластины те же, что и для резцов строгальных проходных	<p>Размеры те же, что и для резцов строгальных проходных</p>	Строгание боковых плоскостей, уступов

Примечание. Конструкции и геометрические параметры приведены в соответствующих ГОСТах.  $\gamma$ ,  $\alpha$  – соответственно передний и задний углы, °;  $\phi$  и  $\phi_2$  – главный и вспомогательный углы в плане, °;  $\alpha_1$  – вспомогательный задний угол, °;  $L, H \times B$  – соответственно длина и размеры поперечного сечения державки резца, мм.

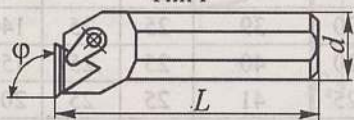
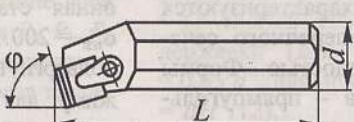
## 3.2. Основные типы резцов с механическим креплением СМП

Типы резцов (ГОСТ)	Эскизы	Примечания
Резцы токарные сборные для контурного точения правые и левые (ГОСТ 20872-80). Тип 1 ( $\phi = 93^\circ$ ) и тип 2 ( $\phi = 63^\circ$ ) – с режущими пластинами по ГОСТ 19062-80, опорная пластина по ГОСТ 19079-80. Тип 3 ( $\phi = 93^\circ$ ) и тип 4 ( $\phi = 63^\circ$ ) – с режущими пластинами правильной трехгранной формы по ГОСТ 19046-80, опорная пластина по ГОСТ 19073-80	<p>Типы 1 и 2</p> <p>Конструктивное исполнение узла крепления – см. рис. 2.5, б</p> <p>Типы 3 и 4</p> <p>Конструктивное исполнение узла крепления – см. рис. 2.5, д Размеры для типов 1-4 – см. табл. 3.3, пп. 37; 39; 42-45</p>	Резцы типов 1 и 3 обеспечивают точение с углами врезания до $32^\circ$ , подрезание торцов «от центра», точение фасок; резцы типов 2 и 4 – точение сферических поверхностей с углом врезания до $51^\circ$
Резцы токарные с механическим креплением многогранных пластин (20 типов) – ГОСТ 26611-85. Пластины твердосплавные по ГОСТ 19043-80 и ГОСТ 19045-80, минералокерамические по ГОСТ 25003-81. Опорные пластины по ГОСТ 19073-80 и ГОСТ 19074-80; стружколом по ГОСТ 19084-80	<p>Типы G, A, T</p> <p>Тип F</p> <p>Форма пластин и стружколомов – см. табл. 2.2-2.4</p>	Точение заготовок по наружному диаметру, подрезание торцов, буртиков

Продолжение табл. 3.2

Типы резцов (ГОСТ)	Эскизы	Примечания
Резцы с пластинами квадратной формы: твердосплавными по ГОСТ 19049-80 и ГОСТ 19050-80, минералокерамическими по ГОСТ 25003-81. Опорные пластины по ГОСТ 19076-80 и ГОСТ 19077-80, стружколом по ГОСТ 19085-80	<p>Типы В, D, S</p> 	Точение заготовок по наружному диаметру, подрезание торцов, буртиков
	<p>Тип К</p> 	
Резцы с пластинами ромбической формы: твердосплавными по ГОСТ 19056-80, минералокерамическими по ГОСТ 25003-81. Опорные пластины по ГОСТ 19078-80. Резцы проходные отогнутые с пластинами круглой формы: твердосплавными по ГОСТ 19069-80, минералокерамическими по ГОСТ 25003-81. Опорные пластины по ГОСТ 19083-80	<p>Форма пластин и стружколомов – см. табл. 2.2-2.4.</p> <p>Форма пластин – см. табл. 2.2 и 2.3</p>	Строгание торцовых поверхностей, уступов
	<p>Форма пластин – см. табл. 2.2 и 2.3</p>	

Продолжение табл. 3.2

Типы резцов (ГОСТ)	Эскизы	Примечания
Резцы расточные (шесть типов) с механическим креплением СМП (ГОСТ 26612-85). Опорные пластины по ГОСТ 19073-80 и ГОСТ 19074-80, стружколом по ГОСТ 19084-80.	<p>Конструктивное исполнение узла крепления см. на рис.2.5, з.</p> <p>Размеры резцов всех типов:  <math>L = 170; 180; 200; 250; 350</math> мм;  <math>d = 20; 25; 32; 50</math> мм</p> <p>Тип F</p>  <p>Тип F – <math>\phi = 90^\circ</math>.</p> <p>Форма пластин и стружколома – см. табл. 2.2-2.4</p>	Растачивание глухих отверстий $D_{\min} = 0$ мм (тип 1) и $D_{\min} = 5$ мм (тип 2)
Типы К-S – резцы с пластинами квадратной формы: твердосплавными по ГОСТ 19049-80, ГОСТ 19050-80 и ГОСТ 24252-80, минералокерамическими по ГОСТ 25003-81 тип К. Опорные пластины по ГОСТ 19076-80 и ГОСТ 19077-80, стружколом по ГОСТ 19085-80. Тип S – резцы с пластинами ромбической формы: твердосплавными по ГОСТ 19056-80, минералокерамическими по ГОСТ 25003-81. Опорные пластины по ГОСТ 19078-80	<p>Тип К</p>  <p>Тип К – <math>\phi = 75^\circ</math>.</p> <p>Тип L – <math>\phi = 75^\circ</math>.</p> <p>Тип S – <math>\phi = 45^\circ</math>.</p> <p>Форма пластин и стружколома – см. табл. 2.2-2.4.</p> <p>Форма пластин – см. табл. 2.2 и 2.3</p>	Растачивание сквозных отверстий $D_{\min} = 40$ мм (тип 3) и $D_{\min} = 25$ мм (типы 4 и 5)
	<p>Растачивание сквозных отверстий <math>D_{\min} = 45</math> мм</p>	

Примечание. Конструкции резцов и геометрические параметры приведены в соответствующих ГОСТах.

### 3.3. Габаритные размеры державок резцов, мм (к табл. 3.1 и 3.2)

№ п/п	H	B	L	№ п/п	H	B	L	№ п/п	H	B	L
1	4	4	50	8	12	12	100	15	16	16	100
2	6	6	50	9	12	12	140	16	16	16	110
3	8	8	50	10	16	10	100	17	16	16	120
4	10	10	60	11	16	10	110	18	16	16	125
5	10	10	90	12	16	12	100	19	16	16	140
6	10	10	120	13	16	12	170	20	16	16	170
7	12	12	80	14	16	16	80	21	20	12	100

Продолжение табл. 3.3

№ п/п	H	B	L	№ п/п	H	B	L	№ п/п	H	B	L
22	20	12	120	33	20	20	170	44	29	25	140
23	20	12	125	34	20	20	200	45	32	20	170
24	20	12	170	35	22	16	120	46	32	25	170
25	20	12	190	36	25	16	140	47	32	25	280
26	20	16	120	37	25	16	200	48	32	32	170
27	20	16	200	38	25	20	140	49	36	25	170
28	20	20	100	39	25	25	140	50	40	25	200
29	20	20	120	40	25	25	150	51	40	32	200
30	20	20	125	41	25	25	200	52	40	40	210
31	20	20	140	42	25	25	240	53	50	32	240
32	20	20	150	43	29	20	140	54	50	32	280

### 3.1. Расчет резцов на прочность и жесткость

Державки резцов характеризуются формой и размерами поперечного сечения, материалом и твердостью. Формы сечений державок резцов – прямоугольная, квадратная или круглая.

Для резцов с напайными пластинами целесообразно применять державки прямоугольного сечения с отношением высоты державки к ее ширине  $H/B = 1,6$  – для чистовых и получистовых резцов и  $H/B = 1,25$  – для черновых резцов.

Державки квадратного сечения лучше выдерживают деформации сложного изгиба и рекомендуются для револьверных и расточных резцов. Державки круглого сечения применяют в расточных и резбых резцах.

Размеры поперечного сечения державки выбирают из условия равенства действующего изгибающего момента  $M_{изг}$ , Н · м, и максимального момента, допускаемого сечением державки  $M'_{изг}$ , Н · м, т. е.  $M_{изг} = M'_{изг}$ .

В свою очередь,

$$M_{изг} = P_z l,$$

$$M'_{изг} = \sigma_{изг} W,$$

где  $l$  – вылет резца, мм (рис.3.1);  $\sigma_{изг}$  – допускаемое напряжение при изгибе державки, Н/мм<sup>2</sup> (незакаленная конструкционная сталь с  $\sigma_b = 600...700$  Н/мм<sup>2</sup>;  $\sigma_{изг} = 200...250$  Н/мм<sup>2</sup>; углеродистая сталь, подвергнутая термической обработке по режиму для быстрорежущей стали –  $\sigma_b \approx 400...500$  Н/мм<sup>2</sup>);  $W$  – момент сопротивления сечения державки резца, мм<sup>3</sup>.

Момент сопротивления прямоугольного сечения:

$$W = \frac{BH^2}{6},$$

где  $B$  и  $H$  – соответственно ширина и высота державки резца в опасном сечении, мм.

На основании вышеизложенного

$$P_z l = \sigma_{изг} \frac{BH^2}{6},$$

откуда

$$BH^2 = \frac{6P_z l}{\sigma_{изг}}.$$

В державках прямоугольного сечения при  $H = 1,6B$

$$B(1,6B)^2 = \frac{6P_z l}{\sigma_{изг}}, \text{ тогда } B = \sqrt[3]{\frac{6P_z l}{2,56\sigma_{изг}}}.$$

Для державок квадратного сечения, когда  $H = B$ , имеем

$$BB^2 = \frac{6P_z l}{\sigma_{изг}},$$

тогда

$$B = \sqrt[3]{\frac{6P_z l}{\sigma_{изг}}}.$$

Момент сопротивления державок круглого сечения диаметром  $d$ , мм<sup>3</sup>:

$$W = \frac{\pi d^3}{32},$$

а поэтому

$$P_z l = \frac{\pi d^3}{32} \sigma_{изг},$$

откуда

$$d = \sqrt[3]{\frac{32P_z l}{\pi \sigma_{изг}}}.$$

Приведенный расчет державки на плоский изгиб выполнен с учетом действия только одной силы  $P_z$ . Действие всех трех составляющих силы резания  $P_z, P_y, P_x$  вызывает в державке сложное сопротивление, которое примерно в два раза выше, чем при плоском изгибе.

В табл. 3.4 приведены допускаемые напряжения при расчете на изгиб с учетом сложного сопротивления.

В некоторых случаях проводят проверочный расчет на жесткость державки резца:

$$P_{zж} = \frac{fEJ}{l^3},$$

где  $P_{zж}$  – максимальная нагрузка, допускаемая жесткостью резца, Н;  $f$  – допускаемая стрела прогиба резца, мм ( $f \approx 0,1$  мм –

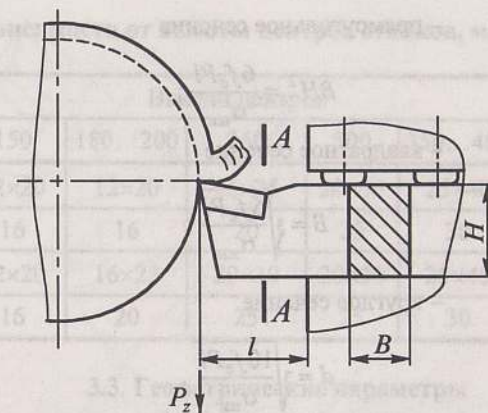


Рис. 3.1. Размеры сечения державки резца

предварительное точение,  $f \approx 0,05$  мм – чистовое точение);  $E$  – модуль упругости материала державки резца, Н/мм<sup>2</sup> (для углеродистой конструкционной стали  $E = (2...2,2)10^5$  Н/мм<sup>2</sup>;  $J$  – момент инерции державки (для круглого сечения  $J = 0,05 d^4$ , для прямоугольного сечения  $J = BH^3/12$ ).

Расчет размеров сечения державки выполнен для опасного сечения, отстоящего от вершины на расстоянии  $l$ , равное вылету резца из резцедержателя [ $l \approx (1...1,5) H$ ]. Однако опасным сечением является сечение А-А (см. рис. 3.1), т.е. место вырезки гнезда под режущую пластину, и поэтому расчет необходимо вести именно в этом сечении. Расчет сечения державок можно вести с учетом удельной силы резания и площади сечения среза стружки:

### 3.4. Допускаемые напряжения $\sigma_n$ для державок из углеродистых конструкционных сталей при плоском изгибе (с учетом сложного сопротивления), Н/мм<sup>2</sup>

Состояние державок	Угол в плане $\phi, ^\circ$					
	30	45	60	75	90	45 (отогнутый)
Незакаленные	120	100	80	65	55	130
Закаленные	240	200	100	130	110	260

– прямоугольное сечение

$$BH^2 = \frac{6f_c P l}{\sigma_{изг}};$$

– квадратное сечение

$$B = \sqrt[3]{\frac{6f_c P l}{\sigma_{изг}}};$$

– круглое сечение

$$d = \sqrt[3]{\frac{10f_c P l}{\sigma_{изг}}},$$

где  $f_c$  – площадь поперечного сечения среза стружки, мм<sup>2</sup>;  $P$  – удельная сила резания, МПа.

В основу этого расчета положен плоский изгиб от действия только одной со-

ставляющей силы резания  $P_z$ , что неверно, так как на резец действуют еще две составляющие силы резания – радиальная  $P_y$  и осевая (сила подачи)  $P_x$ .

При  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ ,  $\gamma = 15^\circ$

$$P_y = (0,4 \dots 0,5) P_z; P_x = (0,3 \dots 0,4) P_z.$$

По мере изнашивания резца составляющие силы резания  $P_y$  и  $P_x$  растут и достигают значения  $(0,75 \dots 1,00) P_z$ .

С увеличением угла в плане  $\varphi$  сила  $P_x$  значительно увеличивается, сила  $P_y$  уменьшается, а сила  $P_z$  почти не изменяется.

В большинстве случаев поперечное сечение державок выбирают на основании опытных данных в зависимости от срезаемого слоя металла (табл. 3.5) или высоты центров станка (табл. 3.6).

### 3.5. Размеры державок в зависимости от сечения срезаемого слоя и глубины резания

Материал пластин				Размеры державок	
быстрорежущая сталь		твердый сплав		прямоугольных $H \times B$ , мм	квадратных $B \times B$ , мм
$f_c$ , мм <sup>2</sup>	$t$ , мм	$f_c$ , мм <sup>2</sup>	$t$ , мм		
1,5	3	–	–	10×16	12
2,5	4	–	–	12×20	16
4,0	5	4,0	6	16×25	20
6,0	6	8,0	10	20×30	25
9,0	7	18	13	25×40	30
16	8	25	18	30×45	40
25	12	40	25	40×60	50
–	–	60	36	50×80	65

Примечания: 1. В таблице приведены максимальные значения величин.

2. Данные рекомендуются для обработки стали с  $\sigma_b \leq 750$  Н/мм<sup>2</sup>, проходными резцами с  $\varphi = 45^\circ$ .

3. Поперечное сечение державок резцов, применяемых на револьверных станках, токарных полуавтоматах и автоматах, выбирать меньше размеров посадочных гнезд резцедержателя.

### 3.6. Размеры державок резцов $H \times B$ в зависимости от высоты центров станков, мм

Установка резца	Поперечное сечение державок	Высота центров				
		150	180...200	260	300	350...400
В четырехрезцовой головке	Прямоугольное	12×20	12×20	16×25	20×30	25×40
	Квадратное	16	16	20	25	30
В суппорте	Прямоугольное	12×20	16×25	20×30	20×30	25×40
	Квадратное	16	20	25	25	30

В качестве материала державок резцов используют конструкционные стали марок 45, 50 (ГОСТ 1051–73 или ГОСТ 1050–88), стали марок 40Х, 45Х (ГОСТ 4543–71) или инструментальные стали марок У8, У10.

### 3.2. Крепление режущих пластин на державках резцов

Режущие части резцов соединяют с корпусами посредством сварки (быстрорежущие пластины), пайки (твердосплавные пластины и режущие элементы из СМТ) и механического крепления (твердосплавные и минералокерамические СМП, режущие элементы из СТМ и керамики).

Для установки и крепления режущих пластин гнезда под пластины выполняют открытыми, закрытыми, полузакрытыми и врезными (см. рис. 2.2). Полузакрытые гнезда применяют для крепления твердосплавных пластин. Закрытые и врезные гнезда обеспечивают более надежное крепление пластин в державках и особенно пластин малых размеров. Размеры гнезд приведены в § 2.2.

В последнее время режущие пластины в гнездах резцов закрепляют также при помощи клея. Формы и размеры гнезд под клеевые соединения приведены в табл. 2.1.

Схемы крепления СМП приведены на рис. 2.4, типовые узлы – на рис. 2.5, а основные виды СМП – в табл. 2.3.

### 3.3. Геометрические параметры режущих частей резцов

Геометрические параметры резцов влияют на силы резания и износ режущих кромок. Термины и определения элементов резцов даны в ГОСТ 25751–83.

Элементы рабочей части токарного резца приведены на рис. 3.2.

Геометрические параметры головки резца определяют положение его передних и задних поверхностей относительно основной опорной поверхности.

Угол наклона  $\lambda$  главной режущей кромки может быть положительным, отрицательным или равным нулю. От угла  $\lambda$  зависят форма стружки, направление ее схода по передней поверхности резца и его прочность. Если главная режущая кромка совпадает с основной плоскостью, проходящей через вершину лезвия, то угол  $\lambda = 0$ , если направлена вверх – угол  $\lambda$  положительный, если вниз – угол  $\lambda$  отрицательный.

Главный угол в плане  $\varphi$  определяет соотношение между шириной и толщиной среза при постоянных значениях подачи и глубины резания. Рекомендуемые значения углов в плане  $\varphi$  приведены в табл. 3.7.

Вспомогательный угол в плане  $\varphi_1$  при жесткой технологической системе рекомендуют принимать  $\varphi_1 = 10 \dots 15^\circ$ , при нежесткой системе –  $\varphi_1 = 20 \dots 30^\circ$ , а при обработке с врезанием  $\varphi_1 = 30 \dots 45^\circ$ .

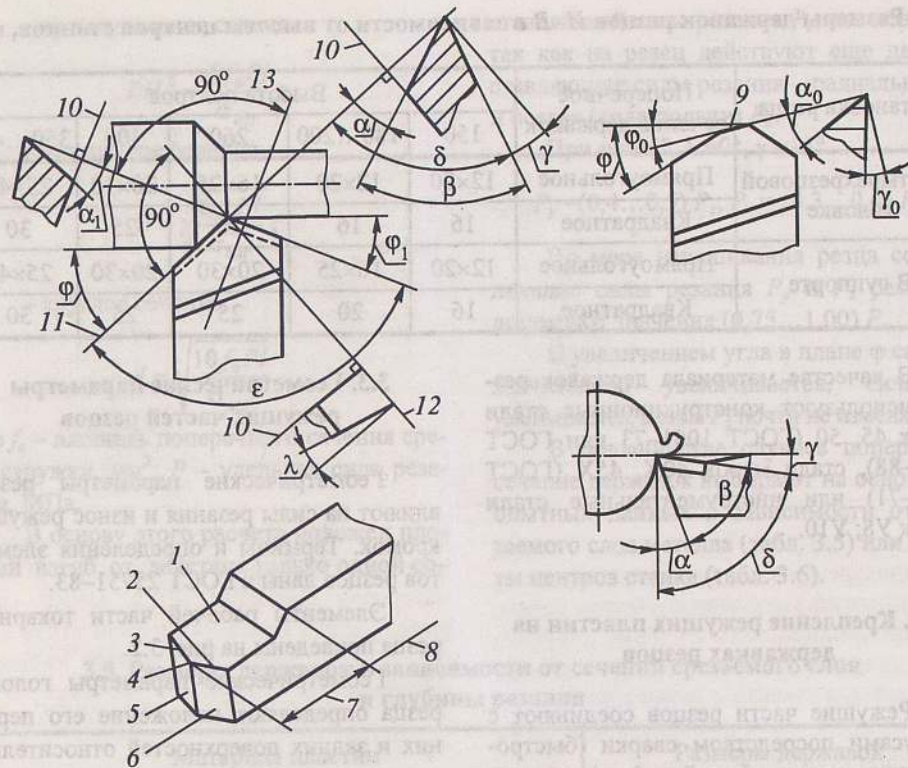


Рис. 3.2. Основные элементы и геометрия токарного резца:

1 – передняя поверхность; 2 – главная режущая кромка; 3 – вспомогательная режущая кромка; 4 – вершина лезвия; 5 – вспомогательная задняя поверхность; 6 – главная задняя поверхность; 7 – головка резца, 8 – корпус (державка) резца; 9 – переходная режущая кромка; 10 – след основной плоскости; 11 – след плоскости резания; 12 – след главной секущей плоскости; 13 – след вспомогательной секущей плоскости

### 3.7. Рекомендуемые значения углов $\varphi$ , °

Обработка	$l/d$	$\varphi$
Чистовая в жестких условиях	–	10...20
Черновая в жестких условиях	До 6	30...45
Черновая в нежестких условиях	6...12	60...75
Длинных заготовок малого диаметра	Более 12	90

Переходную режущую кромку выполняют по радиусу или в виде фаски под углом  $\varphi_0 = \varphi/2$  и длиной  $f=0,5...3,0$  мм в зависимости от размеров резца. Задний угол на переходной кромке  $\alpha_0 = \alpha$ .

Главный передний угол  $\gamma$  уменьшает деформацию стружки, влияет на величину

и направление сил резания, прочность режущей кромки, стойкость резца и качество обработанной поверхности.

Главный задний угол  $\alpha$  выбирают в зависимости от обрабатываемого материала.

Вспомогательный задний угол  $\alpha_1$  на-

значают равным главному заднему углу:  $\alpha_1 = \alpha$ . Для отрезных и прорезных резцов  $\alpha_1 = 1...2^\circ$ .

Радиус вершины резца влияет на его работу так же, как и угол  $\varphi_1$ . С увеличением радиуса скругления повышаются качество обработанной поверхности и стойкость резца. Во избежание вибраций увеличение радиуса возможно только при жестких условиях работы. Рекомендуемые радиусы вершин резцов приведены в табл. 3.8, необходимые длины режущих кромок резцов – в табл. 3.9.

Главная режущая кромка выполняет основную работу резания и теоретически должна быть острой. Практически же всегда имеется некоторый радиус скругления режущей кромки  $\rho$  (рис. 3.3). При работе с малой толщиной среза  $a$  радиус скругления  $\rho$  существенно влияет на процесс резания, так как изменяет передний угол.

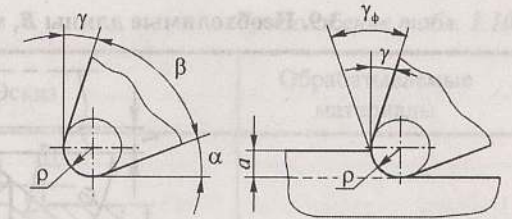


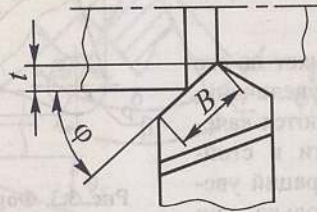
Рис. 3.3. Форма режущей кромки резца в поперечном сечении и схема ее влияния на величину переднего угла

Значение радиуса  $\rho$  зависит от зернистости инструментального материала и способа обработки передних и задних поверхностей:  $\rho = 6...8$  мкм для резцов из быстрорежущих сталей, алмазов и СТМ;  $\rho = 1,5...17$  мкм для резцов с пластинами из твердых сплавов и  $\rho = 30...40$  мкм для резцов, оснащенных минералокерамическими пластинами.

### 3.8. Радиусы вершин резцов, мм

Резцы	Типы	Сечение державок $H \times B$					
		6×6, 8×8	10×16, 12×20	16×25, 20×25	25×25, 20×30	25×40, 30×30	30×45, 40×40, 40×60
Проходные прямые и отогнутые, $\varphi = 45^\circ$	Чистовые	–	1,0	2,0	2,0	3,0	–
	Обдирочные	–	0,5	1,0	1,0	1,5	–
Упорные, $\varphi = 90^\circ$	Чистовые	0,1; 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0					
	Обдирочные	–	0,5	1,0	1,0	1,5	–
Расточные для сквозных отверстий	Чистовые	–	1,0	1,5	1,5	–	–
	Обдирочные	–	0,5	1,0	1,0	1,5	–
Расточные для глухих отверстий	Чистовые	0,1; 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0					
	Обдирочные	–	0,5	1,0	1,0	–	–

Примечание. Радиусы вершин строгальных резцов равны радиусам вершин токарных резцов.

3.9. Необходимые длины  $B$ , мм, режущих кромок резцов

$\varphi, ^\circ$	Глубина резания $t$									
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
45	4	8	12	15	19	23	27	31	35	38
60	3	6	10	13	16	19	22	25	28	31
75	3	6	9	12	14	17	20	23	25	28
90	3	6	8	11	14	16	19	22	25	27

## 3.10. Формы заточки передних поверхностей резцов из быстрорежущих сталей

Форма передней поверхности	Эскиз	Обрабатываемые материалы
Плоская с положительным передним углом	<p>I.</p>	Сталь с $\sigma_b > 800 \text{ Н/мм}^2$ , серый чугун, НВ > 220, бронза и другие хрупкие материалы
	<p>II.</p>	Сталь с $\sigma_b \leq 800 \text{ Н/мм}^2$ , чугун, НВ $\leq 220$
Криволинейная с фаской	<p>III.</p>	Сталь с $\sigma_b \leq 800 \text{ Н/мм}^2$ , вязкие цветные металлы и легкие сплавы, при необходимости завивания стружки

Продолжение табл. 3.10

Форма передней поверхности	Эскиз	Обрабатываемые материалы
Криволинейная	<p>IV.</p>	Материалы с $\sigma_b \leq 800 \dots 1000 \text{ Н/мм}^2$

Примечание. Обработку передних и задних поверхностей необходимо выполнять с параметром шероховатости  $Ra = 32 \text{ мкм}$ , а канавок – с  $Ra = 1,25 \text{ мкм}$ .

Передняя поверхность лезвия выполняется плоской или криволинейной. Плоскую поверхность применяют для обработки хрупких и очень твердых материалов, криволинейную – для обработки вязких, мягких и средней твердости материалов. Передняя поверхность снабжается упрочняющей ленточкой  $f = 0,2 \dots 1,0 \text{ мм}$  (меньшие значения – для малых подач). Формы заточки передних и задних по-

верхностей резцов приведены в табл. 3.10 и 3.11.

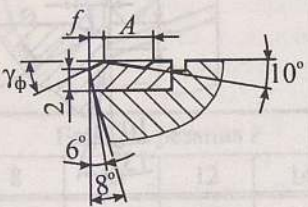
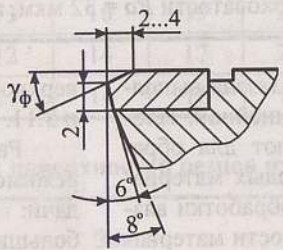
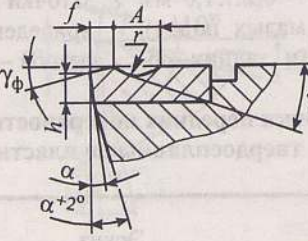
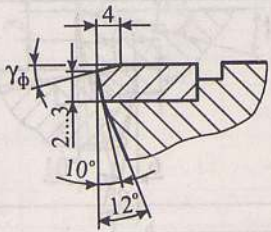
Размеры фасок и канавок зависят от режимов резания и, прежде всего, от подачи: большей подаче соответствуют большие значения  $f$ ,  $r$  и  $A$ .

Рекомендуемые значения параметров заточки резцов из быстрорежущих сталей приведены в табл. 3.12, а твердосплавных резцов – в табл. 3.13.

## 3.11. Формы заточки передних поверхностей резцов с напайными твердосплавными пластинами

Форма передней поверхности	Эскиз	Обрабатываемые материалы
Плоская с положительным передним углом	<p>I</p>	Серый чугун, бронза и другие хрупкие материалы
Плоская с отрицательной фаской	<p>II</p>	Ковкий чугун, сталь и стальные отливки с $\sigma_b \leq 800 \text{ Н/мм}^2$ , обработка при жесткой технологической системе

Продолжение табл. 3.11

Форма передней поверхности	Эскиз	Обрабатываемые материалы
Плоская с отрицательной фаской и уступом	III 	Сталь с $\sigma_b \leq 800 \text{ Н/мм}^2$ с обеспечением дробления и завивания стружки
Плоская с отрицательным передним углом	IV 	Сталь и стальные отливки с $\sigma_b = 800 \text{ Н/мм}^2$ , черновая обработка по корке. Работа с ударами в условиях жесткой технологической системы
Криволинейная с отрицательной фаской	V, VI* 	Коррозионно-стойкая сталь с $\sigma_b = 850 \text{ Н/мм}^2$
Плоская с отрицательным передним углом	VII 	Высокопрочные стали с $\sigma_b > 1200 \text{ Н/мм}^2$

\* Заточку выполнять с  $A = 4 \text{ мм}$ ,  $r = 10 \text{ мм}$ ,  $\gamma = 12^\circ$ .Примечание. Обработку передних и задних поверхностей выполнять с параметром шероховатости  $Ra = 0,32 \text{ мкм}$ , а канавок – с  $Ra = 1,25 \text{ мкм}$ .

## 3.12. Рекомендуемые значения параметров заточки резцов из быстрорежущих сталей, мм (к табл. 3.10)

Параметр заточки	Сечение резцов $H \times B$					
	12×12; 16×10	16×16; 20×12	20×20; 25×16	25×25; 32×20	32×32; 40×25	40×40; 50×32
Ширина фаски $f$	$\frac{0,2}{0,1}$	$\frac{0,4}{0,3}$	$\frac{0,6}{0,4}$	$\frac{0,8}{0,5}$	$\frac{1,0}{0,6}$	$\frac{1,2}{-}$
Радиус канавки $r$	3	5	8	12	15	18
Ширина канавки $A$	2,5	4	7	10	13	15

Примечание. В числителе даны значения ширины фаски  $f$  для проходных и подрезных резцов, в знаменателе – для расточных резцов.

## 3.13. Рекомендуемые значения параметров заточки твердосплавных резцов в зависимости от предела прочности обрабатываемой стали (к табл. 3.11)

$\sigma_b, \text{ Н/мм}^2$	Размеры, мм				Углы, °		
	$A$	$f$	$h$	$r$	$\gamma$	$\alpha$	$\gamma_\phi$
< 850	3,5	0,2...0,3	1...2	6	16	8	-3
700...1000	4	0,1...0,3	2...3	10	12	10	0...-5
До 1200		0,15...0,4		6	3...5		0...-5
До 1300				6	8...10		0...-5

Примечание. Необходимая длина главной режущей кромки приведена в табл. 3.9.

## 3.4. Износ и переточки твердосплавных режущих пластин

Резцы, оснащенные твердосплавными режущими пластинами, подвергаются износу по передним и задним поверхностям. Считается, что резцы надо заточивать по обоим поверхностям (рис. 3.4).

Опорную плоскость режущей пластины рационально располагать параллельно линии  $OO_1$ . Тогда угол врезания пластины определяется по формуле:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\Delta h \sin \gamma + \Delta c \cos \alpha}{\Delta h \cos \gamma + \Delta c \sin \alpha}$$

Величина стачивания в результате изнашивания задней поверхности может быть определена по формуле:

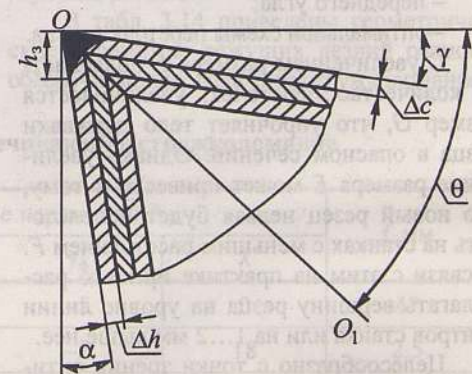


Рис. 3.4. Схема переточек режущей пластины после износа:  $\Delta c$  – величина стачивания по передней поверхности;  $\Delta h$  – величина стачивания по задней поверхности;  $OO_1$  – линия смещения вершины реза по мере ее переточки;  $h_3$  – величина износа режущей пластины по задней поверхности



Рис. 3.5. Расположение режущей пластины в державке резца

$$\Delta h = h_s \frac{\sin \alpha}{\cos \gamma} \cos(\alpha + \gamma).$$

Угол врезания  $\theta$  твердосплавной пластины для напайных резцов зависит от следующих факторов (рис. 3.5):

- расстояния  $E$  от основной плоскости резца до вершины его лезвия (для нового резца);
- расстояния  $F$  от центральной линии станка до основной плоскости резца;
- наименьшего расстояния  $G$  от основной плоскости резца до опорной плоскости державки под пластину в опасном сечении;
- поперечного сечения державки резца;
- переднего угла;
- оптимальной схемы переточки резца.

С увеличением размера  $E$  повышается количество переточек, увеличивается размер  $G$ , что упрочняет тело державки резца в опасном сечении. Однако увеличение размера  $E$  может привести к тому, что новый резец нельзя будет использовать на станках с меньшим расстоянием  $F$ . В связи с этим на практике принято располагать вершину резца на уровне линии центров станка или на 1...2 мм выше нее.

Целесообразно с точки зрения оптимальной схемы переточки выбирать угол  $\theta \geq 25...30^\circ$ , однако для напайных резцов он слишком велик, так как при этом нарушается условие выбора  $E$  и  $G$  при заданной толщине  $c$  пластины. Кроме того, большой угол  $\theta$  не может быть принят по следующим причинам:

– при переточках высота  $E$  вершины резца до опорной плоскости резца уменьшается;

– при пайке в закрытом пазе пластина приобретает дополнительные напряжения, снижающие стойкость резца;

– возможно пакетирование сходящей стружки, что может вызвать поломку резца.

Поэтому угол врезания выбирается в пределах  $\theta = 12...16^\circ$ .

Можно рекомендовать также такое расположение пластины, при котором величина врезания  $m$  (для резцов с  $\gamma < 10^\circ$ ) принимается равной толщине пластины  $c$  или (для резцов с  $\gamma > 10^\circ$ ) несколько более, но при условии, что нижняя точка  $M$  переднего конца пластины будет расположена приблизительно на одной линии с верхней плоскостью державки (см. рис. 3.5).

В общем случае, когда  $E \neq H$ , величину  $m$  врезания пластины и расстояние  $G$  определяют по формулам, мм:

$$m = c + b \operatorname{tg} \theta - \frac{E - H}{\cos \theta} \quad \text{и} \quad m = \frac{E - G}{\cos \theta},$$

где  $b$  – ширина пластины, мм;  $G = E - b \sin \theta - c \cos \theta$ .

При  $m = c$  и  $E \neq H$  угол врезания  $\theta$  определяют по формуле

$$\sin \theta = \frac{E - H}{b}.$$

Для увеличения прочности державки резца в опасном сечении расстояние  $G$  рекомендуют принимать не менее 2/3 высоты державки  $H$ .

### 3.5. Формы и размеры пластин для напайных резцов

Геометрия режущих пластин для напайных резцов приведена в ГОСТ 25393–90.

Для рационального использования твердых сплавов и уменьшения их расхода необходимо устанавливать правильное соотношение между толщиной  $c$  и шири-

ной  $b$  пластины. Из условия равенства числа переточек по толщине и ширине получаем:

$$\frac{b - b_0}{\Delta h} = \frac{c - c_0}{\Delta c},$$

где  $b_0, c_0$  – остаточные размеры по ширине и толщине пластины после всех переточек, мм.

При  $c_0 = 0,4c$  и  $b_0 = 2c_0 = 0,8c$  отношение между  $b$  и  $c$  зависит от размера стачивания по задней  $\Delta h$  и передней  $\Delta c$  поверхностям:

$$b = c \left( 0,8 - 0,6 \frac{\Delta h}{\Delta c} \right).$$

Величины  $\Delta h$  и  $\Delta c$  зависят от многих факторов и могут быть подсчитаны в зависимости от заданных условий работы.

На практике при обработке сталей и чугунов универсальными резцами отношение  $b/c = 1,6$ . Это значение устанавливает правильное соотношение между шириной и толщиной пластины, что приводит к снижению расхода твердых сплавов.

### 3.6. Стружколомые

Стружколомание и стружкозавивание приобретают важное значение при скоростном тчении, при тчении труднообрабатываемых материалов и особенно на станках с ЧПУ и автоматических линиях.

Считается, что стружка, завитая в спираль длиной до 200 мм, наиболее полно отвечает требованиям, предъявляемым к ней при работе на токарных станках с ЧПУ и автоматических линиях. Дробленую стружку в виде колец и полуколец диаметром 10...15 мм и более следует рассматривать как хорошую. Мелкодробленая стружка считается удовлетворительной. Стружку в виде непрерывной спирали, прямой ленты и путаного клубка необходимо исключать из процесса обработки.

На практике наиболее распространены следующие способы стружколомания:

- подбор специальной геометрии режущего лезвия резца;
- затачивание уступа на передней поверхности режущего лезвия;
- использование накладных стружколомов специальной конструкции.

При подборе геометрии режущего лезвия резца изменяют главный угол в плане. При увеличении этого угла при неизменной глубине резания и подаче стабилизируется и процесс дробления стружки. При угле в плане  $\phi = 90^\circ$  обеспечивается дробление стружки в широком диапазоне режимов резания (подачи и глубины резания).

В табл. 3.14 приведены геометрические параметры режущих лезвий резцов, обеспечивающих надежное стружколомание.

3.14. Параметры резцов, обеспечивающие стружколомание

Резец	Геометрические параметры, °				$f$ , мм
	$\phi$	$\gamma$	$\gamma_\phi$	$\lambda$	
Проходной	45	0	-5	0	4*
	60	10	-2	18	2,5
Подрезной	70	-10	-	12	1,5**
	90	-3	-5	0	4
	90	15	-5	15	1,5

\* При  $t \geq 4$  мм и  $S_0 \geq 0,3$  мм/об.

\*\* При  $t/S \leq 10$  и  $S_0 \geq 0,4$  мм/об.



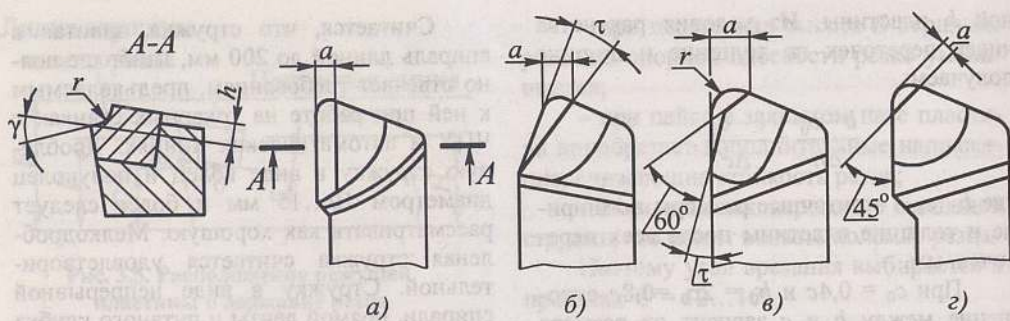


Рис. 3.6. Типы уступов:

*a* – при различной глубине резания в процессе точения;  
*b* – для растачивания; *в* – для чистового точения при средних подачах резцами с большим радиусом при вершине;  
*г* – для чистового точения с глубиной резания до 0,8 мм

3.15. Ширина уступа *a*, мм

Глубина резания <i>t</i>	Подача $S_0$ , мм/об				
	до 0,3	0,3...0,45	0,45...0,6	0,6...0,7	0,7...1,0
До 1,5	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
1,5...6,0	2,5	3,0	4,0	4,5	5,0
6,0...12	3,0	4,0	5,0	5,5	6,0

Примечание. Ширина уступа *a* приведена для высоты уступа  $h = 0,5...0,6$  мм.

Уступы на передней поверхности обеспечивают ломание при подачах  $S_0 > 0,25$  мм/об. Ширина *a* уступа (табл. 3.15, рис. 3.6) зависит от режима резания и

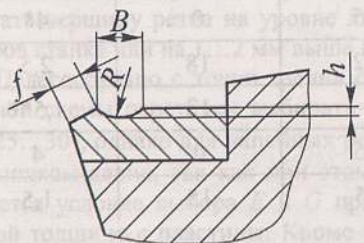


Рис. 3.7. Стружколом в виде лунки

твердости обрабатываемого материала. При изготовлении уступа под углом  $\tau = 8...10^\circ$  (рис. 3.6, б) с радиусом при вершине  $r = (0,25...0,75)$  мм улучшается процесс завивания и ломания стружки. Меньшие значения радиуса принимают для уступов малой ширины.

Завивание и ломание стружки можно получить и при помощи лунки на передней поверхности лезвия резца (рис. 3.7).

В табл. 3.16 приведены размеры лунки, полученной шлифовальными кругами в резцах, работающих при глубинах резания до 6 мм и скоростях резания до 500 м/мин.

## 3.16. Размеры лунки, мм

Размер	Подача $S_0$ , мм/об					
	0,3	0,5	0,7	0,9	1,2	1,4
Ширина лунки <i>B</i>	2,5	3,5	5,0	7,0	8,5	9,5
Радиус скругления <i>R</i>	2,5	4,0	5,0	6,5	9,5	10,0
Глубина лунки <i>h</i>	0,3	0,4	0,7	0,95	1,0	1,2
Ширина ленточки <i>f</i>	0,2	0,3	0,45	0,55	0,6	0,8

3.17. Удаление стружколома *K* от главной режущей кромки, мм

Глубина резания <i>t</i>	Подача $S_0$ , мм/об				
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
1...2	4...5	4,8...5,8	5,5...6,5	3,6...4,5	3,8...4,8
3...4	4,5...5,5	5,3...6,3	6...7	3,8...4,8	4...5
5...6	5,6	6...7	6,5...7,5	4...5	4,3...5,3
Угол $\epsilon$ , °	105			115	

На практике часто применяют нерегулируемые накладные стружколомы, изготовленные из твердых сплавов и припаянные к передним поверхностям режущих пластин (рис. 3.8).

Удаление стружколома *K* от главной режущей кромки (табл. 3.17) зависит в основном от подачи и в меньшей степени от глубины и скорости резания.

Угол  $\tau$  между стружколомом и главной режущей кромкой влияет на форму и направление схода стружки и зависит от главного угла в плане и глубины резания; так, например, если  $t < 6$  мм, то  $\tau = 5^\circ$  при  $\phi = 45^\circ$ ;  $\tau = 10^\circ$  при  $\phi = 60^\circ$ ;  $\tau = 20^\circ$  при  $\phi = 90^\circ$ .

Наиболее универсальными являются регулируемые накладные стружколомы. При этом широкий диапазон регулирования положения стружколома относительно главной режущей кромки обеспечивает

эффективное их применение при различных режимах резания.

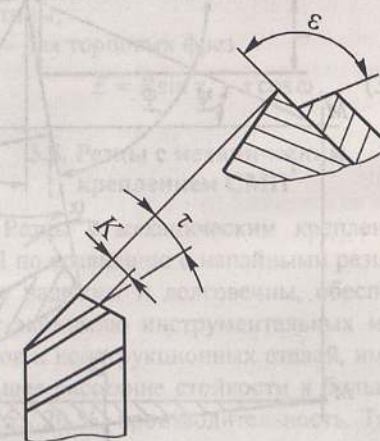


Рис. 3.8. Накладной нерегулируемый стружколом

### 3.7. Расчет параметров установки СМП в корпусах инструментов\*

Методика расчета параметров установки СМП в корпусах инструментов не зависит от вида инструмента (рис. 3.9, 3.10) и для инструментов с пластинами без задних углов сводится к решению следующих задач:

1. Определение формы пластины, т.е. числа  $n$  ее граней.

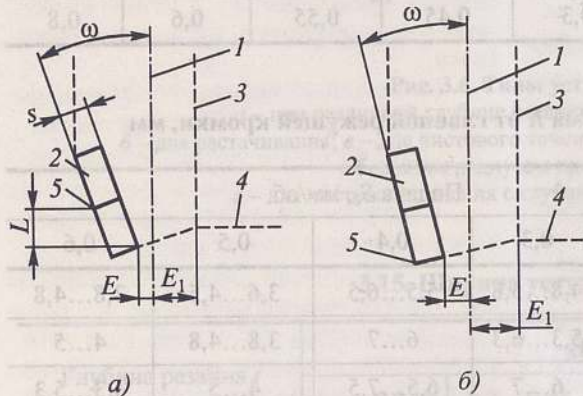


Рис. 3.9. Схема определения смещения паза под СМП: а – расточной инструмент; б – торцовая фреза; 1 – ось инструмента; 2 – СМП; 3 – державка; 4 – торец корпуса инструмента; 5 – вершина СМП

2. Определение положения плоскости  $NN$  (см. рис. 3.10), расположенной под углом  $\beta$  относительно главной режущей кромки, в которой необходимо повернуть пластину на угол  $\mu$  для получения заданных главного  $\alpha$  и вспомогательного  $\alpha_1$  задних углов. Этих данных вполне достаточно для изготовления паза под СМП.

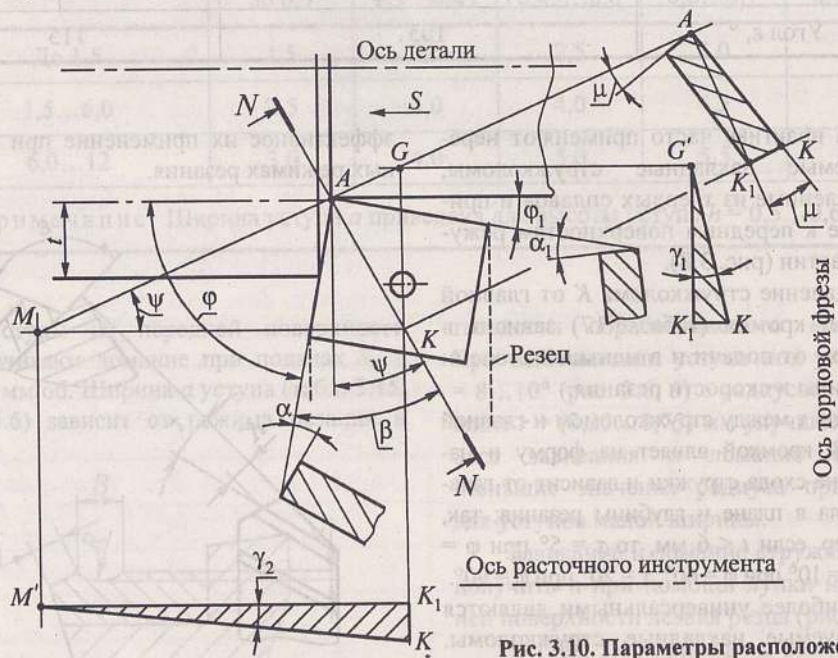


Рис. 3.10. Параметры расположения опорной поверхности паза под СМП в корпусе инструмента

3. Определение угла  $\omega$  наклона пластины и смещения  $E$  паза под пластину на торце корпуса или величины  $E_1$  паза, когда пластина устанавливается в корпусе державки, а последняя крепится в корпусе фрезы или расточного инструмента.

Число граней пластины

$$n = 360^\circ / (\varphi + \varphi_1), \quad (3.1)$$

где  $\varphi$  и  $\varphi_2$  – углы в плане,  $^\circ$ .

При дробном  $n$  его округляют до целого числа, изменяя угол  $\varphi_1$ , который должен составлять  $5...30^\circ$ . Положение плоскости  $NN$  относительно главной режущей кромки определяется углом  $\beta$ :

$$\operatorname{tg} \beta = (\operatorname{tg} \alpha \sin \varepsilon) / (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha \cos \varepsilon), \quad (3.2)$$

$$\varepsilon = 180^\circ (n-2) / n, \quad (3.3)$$

где  $\varepsilon$  – угол при вершине пластины,  $^\circ$ .

Угол наклона пластины

$$\operatorname{tg} \mu = \operatorname{tg} \alpha / \sin \beta. \quad (3.4)$$

Знание углов  $\beta$  и  $\mu$  необходимо для фрезерования паза под пластину в корпусе реза, однако вместо угла  $\beta$  удобнее пользоваться углом между осью державки реза и плоскостью  $NN$ :

$$\psi = \varphi + \beta - 90^\circ. \quad (3.5)$$

Для фрезерования паза державку реза устанавливают в поворотных тисках и в горизонтальной плоскости поворачивают на угол  $\psi$ , а в вертикальной плоскости – на угол  $\mu$ . При этом опорная поверхность под пластину располагается параллельно поверхности стола фрезерного станка и корпус реза можно поворачивать на любой угол вокруг вертикальной оси для фрезерования боковых опорных поверхностей паза.

При проектировании расточных инструментов и торцовых фрез надо знать значения поперечных  $\gamma_1$  и продольных  $\gamma_2$  передних углов, которые определяют из рис. 3.10. Если расстояние  $AK_1 = 1$ , то  $KK_1 = \operatorname{tg} \mu$ ;  $KG = 1/\cos \psi$  и  $MK = 1/\sin \psi$ . Тогда

– для расточных инструментов

$$\operatorname{tg} \gamma_1 = \operatorname{tg} \mu \cos \psi, \quad (3.6)$$

$$\operatorname{tg} \gamma_2 = \operatorname{tg} \mu \sin \psi, \quad (3.7)$$

– для торцовых фрез

$$\operatorname{tg} \gamma_1 = \operatorname{tg} \mu \sin \psi, \quad (3.8)$$

$$\operatorname{tg} \gamma_2 = \operatorname{tg} \mu \cos \psi. \quad (3.9)$$

Методикой расчета учтено, что плоскость передней поверхности пластины расположена под отрицательным углом. Угол наклона пластины  $\omega$  определяют по следующей формуле, но без учета знака:

$$\operatorname{tg} \omega = \operatorname{tg} \gamma_2 \cos \gamma_1. \quad (3.10)$$

На рис.3.9 приведены схемы определения смещения  $E$  паза для СМП, устанавливаемых в гнезда, расположенные в корпусе расточного инструмента и торцовой фрезы, и величины  $E_1$  паза для державок, на которые устанавливают пластины:

– для расточных инструментов

$$E = R \sin \gamma_1 - \left( \frac{s}{\cos \omega} + L \operatorname{tg} \omega \right), \quad (3.11)$$

где  $L$  – расстояние от вершины лезвия до торца корпуса инструмента;  $s$  – толщина пластины;

– для торцовых фрез

$$E = R \sin \gamma_1 - s \cos \omega. \quad (3.12)$$

### 3.8. Резцы с механическим креплением СМП\*

Резцы с механическим креплением СМП по сравнению с напайными резцами более надежны и долговечны, обеспечивают экономию инструментальных материалов и конструкционных сталей, имеют меньшее рассеяние стойкости и большую (на 15...20 %) производительность. Такие резцы работают на меньших подачах и больших скоростях резания, что и обеспе-

\* Автор параграфа С.В. Лукина.

\* Автор параграфа С.В. Лукина.

чивает значительный рост производительности. Повышенная точность позиционирования вершины резца определяется высоким качеством изготовления и отсутствием операции затачивания (при переточках напайных резцов вершина лезвия инструмента меняет свое положение относительно его базовых поверхностей). Поэтому их применение наиболее предпочтительно при работе на автоматизированных станках.

По технологическому назначению система резцов подразделяется на подсистемы:

- резцы для наружного точения;
- расточные резцы;
- резцовые вставки;
- отрезные и канавочные резцы;
- резьбовые резцы;
- резцы для тяжелых, крупных токарных и карусельных станков.

Каждая из подсистем имеет свои специфические особенности, обусловленные, в первую очередь, конструкцией оборудования и его технологическим назначением. Резцовые вставки, представляющие собой резцы укороченной длины с регулировочными винтами на боковой и торцовой поверхностях державки, которые обеспечивают настройку инструментов на размер вне станка, предназначены для автоматизированного оборудования. Все остальные резцы могут использоваться как на автоматизированных станках, так и на станках с ручным управлением.

Условные обозначения способов крепления СМП в зависимости от их конструктивных особенностей приведены на рис. 2.4 в соответствии с ГОСТ 26476–85 и международной классификацией.

Резцы с креплением СМП по способу С (табл. 3.18) в основном предназначены для оснащения автоматических линий и многооперационных станков с фиксированными режимами обработки и могут

комплектоваться СМП из твердых сплавов и керамики.

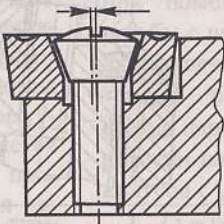
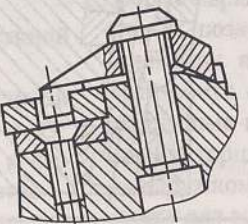
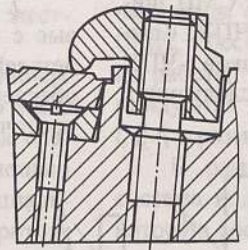
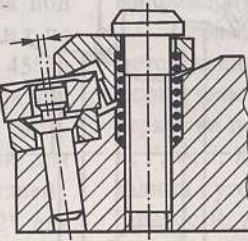
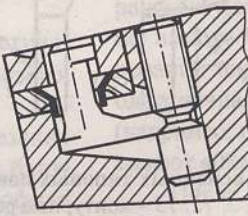
Резцы с креплением СМП по способу М предназначены для оснащения станков с ручным управлением. Эти резцы обеспечивают выполнение черновых и получистовых операций и комплектуются пластинами из твердых сплавов.

Резцы с креплением СМП по способу Р предназначены для оснащения станков с ЧПУ средних серий, ГПС и ГПМ на получистовых и чистовых операциях, где требуется высокая точность позиционирования вершины, и комплектуются пластинами из твердого сплава.

Резцы с креплением СМП по способу S предназначены для оснащения станков с ЧПУ легких серий, ГПС и ГПМ на чистовых операциях и комплектуются пластинами из твердого сплава.

Несмотря на многообразие конструкторских решений по реализации указанных способов крепления, в серийно изготавливаемых резцах рассматриваемой системы используют семь схем узла крепления СМП (табл. 3.18). Резцы со способом крепления № 1 предназначены для станков легких серий на чистовых операциях; № 2 и 5 – для получистовых и чистовых операций, где требуется высокая точность позиционирования вершины резца; № 3 – для автоматических линий и операционных станков с фиксированными режимами обработки; № 4 – обеспечивают выполнение черновых и получистовых операций и предназначены, в основном, для станков с ручным управлением; СМП базируется в открытом гнезде, что позволяет при любой форме пластины полностью открыть вспомогательную режущую кромку; № 6 – для крепления пластин в форме параллелограмма (получистовое и черновое точение); № 7 – для тяжелых станков (утолщенные СМП).

3.18. Серийно изготавливаемые резцы, оснащенные СМП

№ п/п	Способ крепления	Схема узла крепления	Крепление
1	S		Винтом с тороидальным отверстием
2	M		Прихватом сверху и подтяжкой на базу
3	C		Прихватом сверху
4	M		Клином-прихватом
5	P		L-образным рычагом

Продолжение табл. 3.18

№ п/п	Способ крепления	Схема узла крепления	Крепление
6	С		Прихватом сверху
7	Р		Качающимся штифтом

Резцы с твердосплавными СМП широко применяют на станках с ЧПУ. Комплект резцов для токарных станков с ЧПУ может включать в себя резцы следующих типов (рис. 3.11):

1 – резцы проходные отогнутые правые с  $\phi = 45^\circ$  для патронной обработки деталей типа фланцев, которые обеспечивают наружную обточку, проточку торцов и выточек, снятие фасок;

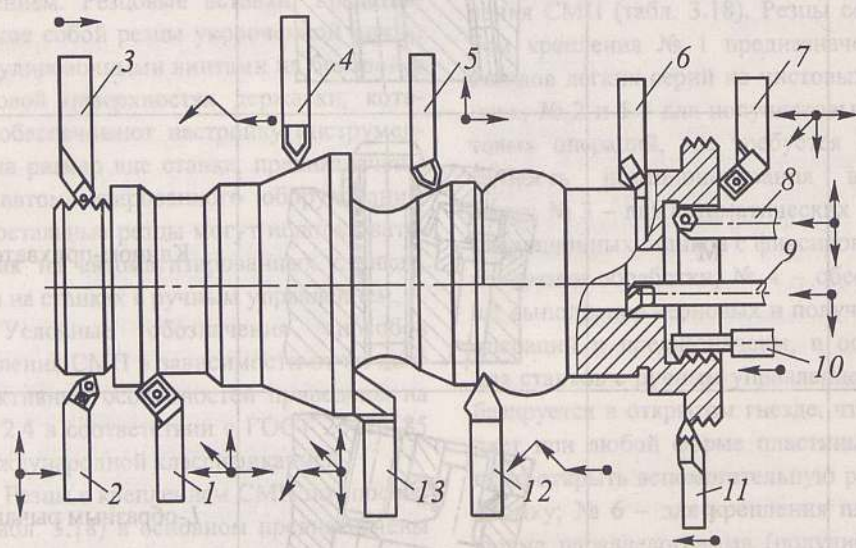


Рис. 3.11. Схема обработки основных типовых поверхностей токарными резцами: 1, 2, 7 – проходные резцы; 4, 5, 12, 13 – контурные резцы; 3, 10, 11 – резцовые резцы; 8, 9 – расточные резцы; 6 – канавочный резец

2 – резцы проходные упорные с трехгранной пластиной неправильной формы с  $\phi = 92...95^\circ$  для протачивания ступенчатых поверхностей, фасок, торцов движением от наружного диаметра к центру детали; режущая пластина закрепляется клином или рычажным устройством;

3 – резцовые резцы для нарезания наружных резьб с шагом до 2 мм; режущая прямоугольная пластина закрепляется на державке с помощью прихвата; профиль вершины резца обеспечивается заточкой пластин под углом, равным углу профиля резьбы;

4 – резцы контурные с пластиной трехгранной формы с  $\phi = 63^\circ$ ;

5 – резцы контурные с пластиной трехгранной правильной формы с  $\phi = 93^\circ$  для протачивания цилиндрических и фасонных поверхностей; их достоинство – использование трех рабочих вершин по сравнению с двумя у резцов с пластинами в форме параллелограмма, однако жесткость крепления пластин ниже;

6 – резцы для проточки наружных прямых канавок шириной от 1 до 6 мм с глубиной, равной ширине; пластины специальной формы закрепляются с помощью прихватов; резцы могут иметь специальные двухсторонние пластины для проточки внутренних прямых и наружных угловых канавок, для обработки канавок под стопорные кольца, радиусных канавок и т. п.;

7 – резцы проходные с  $\phi = 45^\circ$  с квадратными пластинами, левые для наружной обточки, проточки торцов деталей, проточки выточек, снятия фасок, для патронной обработки фланцевых деталей;

8 – резцы расточные с  $\phi = 92^\circ$  для растачивания отверстий диаметром от 22 мм и более;

9 – резцы с ромбическими пластинами с  $\phi = 95^\circ$  для растачивания сквозных отверстий и проточки выточек;

10 – резцы резцовые для нарезания внутренних резьб с шагом до 2 мм с близким подходом к торцу; точность профиля резьбы обеспечивается заточкой пластин,

наименьший диаметр отверстия, в котором можно нарезать резьбу, – 35 мм;

11 – резцы резцовые с ромбическими пластинами, закрепляемыми сверху при помощи прихвата, для нарезания резьбы с шагом от 2 до 6 мм (угол профиля обеспечивается формой пластины);

12 – резцы контурные с пластинами в форме параллелограмма с  $\phi = 63^\circ$  для обработки полусферических поверхностей и конусов с углом спада до  $57^\circ$ ;

13 – резцы контурные с пластинами в форме параллелограмм с  $\phi = 93...95^\circ$ , которые позволяют обтачивать детали по цилиндру и конусу, протачивать обратный конус с углом до  $30^\circ$ , обрабатывать радиусные поверхности, галтели и протачивать торцы движением от центра детали к наружному диаметру; протачивать канавки для выхода шлифовального круга.

Большую группу составляют токарные резцы с тангенциальным креплением СМП, обеспечивающим лучшие условия их работы. Такие резцы (рис. 3.12) рекомендуются для черновой обработки:  $h, b, l, f, l_1$  – размеры державки резца, мм.

В рамках ISO разработана единая система кодирования токарных резцов, в которую составной частью входят отдельные символы из обозначения пластин. Например (рис. 3.13): CSKPR2525M12.

Первые пять букв кода обозначают метод крепления пластины (С, М, Р, S), форму пластины (R, S, T, C, D, K, V), тип державки по главному углу в плане (В, D, E, F, G, J, K, L, R, S, T, V) (см. рис. 3.13), задний угол пластины  $\alpha$ , исполнение (правое R, левое L, нейтральное N). Следующие затем два двузначных числа характеризуют размер сечения корпуса резца: высоту  $h$  и ширину  $b$ . Как и при кодировании пластин, если размер определяет однозначная цифра, перед ней ставят «0» (например, при  $h = 8$  мм в обозначении указывают «08»).

После размера сечения корпуса приводится буква, обозначающая длину резца  $l_1$ :

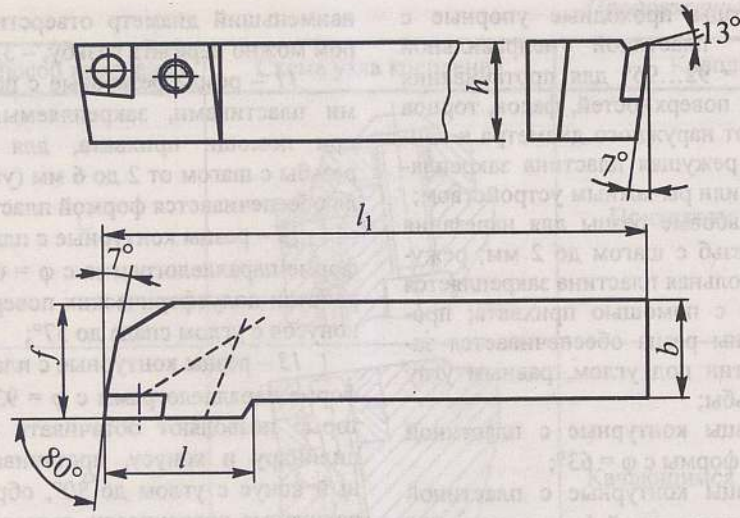


Рис.3.12. Токарный резец с тангенциальным креплением СМП

$l_1$	32	40	50	60	70	80	90	100	110	125	140	150
Обозначение	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M
$l_1$	160	170	180	200	250	300	350	400	450	500	Специальная	
Обозначение	N	P	Q	R	S	T	U	V	W	Y	X	

Следующее двузначное число кода характеризует длину режущей грани пластины  $l$ . На последней, 10-й позиции кода при необходимости указывают латинские буквы Q, F или B. Эти символы обозначают точность позиционирования пластины относительно базовых поверхностей корпуса резца, которые в этом случае обычно выполняются шлифованными.

В коде выделена 11-я позиция для специальных обозначений завода-изготовителя. При необходимости в обозначение державки можно ввести дополнительные буквенные или цифровые символы (не более трех), отделив их от стан-

дартного обозначения дефисом (например, W для конструкции с креплением режущей пластины клином и т.п.). Следует отметить, что кодом ISO предусмотрены лишь самые общепринятые методы крепления пластин, которые охарактеризованы в позиции 1 без детализации. Так, буквой C обозначается крепление пластины Г-образным прихватом, M – крепление через отверстие и прихватом, P – крепление только через отверстие, S – крепление винтом.

Расточные резцы хвостового и державочного типа могут быть оснащены разнообразными по форме СМП.

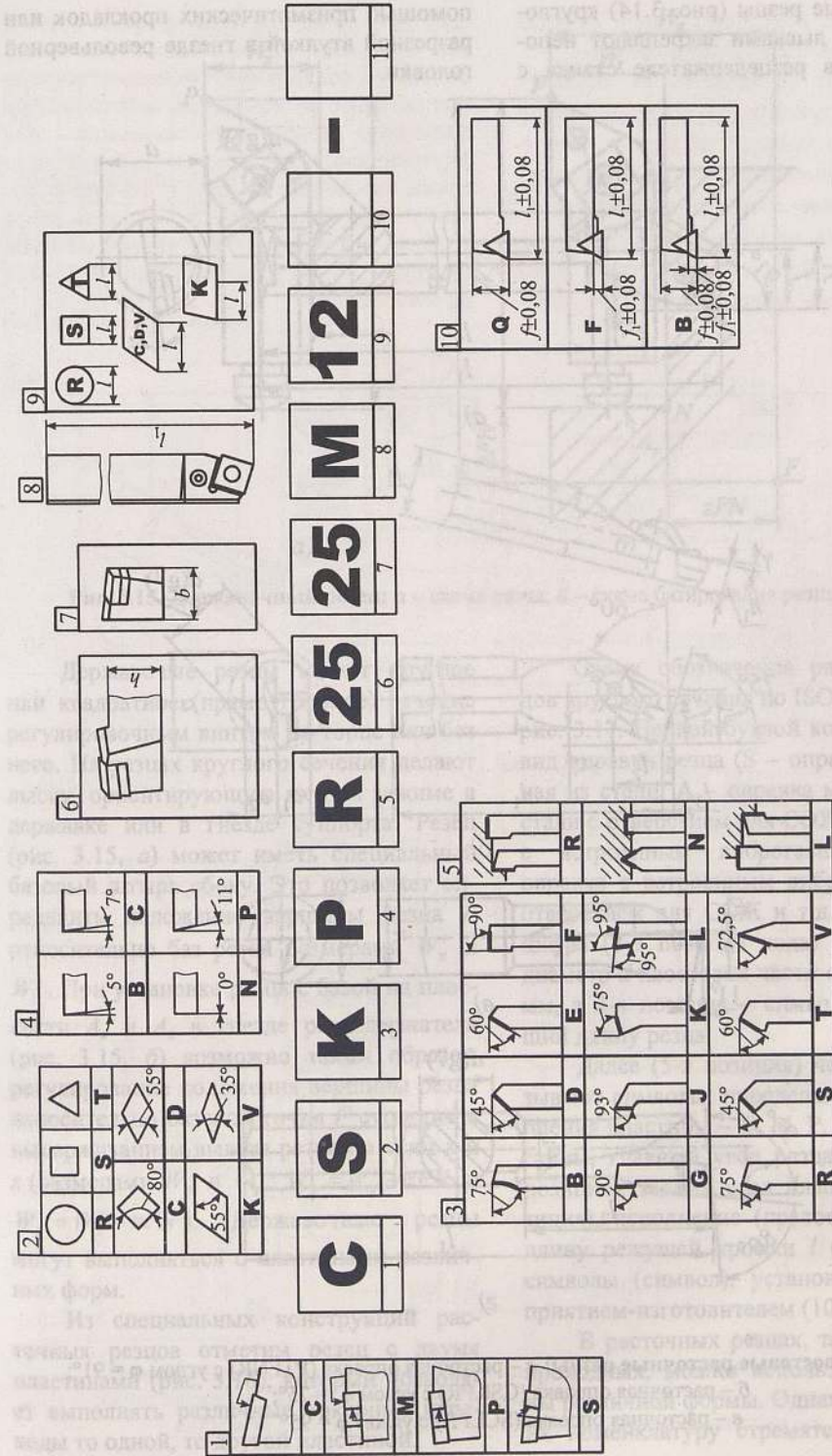


Рис. 3.13. Схема построения обозначений державок токарных резцов для наружного точения по ISO: 1 – метод крепления СМП; 2 – форма СМП; 3 – тип державки по главному углу в плане; 4 – задний угол СМП; 5 – исполнение державки; 6 – высота державки; 7 – ширина державки; 8 – длина резца; 9 – длина режущей кромки; 10 – обозначение для позиционных резцов; 11 – обозначение типа державки заводом-изготовителем

Хвостовые резцы (рис. 3.14) круглого сечения с лысками закрепляют непосредственно в резцедержателе станка с

помощью призматических прокладок или разрезной втулкой в гнезде револьверной головки.

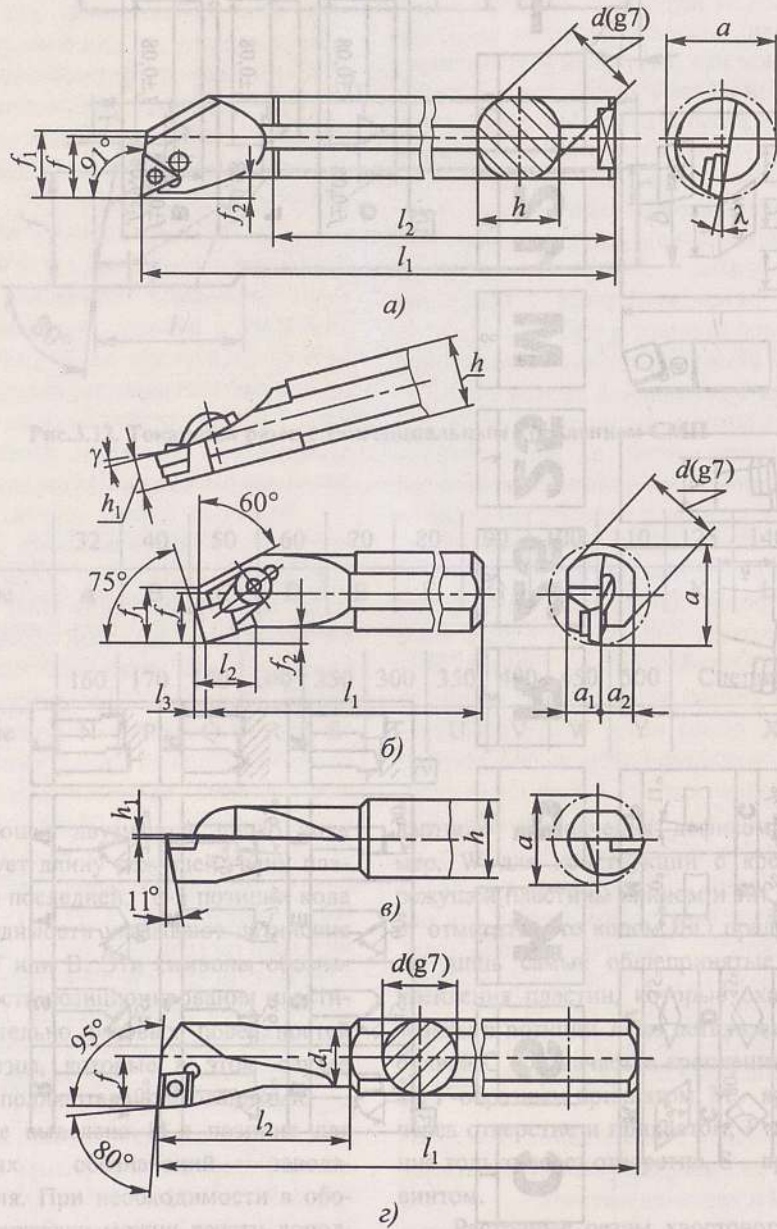


Рис. 3.14. Хвостовые расточные резцы: а – расточная оправка (PTFNR) с углом  $\varphi = 91^\circ$ ; б – расточная оправка (CSKPR) с углом  $\varphi = 75^\circ$ ; в – расточная оправка (SCLPR) с углом  $\varphi = 95^\circ$

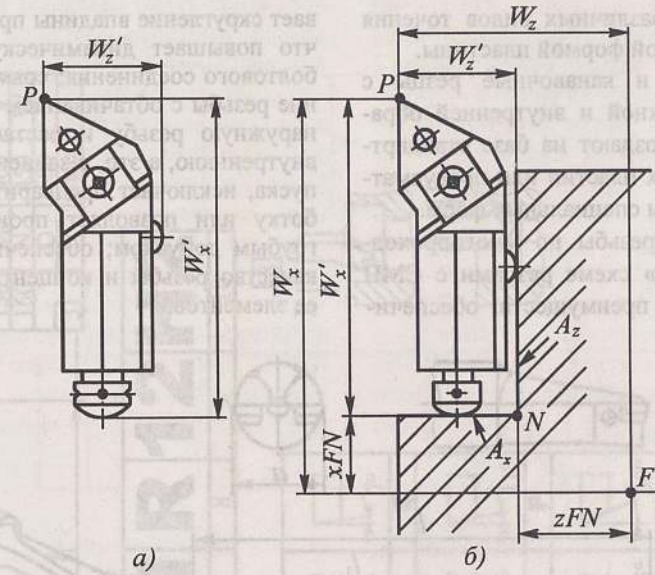


Рис. 3.15. Державочный резец: а – схема резца; б – схема базирования резца в гнезде

Державочные резцы имеют круглое или квадратное (прямоугольное) сечение регулировочным винтом на торце или без него. На резцах круглого сечения делают лыску, ориентирующую их при зажиме в державке или в гнезде суппорта. Резец (рис. 3.15, а) может иметь специальный базовый штырь сбоку. Это позволяет определить положение вершины резца  $P$  относительно баз резца размерами  $W_x'$  и  $W_z'$ . При установке резца с базой на плоскости  $A_x$  и  $A_z$  в гнезде резцедержателя (рис. 3.15, б) возможно таким образом регулирование положения вершины резца относительно базовой точки  $F$  суппорта с выдерживанием вылета резца по осям  $x$  и  $z$  (размерами  $W_x$  и  $W_z$ :  $W_z = W_z' + zFN$  и  $W_x = W_x' + xFN$ ). Державочные резцы могут выполняться с пластинами различных форм.

Из специальных конструкций расточных резцов отметим резец с двумя пластинами (рис. 3.16), который позволяет выполнять различные токарные переходы то одной, то другой пластиной.

Схема обозначения расточных резцов круглого сечения по ISO приведена на рис. 3.17. Первой буквой кода указывают вид оправки резца (S – оправка монолитная из стали; A – оправка монолитная из стали с отверстием для СОЖ; B – оправка с встроенным виброгасителем; D – оправка с встроенным виброгасителем и отверстием для СОЖ и т.д.). Двухзначная цифра (2-я позиция кода) характеризует диаметр  $d$  хвостовой части оправки резца, мм, а 3-я позиция – символ, определяющий длину резца.

Далее (5-я позиция) через тире указывают символы, определяющие тип крепления пластины – С, М, Р, S, форму пластины, главный угол резца в плане (6-я позиция), задний угол пластины (7-я позиция), исполнение (правое R, левое L), длину режущей кромки  $l$  (9-я позиция), символы (символ), установленные предприятием-изготовителем (10-я позиция).

В расточных резцах, так же, как и в проходных, можно использовать пластины различной формы. Однако на практике их номенклатуру стремятся ограничить,

используя для различных видов точения державки с единой формой пластины.

Резьбовые и канавочные резцы с СМП для наружной и внутренней обработки обычно создают на базе стандартных трехгранных пластин или предусматривают пластины специальных форм.

Нарезание резьбы по многопроходной «челночной» схеме резцами с СМП обладает рядом преимуществ: обеспечи-

вает скругление впадины профиля резьбы, что повышает динамическую прочность болтового соединения; совмещает нарезание резьбы с обтачиванием заготовки под наружную резьбу и растачивание под внутреннюю, а это, в зависимости от припуска, исключает предварительную обработку или позволяет производить ее с грубым допуском; обеспечивает высокое качество резьбы и концентричность всех ее элементов.

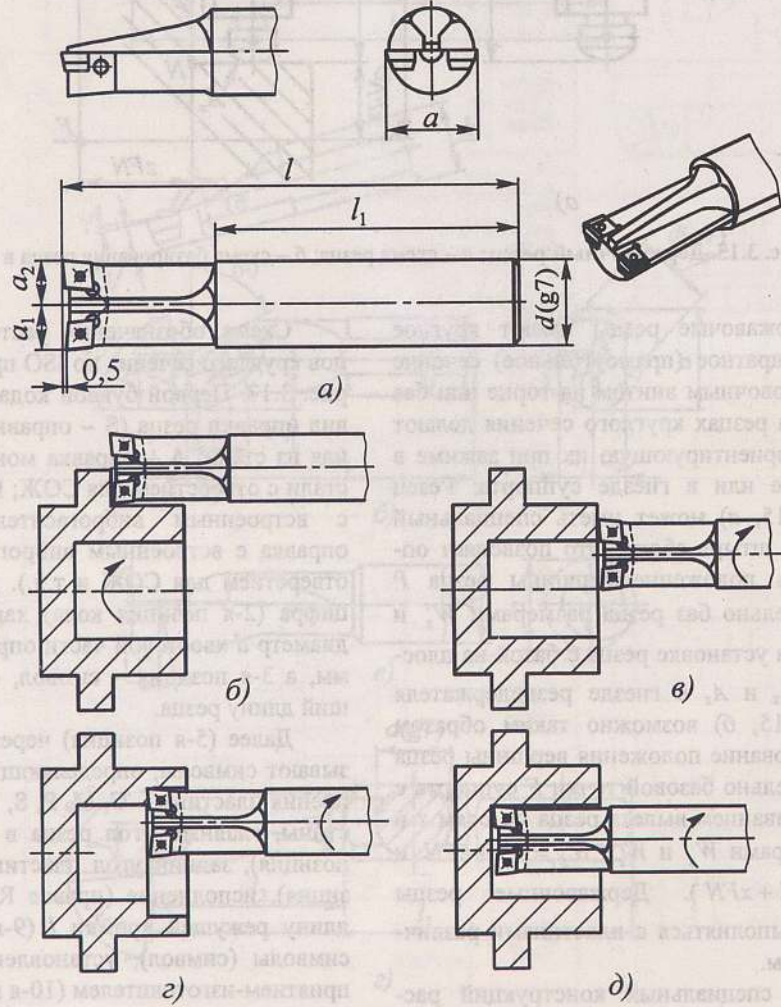


Рис. 3.16. Расточный резец с двумя пластинами и схема его использования:  
 а – конструкция расточного резца; б – наружное обтачивание; в – подрезка торца;  
 г – растачивание отверстия; д – подрезка торца глухого отверстия

$l_1$	ISO	$l_1$	ISO
32	A	180	Q
40	B	200	R
50	C	250	S
...	...	300	...
140	L	350	U
150	M	400	V
160	N	450	W
...	...	500	Y
3	P	слеп.	X

1 – цельный из стали  
 А – с отверстием для СОЖ  
 В – с виброгасящим хвостовиком  
 ...  
 J – из легкого сплава с отверстием для СОЖ

S 40 T – P K L N R 12 H 2

1	2	3
---	---	---

4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	----

5	R	S	T
6	80°	55°	35°
7	C	D	V

4	C	M
5	P	S

7	B	5°	C	7°
8	N	0°	P	11°
9	D	15°	G	30°

Рис. 3.17. Схема построения обозначения расточных резцов по ISO: 1 – вид корпуса державки; 2 – диаметр хвостовика; 3 – длина хвостовика; 4 – тип крепления СМП; 5 – форма СМП; 6 – главный угол в плане; 7 – задний угол; 8 – исполнение; 9 – длина режущей кромки СМП; 10 – особые обозначения предприятия-изготовителя

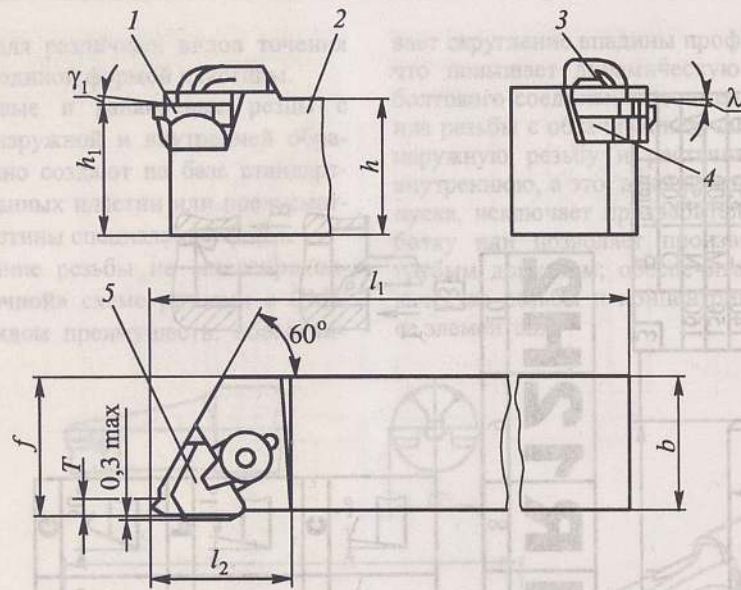


Рис. 3.18. Резец для нарезания наружных резьб

Резец для нарезания наружной метрической резьбы (исполнение правое) состоит из режущей твердосплавной СМП 1 (рис. 3.18), корпуса 2, узла крепления 3, опорной пластины 4 с уступом, фиксирующим положение пластины, накладного стружколома 5. Опорную пластину укрепляют на корпусе штифтом (на рисунке не показан). В стандартном исполнении  $\gamma = 2^\circ$  и  $\lambda = 1^\circ$ . При необходимости

изменения этих углов под резец подкладывают соответствующие клинья. В зависимости от шага нарезаемой резьбы выбирают тип режущей пластины.

Отрезные резцы с клиновым креплением режущей пластины могут быть выполнены с призматической державкой (рис. 3.19). В таких резцах крепление плоской пластины, имеющей с двух сторон V-образную канавку, осуществляется в

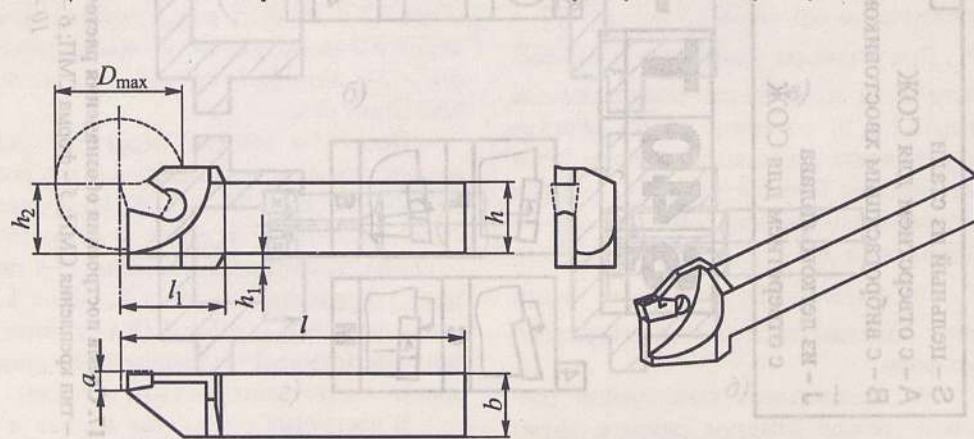


Рис. 3.19. Отрезной резец с клиновым креплением СМП

клиновом пазу державки (угол клина  $15^\circ$ ). Корпус пластинчатых отрезных резцов (рис. 3.20, а, б) имеет трапецевидальное сечение для правого или левого закрепления резца в державке, а для любого вида закрепления – вытянутое шестиугольное сечение с углом  $150^\circ$  на верхней и нижней частях или прямоугольное сечение. Пластинчатые резцы закрепляют в державках с пазом типа «ласточкин хвост» или прямоугольным пазом.

Для многопереходной обработки корпусных деталей (расточивания, подрезания торцов, снятия фасок и других операций) применяют унифицированные рез-

цы-вставки, закрепляемые на оправках в самых разнообразных сочетаниях (рис. 3.21). Существует несколько конструктивных исполнений резцовых вставок с различными углами в плане, параметрами пластин и методами их закрепления на корпусах: призматические без регулировочных винтов; с винтами для поперечного и осевого регулирования; с поперечным регулированием за счет упругого деформирования; малогабаритные с винтом для поперечного регулирования; круглого сечения без винта или с винтом для осевого регулирования и прецизионные («Микробор»).

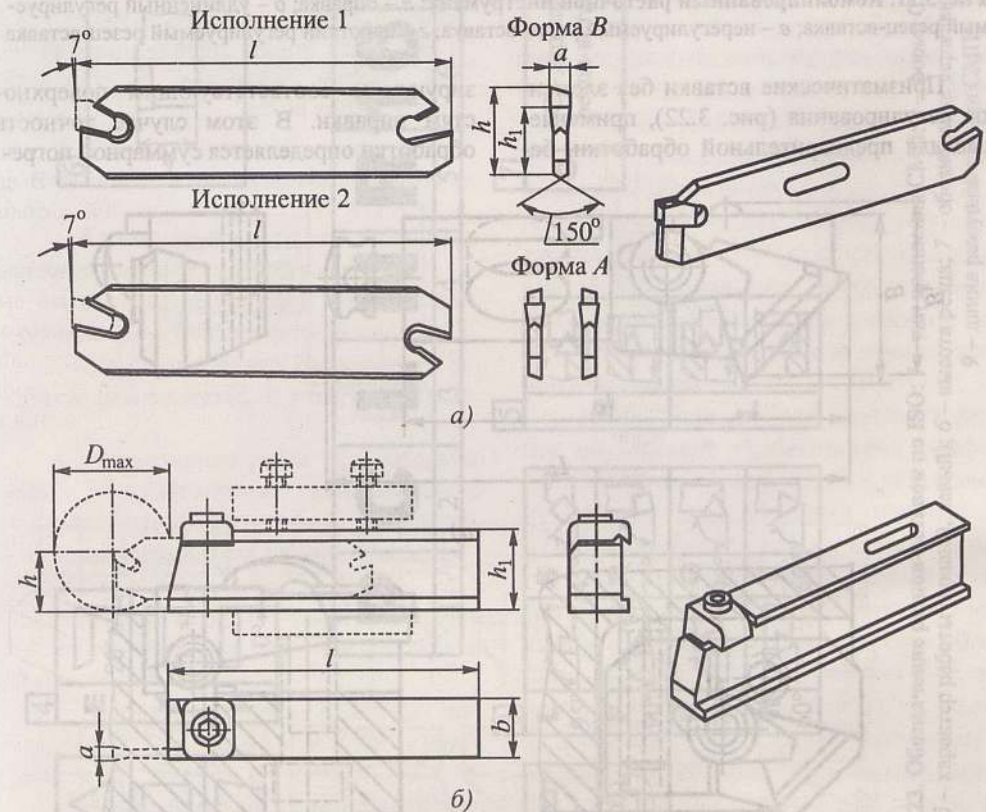


Рис. 3.20. Пластинчатый отрезной резец: а – пластина; б – державка для крепления резца



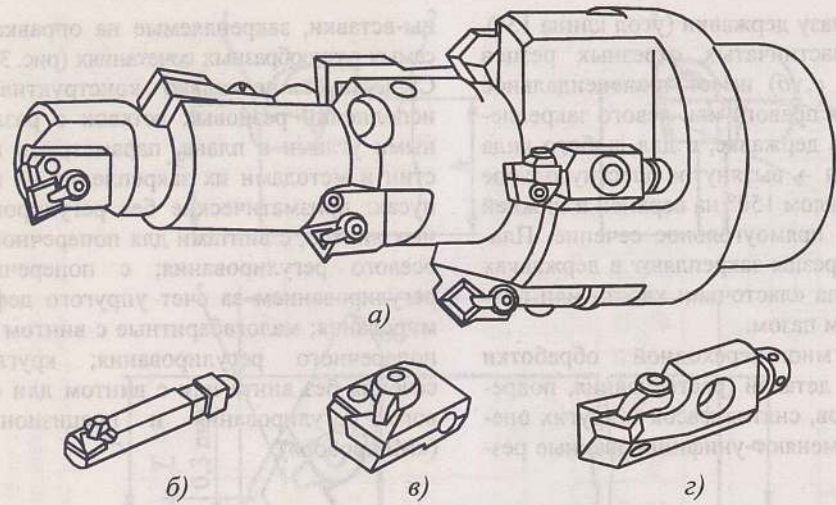


Рис. 3.21. Комбинированный расточной инструмент: а – оправка; б – удлиненный регулируемый резец-вставка; в – нерегулируемый резец-вставка; г – короткий регулируемый резец-вставка

Призматические вставки без элементов регулирования (рис. 3.22), применяемые для предварительной обработки, ба-

зируют по соответствующим поверхностям оправки. В этом случае точность обработки определяется суммарной погреш-

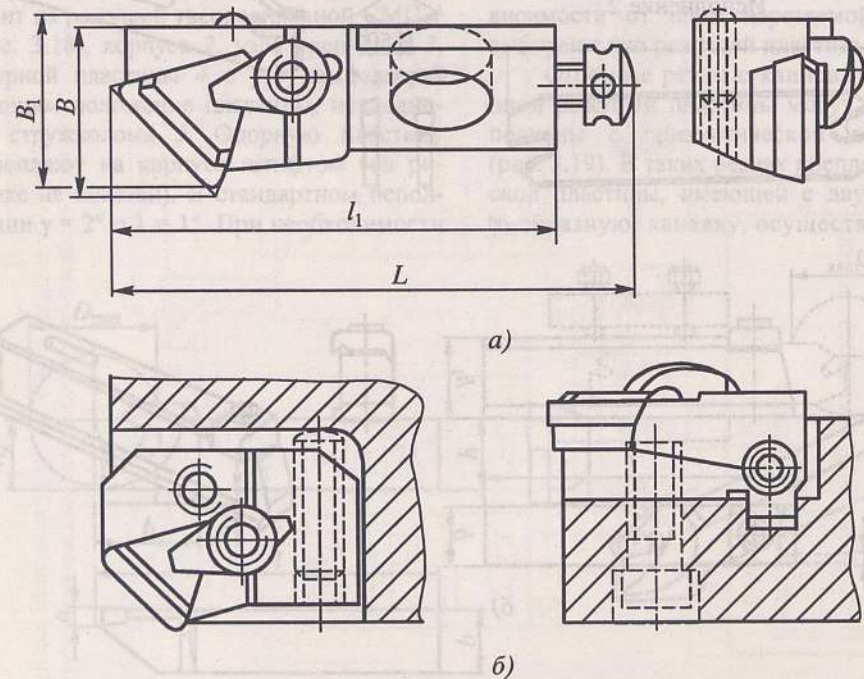


Рис. 3.22. Регулируемый резец-вставка: а – с винтами осевого и радиального регулирования; б – малогабаритный

9																																									
8	Тип А Буква для других исполнений																																								
6																																									
7	С – державка резца-вставки																																								
5	<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>R</td> <td>L</td> </tr> </table>					R	L																																		
R	L																																								
4	<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>P</td> <td>N</td> </tr> </table>				E	P	N	<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S</td> <td>R</td> <td>G</td> <td>T</td> </tr> </table>						S	R	G	T																								
E	P	N																																							
S	R	G	T																																						
3	<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>F</td> <td>K</td> <td>W</td> </tr> </table>					L	F	K	W	<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>P</td> <td>C</td> </tr> </table>				P	C																										
L	F	K	W																																						
P	C																																								
2	<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>T</td> <td>S</td> <td>C</td> </tr> </table>				T	S	C	<table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>P</td> <td>C</td> <td>L</td> <td>N</td> <td>R</td> <td>16</td> <td>C</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td colspan="8">- 12</td> </tr> <tr> <td colspan="8">9</td> </tr> </table>		1	2	3	4	5	6	7	8	P	C	L	N	R	16	C	A	- 12								9							
T	S	C																																							
1	2	3	4	5	6	7	8																																		
P	C	L	N	R	16	C	A																																		
- 12																																									
9																																									

Рис. 3.23. Обозначение резцов-вставок по ISO: 1 – тип крепления СМП; 2 – форма СМП; 3 – главный угол в плане; 4 – задний угол; 5 – характер работы (правый, левый); 6 – высота резца; 7 – обозначение державки; 8 – кодовое обозначение исполнителя; 9 – длина режущей кромки СМП

шностью изготовления базовых поверхностей вставок, режущих пластин и оправок. Вставку фиксируют шпоночным выступом в пазу оправки, упирают торцом в стенку паза или в регулировочный винт и закрепляют одним или двумя болтами. Наличие в оправке регулировочных винтов позволяет перемещать каждую вставку вдоль ее оси. Таким образом, собственно вставка, состоящая из минимального числа деталей (корпуса, режущей пластины и узла ее крепления), обладает большой жесткостью и работает в тяжелых условиях.

Резцы-вставки с винтами для осевого и радиального регулирования (рис. 3.22, а) закрепляют в гнезде оправки винтом, проходящим через продолговатое отверстие корпуса обычно под углом  $45^\circ$ .

Малогабаритные вставки (рис. 3.22, б) в осевом направлении фиксируют шпоночным выступом в пазу оправки, а в поперечном – регулировочным винтом. Бла-

годаря небольшим размерам эти вставки удобны в компоновке. Их часто применяют для снятия фасок или подрезания торцов.

На рис. 3.23 приведена система обозначения резцов-вставок по ISO.

Гибкая модульная система инструментов (рис. 3.24), основанная на применении модулей, также имеет в своем составе ряд резцов-вставок и соответствующие элементы их крепления.

Резцовые головки различных типов расширяют спектр операций, выполняемых на металлорежущих станках. Головки позволяют обтачивать цилиндрические, конические и профильные поверхности тел вращения с точностью по 8–11 квалитетам, стационарно закрепленных или вращающихся заготовок с осевой подачей, а также вытачивать канавки, фаски и подрезать торцы трансформацией осевой подачи шпинделя в поперечное перемещение резца.

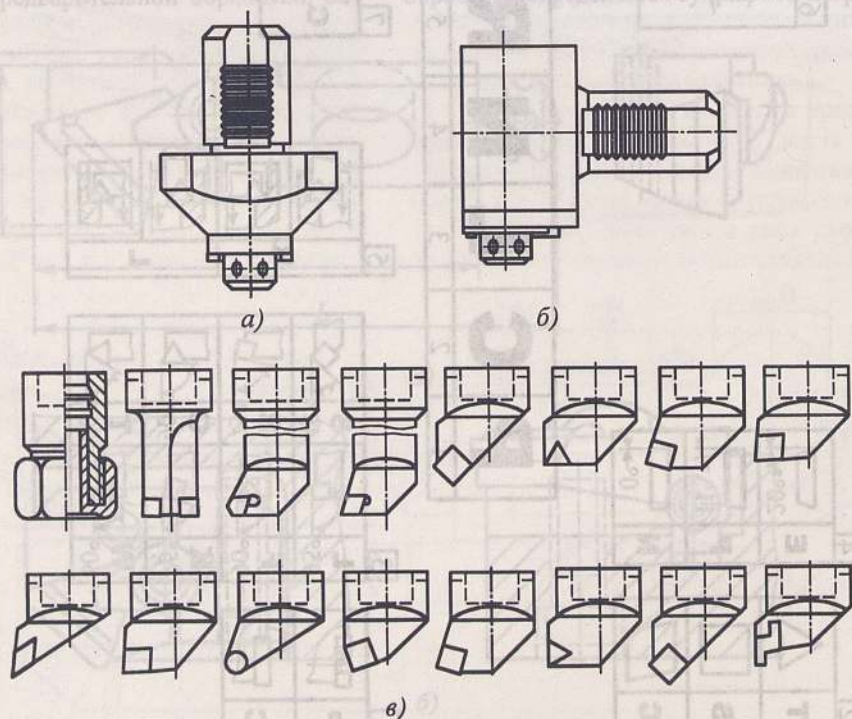


Рис. 3.24. Гибкая модульная система инструментов: а – с осевым закреплением модулей; б – с угловым закреплением модулей; в – модули

Головки с СМП получают все более широкое распространение для подрезания торцов деталей типа валов с одновременным обтачиванием заплечиков, снятием фасок, растачиванием неглубоких отверстий, сверлением, центрованием и т. п.

### 3.9. Фасонные резцы

Фасонные резцы широко применяют в серийном, крупносерийном и массовом производствах при обработке фасонных деталей на автоматах, полуавтоматах и других станках. Различают *призматические, круглые и тангенциальные* резцы, из быстрорежущей стали или оснащенные твердосплавными пластинами. Точно изготовленные фасонные резцы при правильной установке их на станках обеспечивают высокую производительность, точность формы и размеров обрабатываемых деталей по IT8–IT12 и поверхность с  $Ra = 63 \dots 2,5$  мкм.

Фасонные резцы можно классифицировать по следующим признакам (рис. 3.25):

- форма: круглые (а, г, е, ж, и) и призматические (б, в, д, з);
- вид обрабатываемой поверхности: наружные (а–в, д–и) и внутренние (з);
- направление подачи относительно заготовки: радиальные (а, б) и тангенциальные (в);
- расположение резца относительно детали: с параллельным расположением осей или базы крепления (а–г) и с повернутым расположением осей или базы крепления под углом  $\mu$  (д, е);
- расположение передней поверхности: без наклона (а–е, и) и с наклоном под углом  $\lambda$  (ж, з);
- форма образующих фасонных поверхностей: кольцевые (а, г, е, ж) и винтовые (и).

По сравнению со стержневыми токарными резцами фасонные резцы обладают следующими достоинствами: большая производительность, высокая точность профиля и размеров детали, дли-

тельный срок службы, простота заточки и переточки, не требуют высококвалифицированных рабочих. Недостатками фасонных резцов являются: сложность изготовления, необходимость точной установки, высокая стоимость, разные условия резания и износа по длине режущих кромок.

Призматические резцы применяют для обработки наружных поверхностей. По сравнению с круглыми резцами они обладают повышенной жесткостью и надежностью крепления, высокой точностью обработки, лучшим теплоотводом, простотой установки на станках.

Круглые (дисковые) резцы применяют для обработки наружных и внутренних поверхностей, так как они более технологичны по сравнению с призматическими резцами, но сложнее в установке, обеспечивают большее количество переточек и имеют повышенный срок службы.

Радиальные фасонные резцы имеют подачу, направленную по радиусу, а тангенциальные – подачу, направленную по касательной к поверхности детали. В производстве наибольшее распространение получили фасонные резцы с радиальной подачей, так как они проще в эксплуатации и настройке.

Многообразие типов фасонных резцов обусловлено особенностями профилей обрабатываемых деталей и условиями их работы. При обработке простых и сложных профилей широко применяются круглые и призматические резцы с осью или базой крепления, параллельной оси детали (см. рис. 3.25, а, б, г). При обработке деталей, имеющих участки с углом профиля  $90^\circ$  (см. рис. 3.25, д, е), на участке  $a'-b'$  рекомендуется применять резцы с осью или базой крепления, наклоненной под углом  $\mu = 10 \dots 20^\circ$  к оси детали. В этом случае на участке  $a'-b'$  образуются передние и задний углы, а резцы имеют значительно меньший износ по сравнению с обычными резцами.

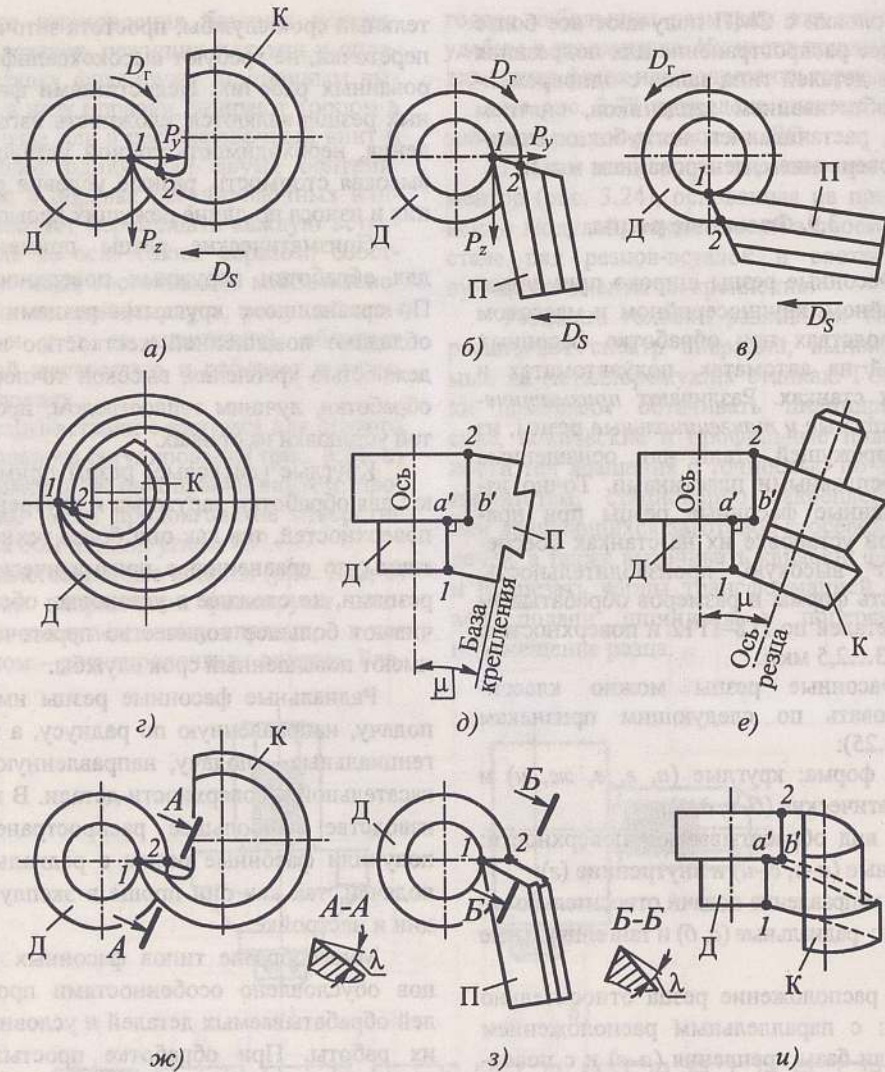


Рис. 3.25. Типы фасонных резцов: Д – деталь; К – круглые резцы; П – призматические резцы; 1–2 – режущие кромки;  $D_r$  – главное движение;  $D_s$  – движение подачи

Для получения на профиле детали точного конического участка рекомендуется применять фасонные резцы с наклоном передней поверхности под углом  $\lambda$  (рис. 3.25, ж, з). Это приводит к тому, что режущая кромка резца (1–2) будет расположена на оси детали и погрешность детали на этом участке будет минимальной.

Круглые фасонные резцы с винтовой задней поверхностью (см. рис. 3.25, и), хотя и улучшают условия работы на уча-

стке по сравнению с обычными круглыми резцами, но не нашли широкого распространения из-за сложности изготовления.

**Подготовка размеров детали для проектирования.** Перед проектированием фасонных резцов изучают чертеж детали и определяют возможность ее обработки по всему профилю фасонным резцом выбранной конструкции на применяемом оборудовании.

На профиле детали обозначают характерные (узловые) точки 1, 2, 3 и др. (рис. 3.26, а). По заданным диаметрам детали ( $d_{д1}$ ,  $d_{д2}$  и др.) определяют соответствующие им расчетные диаметры  $d_1$ ,  $d_2$  и др. в характерных точках с учетом симметричности расположения полей допусков (поля допусков на диаметры на рис. 3.26, б заштрихованы). Например, если  $d_{д2} = 20^{+0,1}_{-0,02}$ , то допуск равен 0,12 мм, расчетный диаметр  $d_2 = 20,04$  мм, а симметричный допуск  $T_2 = 0,06$  мм, т.е.  $d_2 = 20,04 \pm 0,06$ . Аналогичным образом определяют и другие расчетные диаметры детали, необходимые для дальнейших расчетов.

Симметричное расположение полей допусков на диаметры очень удобно при расчете допусков на высотные размеры детали, по которым в дальнейшем определяют допуски на высотные размеры резца.

При необходимости также пересчитывают линейные размеры детали ( $l_{д1}$ ,  $l_{д2}$  и др.), которые часто задаются конструктором от одной базы (в данном случае от

торца детали, рис. 3.26, а), в расчетные линейные размеры ( $l_1$ ,  $l_2$  и др., рис. 3.26, б). При этом следует учитывать, является ли этот линейный размер размером охватываемой поверхности (участки 1–2, 2–3 и 5–6) или охватывающей поверхности (участок 3–4–5) по отношению к режущей кромке резца. В данном случае расчетные линейные размеры будут следующими:  $l_1 = l_{д1}$ ;  $l_2 = l_{д2} - l_{д1}$  и др. Допуск на размеры охватываемых поверхностей принимают в «плюс», а на охватываемые – в «минус». Это связано с тем, что при обработке размеры охватываемых поверхностей детали за счет осевого биения шпинделя станка уменьшаются, а охватываемых, наоборот, увеличиваются.

На конических (7–2) и дуговых (3–4–5) участках вводят дополнительные точки 7 и 8 и определяют их координатные положения, необходимые для расчета погрешности в этих точках при обработке. Например, на коническом участке 1–2 положение точки 7 определяется линейным

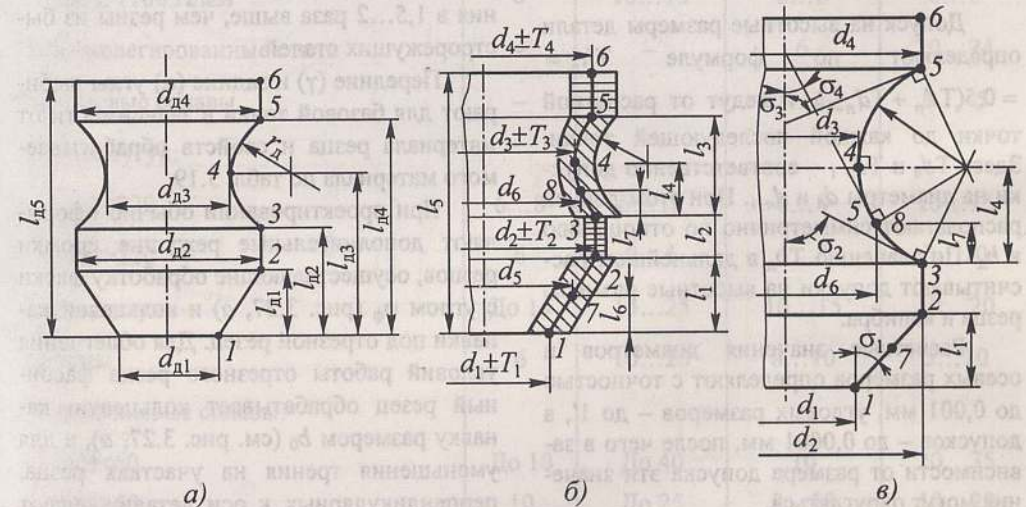


Рис. 3.26. Чертеж детали (а), схема полей допусков (б) и углы профиля в разных точках детали (в)

размером  $l_6$  и диаметром  $d_5$ . Для определения  $d_5$  рекомендуют предварительно задаться значениями  $l_6 \approx (0,5...0,6) l_1$  и рассчитать его по формуле  $d_5 = d_1 = l_6(d_2 - d_1)/l_1$ . На дуговом участке 3-4-5 положение дополнительной точки 8 определяется линейным размером  $l_7$  и диаметром  $d_6$ . Для определения величины  $d_6$  также рекомендуют предварительно задаться значением  $l_7 \approx (0,5...0,6) l_4$  и рассчитать его по формуле:

$$d_6 = d_3 - 2[r_d - \sqrt{r_d^2 - (l_4 - l_7)^2}].$$

Аналогичным образом определяют значения  $l$  и  $d$  для других принятых дополнительных точек участков детали.

В характерных точках конических и дуговых участков рассчитывают углы профиля  $\sigma_x$ . На коническом участке 1-2 (рис. 3.26, в), если угол не задан, его находят по формуле  $\text{tg } \sigma_1 = (d_2 - d_1)/(2l_1)$ . На дуговом участке 3-4-5 в точке 4  $\sigma_4 = 90^\circ$ , в точках 3 и 5  $d_2 = d_4$ , поэтому  $\sigma_2 = \sigma_4$  и определяют по формуле  $\text{tg } \sigma_2 = l_4/[r_d - 0,5(d_2 - d_3)]$ . В точке 8:

$$\text{tg } \sigma_3 = (l_4 - l_7)/[r_d - 0,5(d_6 - d_3)].$$

Допуск на высотные размеры детали определяют по формуле  $Th_d = 0,5(Td_n + Td_{n+1})$  и ведут от расчетной точки до каждой последующей точки. Здесь  $Td_n$  и  $Td_{n+1}$  — соответственно допуски на диаметры  $d_n$  и  $d_{n+1}$ . При этом допуск располагают симметрично по отношению к  $h_d$ . По значению  $Th_d$  в дальнейшем рассчитывают допуски на высотные размеры резца и калибра.

Расчетные значения диаметров и осевых размеров определяют с точностью до 0,001 мм, угловых размеров — до 1', а допусков — до 0,0001 мм, после чего в зависимости от размера допуска эти значения могут округляться.

**Проектирование и расчет параметров фасонных резцов.** При проекти-

ровании фасонных резцов выбирают инструментальный материал и конструкцию резца, геометрические и конструктивные параметры, от которых зависят производительность и точность обработки, стойкость и экономическая эффективность операции фасонного точения.

Для изготовления фасонных резцов рекомендуют применять быстрорежущие стали марок Р6М3, Р6М5К5, Р9К10, Р10К5Ф5 и др. и твердые сплавы марок ВК10-М, ВК8, Т15К6 и др. При обработке сталей экономически выгодно использовать резцы из следующих марок быстрорежущих сталей (в порядке убывания экономии): Р10К5Ф5, Р18М, Р18, Р9К10, Р18К5Ф2, Р9К5 и Р6М3.

При обработке сталей наилучшие результаты показывают резцы из твердого сплава марки ВК10-М. Этот сплав обладает высокой твердостью, менее хрупок и более теплопроводен, менее чувствителен к микротрещинам и выкрашиванию, чем сплав Т15К6, что создает более благоприятные условия при шлифовании профиля резцов. Фасонные резцы, оснащенные сплавом ВК10-М, при обработке деталей из стали 45 работают со скоростью резания в 1,5...2 раза выше, чем резцы из быстрорежущих сталей.

Передние ( $\gamma$ ) и задние ( $\alpha$ ) углы выбирают для базовой точки в зависимости от материала резца и свойств обрабатываемого материала по табл. 3.19.

При проектировании обычно оформляют дополнительные режущие кромки резцов, осуществляющие обработку фаски с углом  $\phi_f$  (рис. 3.27, а) и кольцевой канавки под отрезной резец. Для облегчения условий работы отрезного резца фасонный резец обрабатывает кольцевую канавку размером  $b_0$  (см. рис. 3.27, а), а для уменьшения трения на участках резца, перпендикулярных к оси детали, делают под углом  $\phi_2$  поднутрение (рис. 3.27, б) или ленточки размером 0,5 мм (рис. 3.27, в).

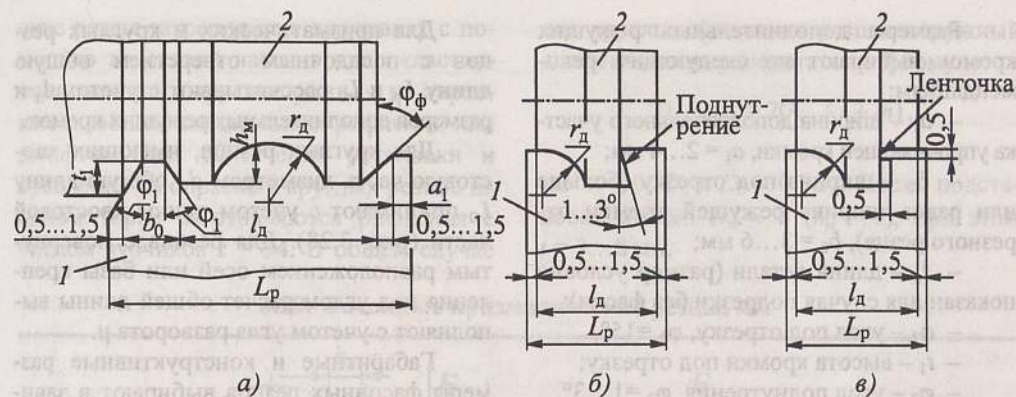


Рис. 3.27. Оформление дополнительных режущих кромок фасонных резцов:

а — для обработки фаски и кольцевой канавки под отрезной резец;  
б и в — для подрезки торцовых участков; 1 — резец; 2 — деталь

### 3.19. Рекомендуемые ВАЗ значения задних и передних углов фасонных резцов, °

Обрабатываемые материалы	Материалы резцов			
	быстрорежущая сталь		твердый сплав	
	$\alpha$	$\gamma$	$\alpha$	$\gamma$
Углеродистые и легированные стали:				
$\sigma_B < 1100 \text{ Н/мм}^2$	8	10...15	6...8	0...10
$\sigma_B \geq 1100 \text{ Н/мм}^2$	8	10...15	6...8	0...6
Высоколегированные стали	—	—	6	20...24
Титановые сплавы	—	—	11...12	0...—5
Серый чугун:				
НВ<220	6...8	6...12	6...8	10...15
НВ>220	6	0...6	6...8	0...10
Медь, латунь	До 14	15...25	10...15	10...20
Бронзы	6	10...20	8...10	5...10
Алюминиевые сплавы:				
НВ<60	До 10	До 40	10	20...35
НВ>60	10	До 25	8...10	10...20
Силумины (9...13% Si)	10	10...18	8...10	8...15

Размеры дополнительных режущих кромок выбирают по следующим рекомендациям:

- $a_1$  – ширина дополнительного участка упрочняющей кромки,  $a_1 = 2 \dots 4$  мм;
- $b_0$  – ширина под отрезку (больше или равна ширине режущей кромки отрезного резца),  $b_0 = 3 \dots 6$  мм;
- $l_d$  – длина детали (размер условно показан для случая подрезки без фаски);
- $\phi_1$  – угол под отрезку,  $\phi_1 = 15^\circ$ ;
- $t_1$  – высота кромки под отрезку;
- $\phi_2$  – угол поднутрения,  $\phi_2 = 1 \dots 3^\circ$ .

Приведенные виды оформления дополнительных режущих кромок обычно применяют у фасонных резцов с осью или базой крепления, параллельной оси детали.

Для призматических и круглых резцов с посадочным отверстием общую длину  $L_p$  и  $L_0$  рассчитывают с учетом  $l_d$  и размеров дополнительных режущих кромок.

Для круглых резцов, имеющих хвостовую часть диаметром  $d_1$ , общую длину  $L_0$  принимают с учетом длины хвостовой части (рис. 3.28). Для резцов с повернутым расположением осей или базы крепления под углом расчет общей длины выполняют с учетом угла разворота  $\mu$ .

Габаритные и конструктивные размеры фасонных резцов выбирают в зависимости от максимальной глубины профиля обрабатываемой детали:  $h_m = r_{d \max} - r_{d \min}$ , по табл. 3.20 и 3.21. Призматиче-

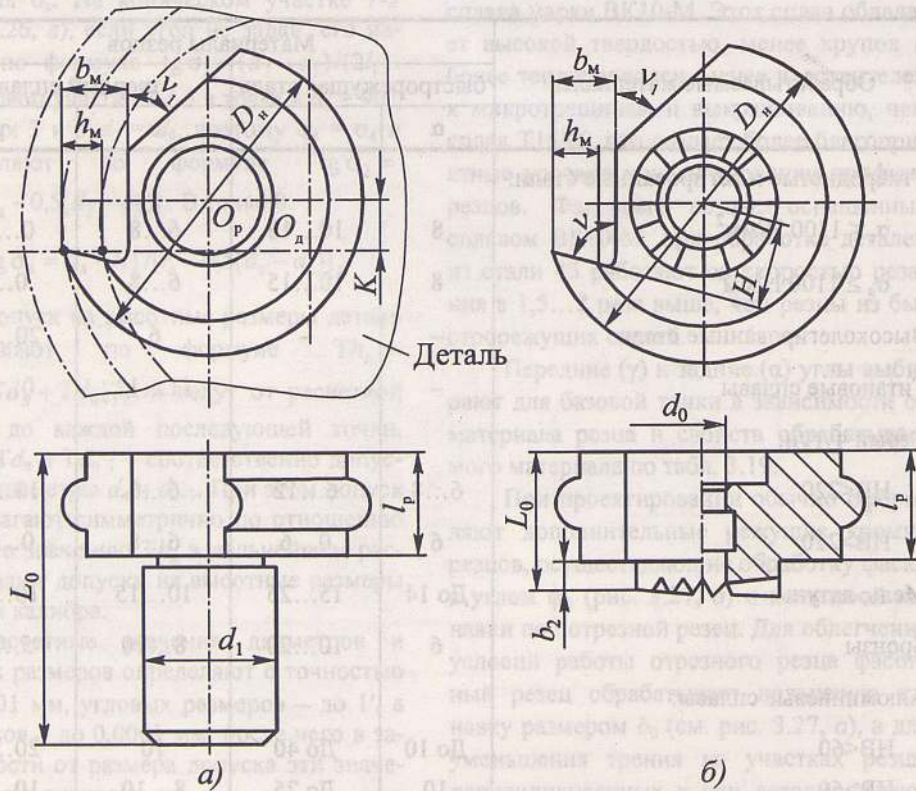


Рис. 3.28. Круглые фасонные резцы для внутренней обработки с цилиндрическим хвостовиком (а) и торцовыми рифлениями (б)

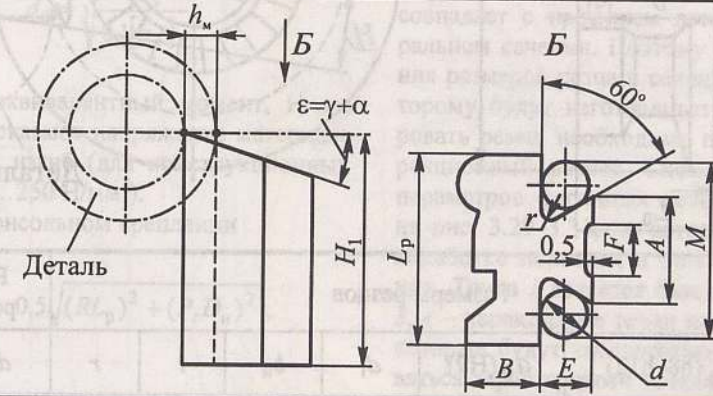
ские резцы закрепляют в державках с помощью хвостовой части в виде «ласточкина хвоста», а круглые резцы – на оправке с помощью специальных рифлений или штифтов. Для облегчения установки и крепления на оправке у круглых резцов на одном торце изготавливаются рифления с числом зубчиков  $z = 34$ . В общем случае

для круглых фасонных резцов наружный диаметр можно рассчитать по формуле:

$$D_n \approx d_0 + 2(h_m + t + m),$$

где  $m = 0,1D_n$  и  $D_0 \approx 0,3D_n$ . После подстановки имеем:  $D_n \approx 4(h_m + t)$ , при этом  $t = 3 \dots 8$  мм.

3.20. Фасонные призматические резцы, мм



$h_m$	Размеры резцов						Контрольные размеры хвостовиков	
	$B$	$H_1$	$E$	$A$	$F$	$r$	$d$	$M$
4	9	75	4	15	7	0,5	3; 4	18,57; 21,31
6	14	75	6	20	10	0,5	4; 6	24,00; 29,46
10	19	75	6	25	15	0,5	4; 6	29,00; 34,46
14	25	90	10	30	20	1,0	6; 10	34,84; 45,77
20	35	90	10	40	25	1,0	6; 10	44,84; 55,77
28	45	100	15	60	40	1,0	8; 15	64,53; 83,66

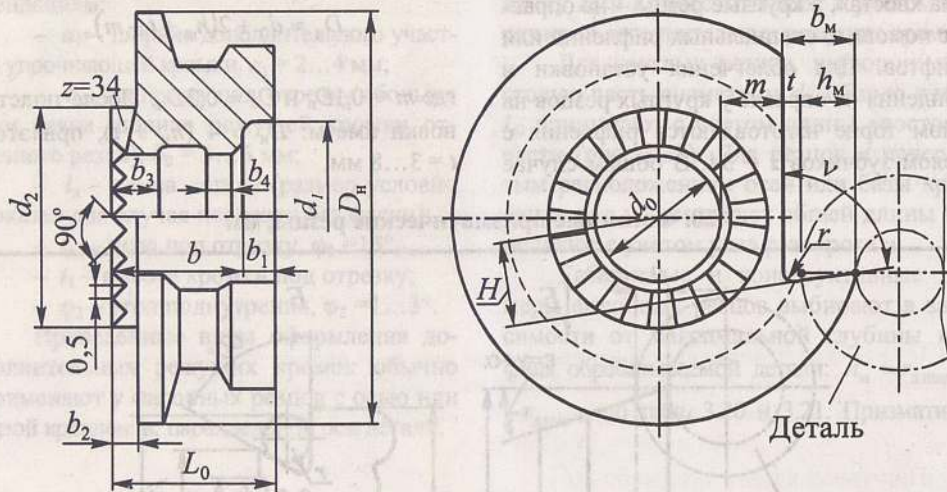
Примечания: 1. Допускается изменение габаритных размеров для принятых значений глубины профиля детали  $h_m$ .

2. При наличии контрольных роликов других диаметров  $d$  размер  $M$  рассчитывают по формуле:

$$M = A + d(1 + \text{ctg } 30^\circ) - 2F \text{ctg } 60^\circ.$$

3. При ширине резца  $L_p > 2,5A$  допускается применение хвостовиков большего размера.

3.21. Круглые фасонные резцы с торцовыми рифлениями, мм



$h_m$	Размеры резцов						Размеры рифлений	
	$D_n$ (h8-h12)	$d_0$ (H9)	$d_1$	$b_m$	$t$	$r$	$d_2$	$b_2$
До 4	30	10	16	7	3	1	-	-
6	40	13	20	10	3	1	20	3
8	50	16	25	12	4	1	26	3
10	60	16	25	14	4	2	32	3
12	70	22	34	17	5	2	35	4
15	80	22	34	20	5	2	40	4
18	90	22	34	23	5	2	45	5
21	100	27	40	26	5	2	50	5

Примечания: 1. Размеры  $b_1$  и  $b_3$  выбирают в следующих пределах:  $b_1 = (0,25...0,5)L_0$ ,  $b_3 = 0,25 b$ .

2. Для резцов с  $\gamma < 15^\circ - \nu = 80^\circ$ , а с  $\gamma \geq 15^\circ - \nu = 70^\circ$ .

3. Допускается изменение значения  $D_n$  для принятых величин  $h_m$ .

Круглые фасонные (дисковые) резцы для внутренней обработки из-за небольших габаритных размеров могут выполняться с посадкой на оправку диаметром  $d_0$  (рис. 3.28, б) или на хвостовую часть

диаметром  $d_1$  (рис. 3.28, а), выполненную цельной или сварной.

Наружный диаметр резца  $D_n \leq (0,75...0,8)d_{заг}$ , где  $d_{заг}$  – минимальный диаметр отверстия у заготовки. Для

повышения жесткости закрепления резца необходимо, чтобы  $d_1 \geq d_0$ . Для облегчения ввода резца в отверстие заготовки верхнюю часть резца срезают под углом  $\nu_1 = 50^\circ$ . Размер среза обычно определяют графическим способом с учетом размеров  $d_{заг}$ ,  $D_n$ ,  $h_m$  и др.

Диаметр посадочного отверстия рассчитывают по формуле:

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{M_3}{0,1[\sigma_n]}}$$

где  $M_3$  – эквивалентный момент, Н·мм;  $[\sigma_n]$  – допускаемое напряжение материала оправки на изгиб (для конструкционных сталей 200...250 Н/мм<sup>2</sup>).

При консольном креплении

$$M_3 \approx 0,5\sqrt{(RL_p)^2 + (P_z D_n)^2},$$

а при двустороннем креплении

$$M_3 \approx 0,25\sqrt{0,25(RL_p)^2 + (P_z D_n)^2},$$

где  $R$  – равнодействующая сила,  $R = \sqrt{P_z^2 + P_y^2}$ , Н (расчет сил  $P_z$  и  $P_y$  см. ниже). Аналогичным образом рассчитывают диаметр  $d_1$  при консольном креплении резца в державке. При  $L_p > 30$  мм рекомендуют применять державки с двусторонним креплением, обеспечивающие требуемую жесткость и надежность закрепления резца при работе. После расчетов значения  $D_n$ ,  $d_0$  и  $d_1$  округляют до ближайших больших значений из нормального ряда чисел.

Для осуществления процесса резания фасонные резцы имеют задние и передние углы. У призматических резцов задний и передний углы получают за счет установки и поворота резца относительно базовой точки  $l$  обрабатываемой детали (рис. 3.29),

для чего переднюю поверхность резца затачивают под углом  $\epsilon = \gamma + \alpha$ . У круглых фасонных резцов (рис. 3.30, 3.31) задний угол  $\alpha$  создается за счет смещения центра резца  $O_p$  на величину  $K$  относительно оси детали  $O_d$ , а передний угол  $\gamma$  образуется за счет заточки передней поверхности резца.

Из-за наличия угла  $\epsilon$  профиль сечения у призматических и круглых фасонных резцов, перпендикулярный к их задним поверхностям (рис. 3.29, сечение А-А), не совпадает с профилем детали в диаметральном сечении. Поэтому для определения размеров резца в сечении А-А, по которому будут изготавливать и контролировать резец, необходимо проводить коррекционный расчет. Схемы для расчета параметров фасонных резцов приведены на рис. 3.29–3.31, на которых резцы при обработке показаны в конечном положении. Точка  $l$  является базовой, а точки 2, 3, 4 – характерные точки профиля детали, которые будут соответственно обрабатываться характерными точками  $1p$ ,  $2p$ ,  $3p$  и  $4p$  режущей кромки резца. Для удобства расчета вводится текущая точка профиля детали  $x$  и соответствующая ей текущая точка режущей кромки резца  $x_p$ , для которой в дальнейшем будут приведены формулы для расчета геометрических параметров фасонных резцов. На расчетных схемах приняты следующие обозначения:

ПРК – проекция режущей кромки;

$P_{nc1}$  и  $P_{ncx}$  – соответственно статические плоскости резания в базовой  $l$  и текущей  $x$  точках режущей кромки;

$P_{vc1}$  и  $P_{vcx}$  – соответственно основные плоскости в базовой  $l$  и текущей  $x$  точках режущей кромки;

$v_1$  и  $v_2$  – векторы скорости резания соответственно в базовой и текущей точках;

$r_s$  и  $r_x$  – радиусы соответственно в базовой  $l$  и текущей точках профиля детали;

$\gamma_1 = \gamma$ ,  $\alpha_1 = \alpha$  – соответственно рекомендуемые значения переднего и заднего углов в базовой точке режущей кромки;

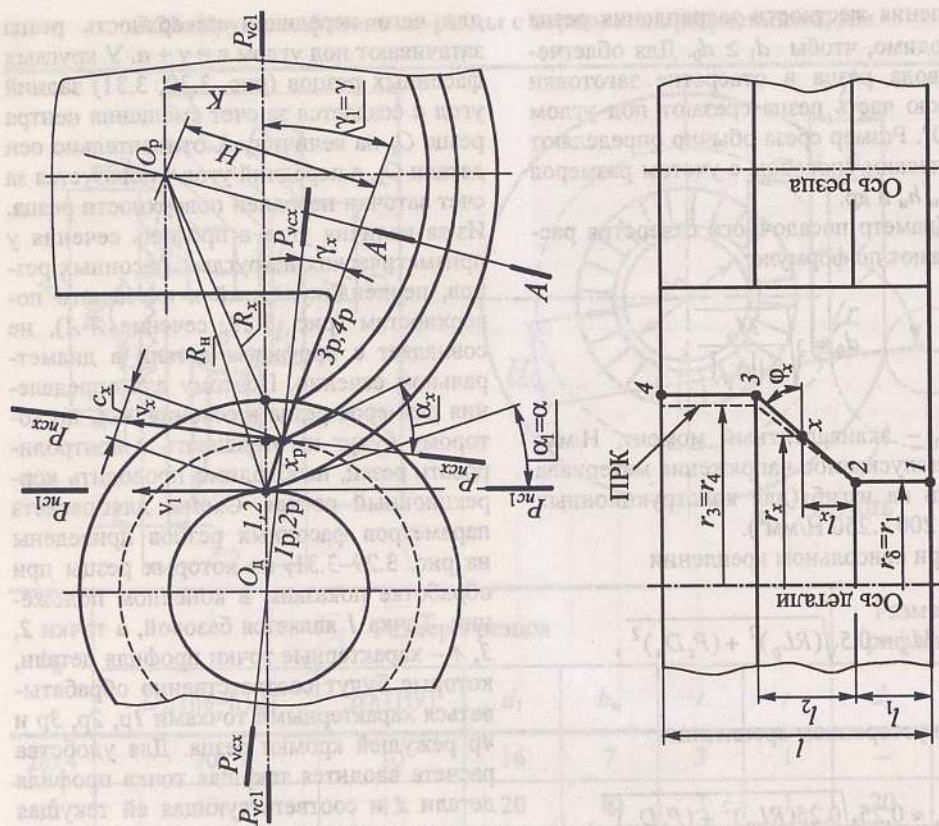


Рис. 3.30. Расчетная схема параметров круглого фасонного реза для наружной обработки

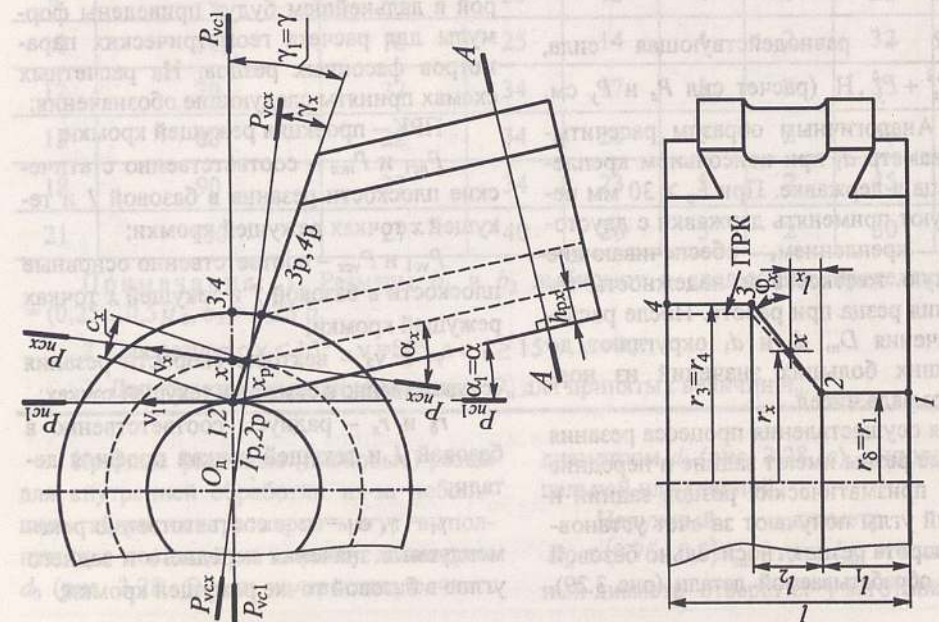


Рис. 3.29. Расчетная схема параметров призматического реза для наружной обработки

$\gamma_x$  и  $\alpha_x$  – соответственно передние и задние углы в секущей плоскости в точке  $l$  режущей кромки;

$c_x$  – размер реза по передней поверхности от базовой точки  $l$  до текущей точки  $x$ ;

$R_x$  – наружный радиус в точке  $x$  режущей кромки круглого реза;

$h_{px}$  – высота профиля реза в сечении  $A-A$ ;

$K$  и  $H$  – соответственно высота установки и радиус заточки круглых резцов;

$\phi_x$  – главный угол в плане для точки  $x$  режущей кромки.

На практике применяют несколько аналитических методов расчета профиля фасонных резцов, например, метод трехчленных уравнений, метод с применением специальных таблиц.

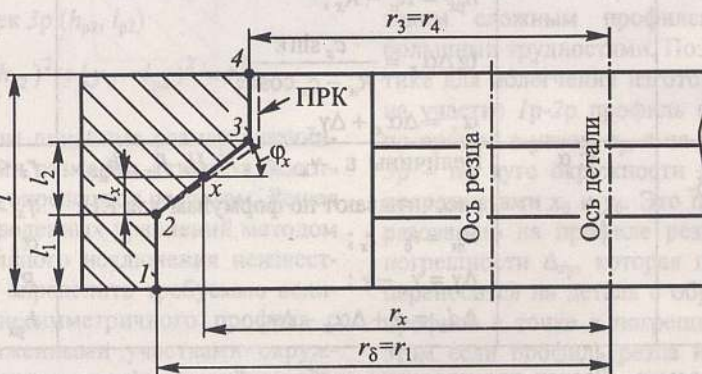
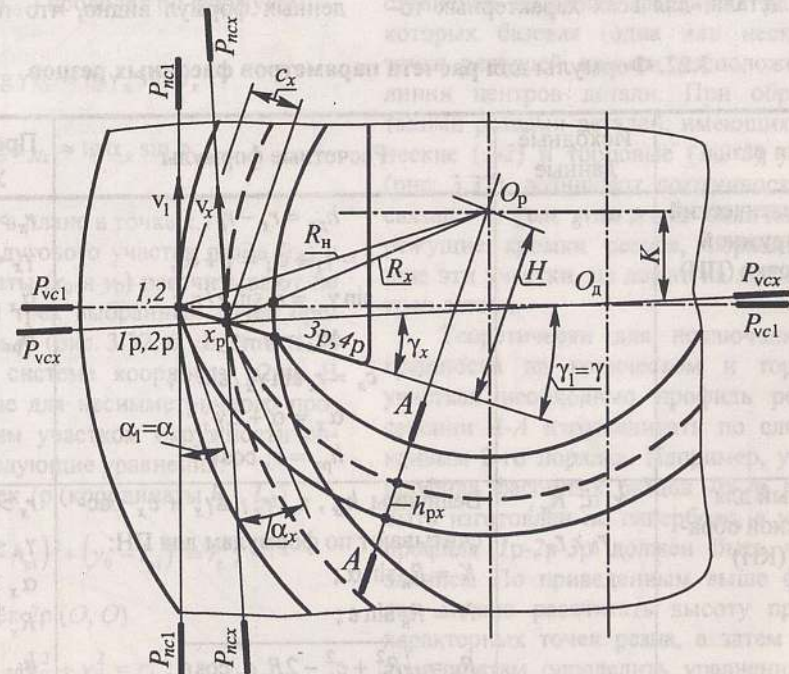


Рис. 3.31. Расчетная схема параметров круглого фасонного реза для внутренней обработки

В табл. 3.22 приведены формулы расчета профиля фасонных резцов тригонометрическим методом, в котором используется наименьшее число формул. При этом некоторые расчетные формулы являются общими для призматических и круглых резцов, что упрощает разработку САПР фасонных резцов.

Расчет параметров резца проводят от базовой точки  $l$ , расположенной на линии центра детали, для всех характерных то-

чек ( $l$ ,  $2$  и др.) профиля резца. При этом расчет ведут по текущему радиусу  $r_x$  характерных точек профиля детали, который изменяется при наружной обработке от  $r_{\min}$  до  $r_{\max}$ , а при внутренней обработке, наоборот, от  $r_{\max}$  до  $r_{\min}$ . Следовательно, для каждой характерной точки резца определяют  $\gamma_x$ ,  $\Delta\gamma_x$ ,  $\alpha_x$ ,  $c_x$ ,  $h_{px}$  и другие величины. Размеры  $h_{px}$  проставляют на рабочем чертеже резца. Из анализа приведенных формул видно, что передний и

### 3.22. Формулы для расчета параметров фасонных резцов

Тип резца	Исходные данные	Расчетные формулы	Проверочные условия
Призматический для наружной обработки (ПН)	$\gamma$ ; $\alpha$ ; $r_\delta$ и $r_x$	$h_{dx} = r_x - r_\delta$ ; $\varepsilon = \gamma_1 + \alpha_1 = \gamma + \alpha$ ; $\sin \gamma_x = r_\delta \sin \gamma / r_x$ ; $\Delta\gamma_x = \gamma - \gamma_x$ ; $c_x = r_x \sin \gamma_x / \sin \gamma$ ; $\alpha_x = \alpha + \Delta\gamma$ ; $h_{px} = c_x \cos \varepsilon$	$r_x > r_\delta$ ; $\gamma_x < \gamma$ ; $\alpha_x > \alpha$ ; $h_{px} < h_{dx}$
Круглый для наружной обработки (КН)	$\gamma$ ; $\alpha$ ; $R_n$ ; $r_\delta$ ; $r_x$	Величины $h_{dx}$ , $\varepsilon$ , $\gamma_x$ , $\Delta\gamma_x$ и $c_x$ рассчитывают по формулам для ПН: $K = R_n \sin \alpha$ ; $H = R_n \sin \varepsilon$ ; $R_x = \sqrt{R_n^2 + c_x^2 - 2R_n c_x \cos \varepsilon}$ ; $h_{px} = R_n - R_x$ ; $\operatorname{tg} \Delta\alpha_x = \frac{c_x \sin \varepsilon}{R_n - c_x \cos \varepsilon}$ ; $\alpha_x = \Delta\alpha_x + \Delta\gamma_x$	$r_x > r_\delta$ ; $\gamma_x < \gamma$ ; $\alpha_x > \alpha$ ; $R_x < R_n$ ; $h_{px} < h_{dx}$
Круглый для внутренней обработки (КВ)	$\gamma$ ; $\alpha$	Величины $\varepsilon$ , $\gamma_x$ , $c_x$ , $K$ , $H$ , $R_x$ , $h_{px}$ рассчитывают по формулам для КН: $h_{dx} = r_\delta - r_x$ ; $\Delta\gamma = \gamma_x - \gamma$ ; $\Delta d_x = \alpha + \Delta\alpha_x - \Delta\gamma_x$	$r_x < r_\delta$ ; $\gamma_x > \gamma$ ; $\alpha_x > \alpha$ ; $R_x < R_n$ ; $h_{px} < h_{dx}$

Примечание. Расчет производится от базовой точки  $l$  для каждой текущей точки профиля  $x$ .

задний углы зависят от положения точки, плоскости резания и основной плоскости. У призматических и круглых фасонных резцов для наружной обработки с увеличением радиуса  $r_x$  передний угол уменьшается, а задний, наоборот, увеличивается. У круглых фасонных резцов для внутренней обработки с уменьшением радиуса  $r_x$  углы  $\gamma_x$  и  $\alpha_x$  увеличиваются, что улучшает условия резания. Расчет нормальных углов ( $\gamma_{Nx}$  и  $\alpha_{Nx}$ ) проводят по формулам:

$$\operatorname{tg} \gamma_{Nx} \approx \operatorname{tg} \gamma_x \sin \varphi_x$$

и

$$\operatorname{tg} \alpha_{Nx} \approx \operatorname{tg} \alpha_x \sin \varphi_x,$$

где  $\varphi_x$  — угол в плане в точке  $x$ .

Радиус дугового участка резца ( $r_p$ ) и его координаты ( $x_0$  и  $y_0$ ) рассчитывают по координатам трех выбранных точек профиля  $1p$ ,  $2p$  и  $3p$  (рис. 3.32, б, сечение  $A-A$ ) в принятой системе координат  $x_2p$ . В общем случае для несимметричного профиля с одним участком окружности составляют следующие уравнения:

для точек  $1p$  (координаты  $h_{p1}$ ,  $l_{p2}$ )

$$(x_0 - h_{p1})^2 + (y_0 - l_{p1})^2 = r_p^2;$$

для точек  $2p$  ( $O$ ,  $O$ )

$$x_0^2 + y_0^2 = r_p^2;$$

для точек  $3p$  ( $h_{p2}$ ,  $l_{p2}$ )

$$(x_0 - h_{p2})^2 + (y_0 - l_{p2})^2 = r_p^2.$$

При этом линейные размеры принимают равными размерам детали, а высотные  $h_{p1}$  и  $h_{p2}$  определяют расчетом. Решая систему приведенных уравнений методом последовательного исключения неизвестных, можно определить требуемые величины. Для несимметричного профиля с двумя сопряженными участками окружности составляют две системы уравнений, которые решают отдельно, и также определяют радиусы и их координаты.

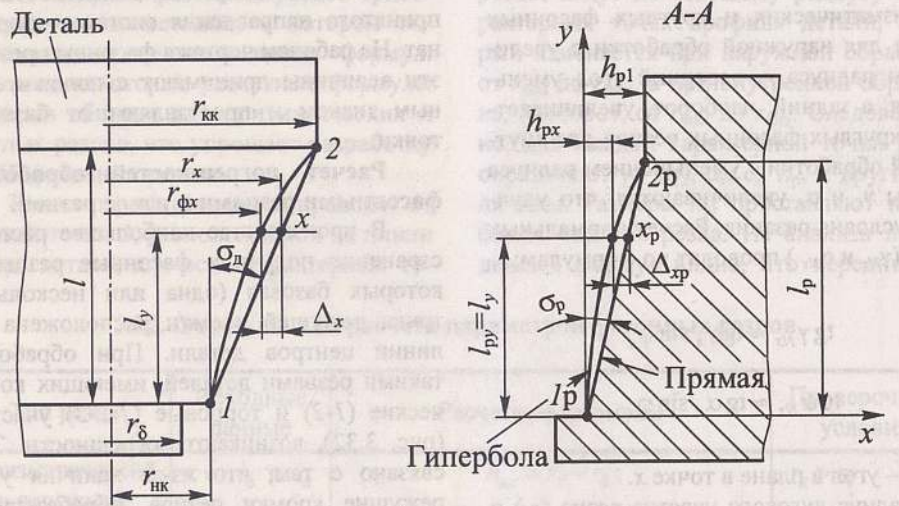
Величины  $x_0$  и  $y_0$  могут иметь знак «плюс» или «минус» в зависимости от принятого направления системы координат. На рабочем чертеже фасонных резцов эти величины принимают с положительным знаком и проставляют от базовой точки.

#### Расчет погрешностей обработки фасонными резцами и износ резцов.

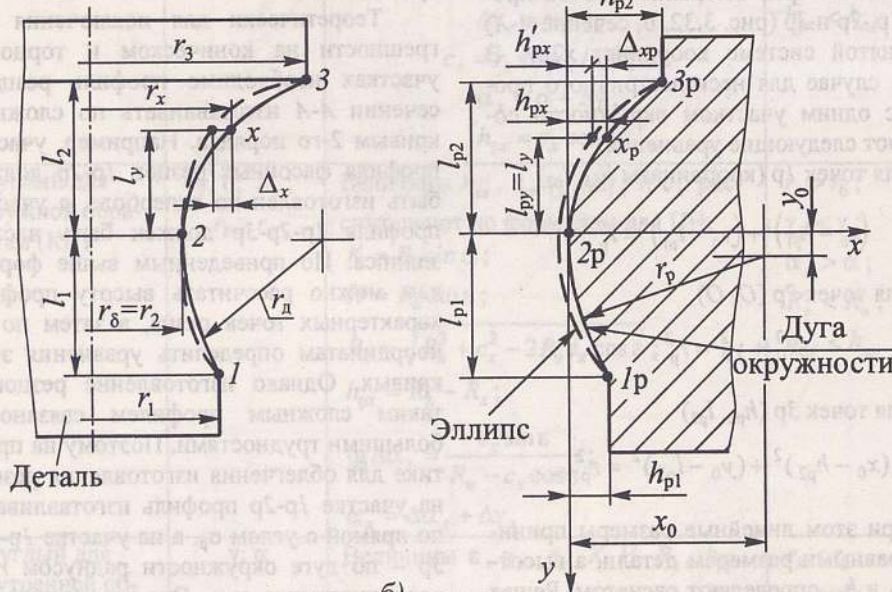
В производстве наибольшее распространение получили фасонные резцы, у которых базовая (одна или несколько) точка режущей кромки расположена на линии центров детали. При обработке такими резцами деталей, имеющих конические ( $1-2$ ) и торцовые ( $1-2-3$ ) участки (рис. 3.32), возникают погрешности. Это связано с тем, что из-за наличия угла режущие кромки резцов, обрабатывающие эти участки, не лежат на линии центров детали.

Теоретически для исключения погрешности на коническом и торцовом участках необходимо профиль резца в сечении  $A-A$  изготавливать по сложным кривым 2-го порядка. Например, участок профиля фасонных резцов  $1p-2p$  должен быть изготовлен по гиперболу, а участок профиля  $1p-2p-3p$  должен быть частью эллипса. По приведенным выше формулам можно рассчитать высоту профиля характерных точек резца, а затем по их координатам определить уравнения этих кривых. Однако изготовление резцов с таким сложным профилем связано с большими трудностями. Поэтому на практике для облегчения изготовления резцов на участке  $1p-2p$  профиль изготавливают по прямой с углом  $\sigma_p$ , а на участке  $1p-2p-3p$  — по дуге окружности радиусом  $r_p$  с координатами  $x_0$  и  $y_0$ . Это приводит к образованию на профиле резца в точке  $x_p$  погрешности  $\Delta_{xp}$ , которая при обработке переносится на деталь с образованием на профиле в точке  $x$  погрешности  $\Delta_x$ . При этом если профиль резца имеет погрешность в выпуклую сторону, то на детали погрешность будет в вогнутую сторону, и наоборот.





а)



б)

Рис. 3.32. Схема для расчета погрешности обработки: а – на коническом участке детали; б – на торцовом участке детали (А-А – сечение, перпендикулярное задней поверхности фасонного резца)

В табл. 3.23 приведены формулы для расчета погрешности на коническом участке детали при обработке призматическими и круглыми резцами. Расчет погрешности в точке  $x$  детали, имеющей торовые поверхности, после обработки фасонными резцами проводится в следующей последовательности:

- по величине  $r_x$  и параметрам резца определяют теоретическую высоту профиля резца  $h'_{px}$  от базовой точки 2;
- по координатам трех точек  $1p-2p-3p$  профиля резца в сечении А-А рассчитывают величины  $r_p, x_0$  и  $y_0$ ;
- на профиле детали выбирают точку  $x$  на расстоянии  $l_y$  от базовой точки 2 и рассчитывают величину  $r_x$  по формуле  $r_x = r_2 + r_d - \sqrt{r_d^2 - l_y^2}$ , точку  $x$  рекомен-

дуют выбирать на большем по длине участке (участок 2-3), а  $l_{py} = l_y = 0,4l_2 + \Delta l$  (в первом расчете  $\Delta l = 0$ , а в дальнейших расчетах увеличивается с шагом, равным 0,2...0,4 мм);

- по величине  $r_x$  и параметрам резца определяют теоретическую высоту профиля резца  $h'_{px}$  от базовой точки 2;
- рассчитывают величину  $h_{px}$  для точки  $x_p$ , расположенной на участке окружности резца радиусом  $r_p$ , по формуле

$$h_{px} = x_0 - \sqrt{x_0^2 + 2y_0l_y - l_y^2}$$

3.23. Формулы расчета погрешности в точке  $x$  детали после обработки резцами, у которых одна базовая точка расположена на оси детали

Тип фасонного резца	Исходные данные	Порядок и расчетные формулы	Определяемые величины
Призматический для наружной обработки (ПН)	$r_\delta; r_{нк}; r_{кк}; \sigma_d; l; l_y; \gamma$ и $\alpha$ ( $r_{нк} < r_{кк}$ )	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>\varepsilon = \gamma + \alpha</math></li> <li>2. <math>\sin \gamma_n = r_\delta \sin \gamma / r_{нк}</math></li> <li>3. <math>c_n = r_{нк} \sin(\gamma - \gamma_n) / \sin \gamma</math></li> <li>4. <math>h_n = c_n \cos \varepsilon</math></li> <li>5. <math>\sin \gamma_k = r_\delta \sin \gamma / r_{кк}</math></li> <li>6. <math>c_k = r_{кк} \sin(\gamma - \gamma_k) / \sin \gamma</math></li> <li>7. <math>h_k = c_k \cos \varepsilon</math></li> <li>8. <math>\text{tg } \sigma_p = (h_k - h_n) / l</math></li> <li>9. <math>c_x = l_y \text{tg } \sigma_p / \cos \varepsilon</math></li> <li>10. <math>A_x = c_x + r_\delta \cos \gamma</math></li> <li>11. <math>r_{фх} = \sqrt{A_x^2 + (r_\delta \sin \gamma)^2}</math></li> <li>12. <math>r_{тх} = r_\delta + l_y \text{tg } \sigma_d</math></li> <li>13. <math>\Delta_x = r_{тх} - r_{фх}</math></li> </ol>	$h_{px}; \sigma_p; \gamma; \Delta_m$
Круглый для наружной обработки (КН)	$r_\delta; r_{нк}; r_{кк}; \sigma_d; l; l_y; R_n; \gamma$ и $\alpha$ ( $r_{нк} < r_{кк}$ )	<p>Величины <math>\varepsilon, \gamma_n, c_n, \gamma_k</math> и <math>c_k</math> определяют по формулам ПН</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>6. <math>R_{нк} = \sqrt{R_n^2 + c_n^2} - 2R_n c_n \cos \varepsilon</math></li> <li>7. <math>R_{кк} = \sqrt{R_n^2 + c_k^2} - 2R_n c_k \cos \varepsilon</math></li> <li>8. <math>h_{рк} = R_{нк} - R_{кк}</math></li> </ol>	$R_{нк}; R_{кк}; h_{px}; \sigma_p; \Delta_m; R_n \geq R_{нк}; R_{нк} \geq R_{кк}$

Продолжение табл. 3.23

Тип фасонного резца	Исходные данные	Порядок и расчетные формулы	Определяемые величины
Круглый для наружной обработки (КН)	$r_\delta; r_{нк}; r_{кк};$ $\sigma_d; l; l_y; R_n;$ $\gamma$ и $\alpha$ ( $r_{нк} < r_{кк}$ )	9. $\text{tg } \sigma_p = h_{рк}/l$ 10. $R_x = R_{нк} - l_y \text{tg } \sigma_p$ 11. $c_x = R_n \cos \varepsilon - \sqrt{R_x^2 - (R_n \sin \varepsilon)^2}$ 12. $m = r_\delta \sin \gamma$ 13. $B_x = r_\delta \cos \gamma$ 14. $A_x = c_x + B_x$ 15. $r_{фх} = \sqrt{m^2 + A_x^2}$ 16. $r_{тх} = r_{кк} + l_y \text{tg } \sigma_d$ 17. $\Delta_x = r_{тх} - r_{фх}$	
Круглый для внутренней обработки (КН)	$r_\delta; r_{нк}; r_{кк};$ $\sigma_d; l; l_y; R_n;$ $\gamma$ и $\alpha$ ( $r_{нк} > r_{кк}$ )	Величины $\varepsilon, \gamma_n, \gamma_k$ определяют по формулам ПН 4. $c_n = r_{нк} \sin(\gamma_n - \gamma) / \sin \gamma$ 5. $R_{нк} = \sqrt{R_n^2 + c_n^2 - 2R_n c_n \cos \varepsilon}$ 6. $c_k = r_{кк} \sin(\gamma_k - \gamma) / \sin \gamma$ 7. $R_{кк} = \sqrt{R_n^2 + c_k^2 - 2R_n c_k \cos \varepsilon}$ 8. $h_{рк} = R_{нк} - R_{кк}$ 9. $\text{tg } \sigma_p = h_{рк}/l$ 10. $R_x = R_{нк} - l_y \text{tg } \sigma_p$ 11. $c_x = R_n \cos \varepsilon - \sqrt{R_x^2 - (R_n \sin \varepsilon)^2}$ 12. $m = r_\delta \sin \gamma$ 13. $A_1 = r_\delta \cos \gamma$ 14. $B_x = A_1 - c_x$ 15. $r_{фх} = \sqrt{B_x^2 + m^2}$ 16. $r_{тх} = r_{нк} - l_y \text{tg } \sigma_d$ 17. $\Delta_x = r_{тх} - r_{фх}$	$R_{нк}; R_{кк}; h_{рк}; \sigma_p;$ $\Delta_m; R_n \geq R_{нк};$ $R_{нк} \geq R_{кк}.$

Примечания: 1.  $r_\delta, r_{нк}$  и  $r_{кк}$  – соответственно радиусы базовой точки, начала и конца точек конического участка детали;  $r_{тх}$  и  $r_{фх}$  – соответственно теоретический и фактический радиусы детали в точке  $x$ ; остальные обозначения см. рис. 3.32.

2. Для определения максимальной погрешности на детали ( $\Delta_m$ ) и ее положения рекомендуют принимать  $l_y = 0,4l + \Delta l$ ; в первом расчете  $\Delta l = 0$ , а в последующих увеличивать на шаг, равный 0,2...0,4 мм.

Погрешность профиля резца в точке  $x_p$  будет равна  $\Delta_{xp} = h_{рх} - h'_{рх}$ , а знак погрешности зависит от положения точки и величин  $r_p, x_0$  и  $y_0$ .

Для определения максимальной погрешности необходимо задаваться значениями  $\Delta l$  и проводить расчеты до получения максимальной величины  $\Delta_{xp}$ .

Погрешность профиля детали в точке  $x$  можно принять  $\Delta_x = \Delta_{xp}$ . Это значительно упрощает дальнейшие расчеты, хотя и вносит погрешность не более 8 %, что вполне допустимо для практики. Расчеты показывают, что максимальная погрешность при обработке зависит от размеров детали, параметров и типа фасонного резца.

При обработке обычными круглыми резцами, имеющими одну точку на оси детали, погрешность на конических и торовых поверхностях деталей несколько больше, чем после обработки призматическими резцами. Например, после обработки круглым резцом  $R_n = 50$  мм,  $\gamma = 15^\circ$  и  $\alpha = 10^\circ$  детали, имеющей конический участок ( $r_{нк} = 30$  мм,  $r_{кк} = 50$  мм,  $l = 20$  мм,  $l_y = 10$  мм и  $\sigma_d = 45^\circ$ ), погрешность составляет 0,456 мм, что превышает допуск на диаметр 60 мм по h12, который равен 0,3 мм.

Для снижения погрешности обработки целесообразно у призматических резцов уменьшать углы  $\gamma$  и  $\alpha$ , а у круглых резцов – уменьшать эти же углы и увеличивать  $R_n$ . Погрешность на конических участках детали можно уменьшить, применив фасонные резцы с углами  $\gamma$  и  $\lambda$ , в результате чего режущая кромка будет расположена на линии центров детали. После обработки таким призматическим резцом погрешность на коническом участке детали будет равна нулю, а после обработки круглым резцом уменьшится в 3...5 раз по сравнению с погрешностью, возникающей при обработке круглым резцом обычной конструкции. Расчеты показывают, что погрешность детали после обработки круглыми резцами с углом  $\lambda$  будет все же в несколько раз больше,

чем после обработки обычными призматическими резцами.

Для повышения точности обработки торовых поверхностей деталей резцы можно изготавливать с двумя радиусными участками.

При окончательной обработке деталей, имеющих участки конических и торовых поверхностей, рекомендуется рассчитывать погрешность обработки и выбирать тип и параметры фасонного резца, обеспечивающих требуемую точность детали.

Максимальные погрешности на конических и торовых поверхностях деталей после обработки фасонными резцами  $\Delta_m \leq (0,5...0,6)T_1$ , где  $T_1$  – допуск на радиус детали. Если это условие не выдерживается, то необходимо менять параметры или тип фасонного резца.

**Износ и стойкость фасонных резцов.** При работе фасонные резцы изнашиваются по задним и передним поверхностям с образованием площадок износа. Превалирующим является износ по задним поверхностям, от которого зависят размер припуска при переточках, общее количество переточек и срок службы инструмента. Кроме того, износ влияет также на точность обработки и период размерной стойкости резцов.

Износ по задним поверхностям имеет немонотонный характер (рис. 3.33), что объясняется разными путями и скоростями резания участков лезвия, а также разными задними углами и силами резания. Опыт показывает, что наибольший износ имеют обычно участки, имеющие минимальные углы  $\alpha_{нх}$  и  $\phi_x = 0$  (участок 4-5) и максимальные пути резания (участок 3-4), а наименьший износ – участки с  $\phi_x = 90^\circ$  и минимальными путями (участок 1-2 и 5-6). Большое влияние на износ оказывает также конфигурация профиля резца. Хорошую износостойкость показывают участки с  $\phi = 45^\circ$ , а износ сопряженных участков зависит от угла сопряжения  $\omega$  (рис. 3.33, в). С уменьшением угла  $\omega$  от 180

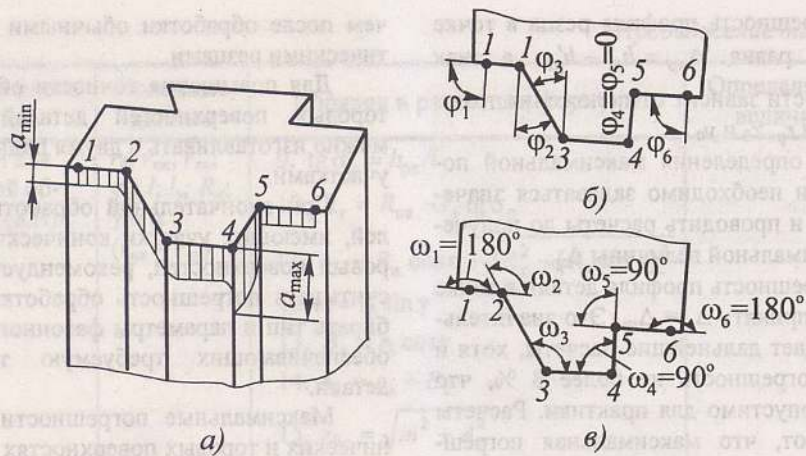


Рис. 3.33. Характер износа задней поверхности фасонного призматического резца (а), обозначение углов в плане φ (б) и углов сопряжения ω (в) на участках 1–6 лезвия резца

(участки, параллельные детали) до 60° стойкость резцов из быстрорежущих сталей уменьшается в 10 раз.

Период стойкости  $T$  является важнейшей характеристикой резцов. Установлено, что  $T$  часто лимитируется участком лезвия, первым вступающим в резание или работающим в наиболее тяжелых условиях ( $\alpha_N \leq 1^\circ$ ,  $\omega = 40 \dots 60^\circ$ ).

Точка режущего лезвия, имеющая минимальный период стойкости, и будет определять эксплуатационный период стойкости резца. В процессе резания фасонными резцами толщина срезаемых слоев материала соизмерима с радиусом скругления режущего лезвия  $\rho$ . Установлено, что максимальную стойкость показывают резцы, у которых передние и задние поверхности имеют шероховатость  $Ra \leq 0,32 \dots 0,16$  мкм, а  $\rho = 25 \dots 30$  мкм. Поэтому эти значения должны быть указаны в рабочих чертежах фасонных резцов, а при разработке технологических процессов изготовления резцов целесообразно вводить операцию доводки их поверхностей.

Период стойкости фасонных резцов с учетом размерной стойкости их профиля определяют по формуле:

$$T_{Px} = \frac{U_d t_0}{U_0 l_x}$$

где  $U_d$  – допустимый износ, зависящий от точности (допуска) обработки, мкм ( $U_d = (0,4 \dots 0,6)T_0$ );  $T_0$  – допуск на высоту профиля детали, мкм;  $t_0$  – время обработки одной детали, мин ( $t_0 = \frac{h_{дм}}{nS}$ );  $h_{дм}$  – максимальная глубина профиля детали, мм ( $h_{дм} = 0,5(d_0 - d_x)$ );  $d_0, d_x$  – соответственно диаметр заготовки и диаметр точки  $x$  детали в конце обработки, мм;  $U_0$  – относительный износ, зависящий от материала резца и детали, мкм/км;  $l_x$  – путь резания точки резца  $x$  при обработке одной детали, км ( $l_x = \frac{\pi d_{cx} h_{дм}}{10^6 S}$ );  $d_{cx}$  – средний диаметр участка при обработке ( $d_{cx} = 0,5(d_0 + d_x)$ ), мм.

Стойкость в любой точке  $x$  фасонного резца можно рассчитать по формуле:

$$T_x = \sqrt[m]{\frac{C_V K_V}{v_x S^y}}, \text{ мин.}$$

где  $C_V, m$  и  $y$  – величины, зависящие от обрабатываемого и инструментального материалов;  $v_x, S$  – соответственно скорость резания и подача;  $K_V$  – коэффициент ( $K_V = K_m K_0$ );  $K_m$  – коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала;  $K_0$  – коэффициент, зависящий от применяемого охлаждения ( $K_0 = 1$  – без СОЖ,  $K_0 = 1,18$  – СОЖ типа МР-7,  $K_0 = 1,28$  – охлаждение эмульсией).

Износ фасонных резцов зависит также от угла в плане  $\phi$  и нормального заднего угла  $\alpha_N$ , влияние которых учитывают с помощью коэффициентов  $K_\phi$  и  $K_\alpha$ , т.е.

$$T_{x0} = K_\phi K_\alpha T_x.$$

Значения коэффициентов  $K_\phi$  и  $K_\alpha$  приведены в табл. 3.24 и 3.25.

3.24. Влияние угла φ на коэффициент  $K_\phi$

φ, °	2	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$K_\phi$	0,16	0,32	0,43	0,69	0,88	0,98	1,00	0,98	0,95	0,88	0,77

3.25. Влияние угла α<sub>N</sub> на коэффициент  $K_\alpha$

α <sub>N</sub> , °	1	2	3	4	5
$K_\alpha$	0,8	0,88	0,92	0,96	1,00

Для анализа условий работы фасонного резца рекомендуется строить график изменения величины  $T_{Px}$  по точкам резца или составлять сводную таблицу.

Период стойкости резца определяют из значений  $T_{x0}$  и  $T_{Px}$ . Минимальное значение этих величин является периодом стойкости  $T$ , который и определяет эффективность работы фасонного резца.

Количество фасонных резцов, необходимое для изготовления заданной программы деталей, можно рассчитать по формуле

$$b = \frac{N t_0}{T_0} K, \text{ шт.}$$

где  $N$  – количество деталей в программе, шт;  $K$  – коэффициент запаса ( $K = 1,2 \dots 1,3$ ).

Расчет исполнительных размеров и допусков на высотные и осевые размеры фасонных резцов и калибров. Исполнительные размеры и допуски во многом определяют размерную стойкость и

срок службы фасонных резцов. При этом имеются существенные отличия, которые необходимо обязательно учитывать при расчете высотных и линейных размеров фасонных резцов и калибров.

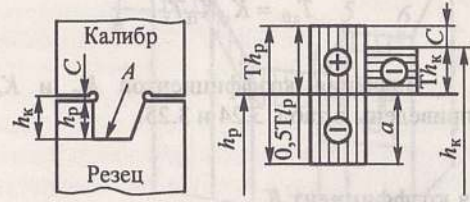
При расчете высотных размеров калибров ( $h_k$ ) необходимо подразделять их на размеры охватывающих и охватываемых поверхностей, так как они имеют разные условия работы и износ при эксплуатации (табл. 3.26).

При контроле калибром размера охватываемой поверхности резца, его износ будет происходить по поверхности  $A$ . В этом случае размер  $h_k$  будет уменьшаться, поэтому размер высоты профиля калибра следует назначать, ориентируясь на максимально допустимый размер высоты профиля резца. На компенсацию «светового зазора» необходимо оставить часть допуска размером  $C$ , откладывая его вниз от максимального размера.

При контроле калибром размера охватывающей поверхности, его износ будет происходить по поверхности  $A$ . В этом

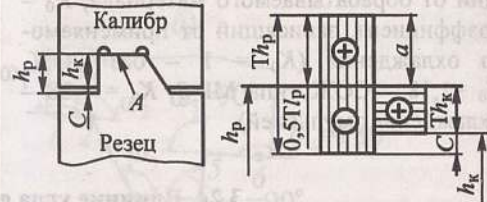
**3.26. Высотные размеры и схемы полей допусков на фасонные резцы и калибры, формулы для расчета  $h_k$**

1. Калибр контролирует размер охватываемой поверхности



$$h_k = (h_p + 0,5T_{h_p} - C)_{-T_{h_k}}$$

2. Калибр контролирует размер охватываемой поверхности



$$h_k = (h_p - 0,5T_{h_p} + C)^{+T_{h_k}}$$

Примечание.  $T_{h_p}$  и  $T_{h_k}$  – допуски соответственно на высоту резца и калибра [ $T_{h_p} = (0,5...0,3)T_{h_a}$ ];  $a$  – допуск на износ калибра ( $a = 0,5$ );  $C$  – размер на компенсацию «светового зазора».

При  $T_{h_p} \leq 0,05$  мм  $T_{h_k} = 0,4 T_{h_p}$ ;  $C = 0,1 T_{h_p}$ .

При  $T_{h_p} = 0,06...0,1$  мм  $T_{h_k} = 0,35 T_{h_p}$ ;  $C = 0,15 T_{h_p}$ .

При  $T_{h_p} > 0,1$  мм  $T_{h_k} = 0,3 T_{h_p}$ ;  $C = 0,2 T_{h_p}$ .

случае размер  $h_k$  будет увеличиваться, поэтому размер высоты профиля калибра следует назначать, ориентируясь на минимально допустимый размер высоты профиля резца. На компенсацию «светового зазора» необходимо оставить часть допуска размером  $C$ , откладывая его вверх от минимального размера. Расчет проводится для каждой характерной точки калибра от принятой базовой точки.

Расчет осевых исполнительных размеров резцов и калибров ведут от осевых исполнительных размеров и допуска  $T_{l_d}$  детали. При этом необходимо учитывать изменение размеров за счет осевого биения шпинделя станка с закрепленной в нем деталью, износа резцов и калибров, а также учитывать, линейный размер какой поверхности имеет деталь – охватываемой или охватывающей. Если деталь имеет размер охватываемой поверхности  $l_d$  (табл. 3.27, п. 1), то резец имеет размер охватываемой поверхности, а калибр – размер охватывающей поверхности. В

процессе эксплуатации резец будет изнашиваться и его линейный размер  $l_p$  будет уменьшаться, а у калибра, наоборот, линейный размер  $l_k$  будет увеличиваться. Поэтому резец необходимо изготавливать с максимальным осевым размером, учитывая при этом «разбивку» шпинделя станка, а калибр – с минимальным осевым размером, но при этом следует также учитывать «световой зазор»  $C_1$ .

Аналогичным образом определяются линейные размеры резца и калибра с учетом размеров охватываемых поверхностей детали (табл. 3.27, п. 2).

Резцы и калибры, изготовленные с высотными и осевыми размерами, рассчитанными по приведенным выше формулам, будут иметь при эксплуатации максимальный срок службы.

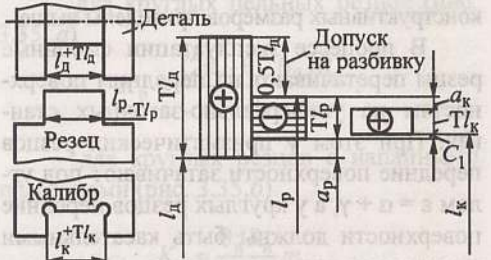
**Особенности конструирования фасонных резцов.** Для изготовления фасонных резцов применяют быстрорежущие стали и твердые сплавы. Резцы могут быть

цельными (рис. 3.34, а, рис. 3.35, а) или составными (рис. 3.34, б, в; рис. 3.35, б). Фасонные резцы небольших размеров

рекомендуют изготавливать цельными из пластифицированных заготовок твердого сплава требуемых размеров и формы (для

**3.27. Линейные размеры и схемы полей допусков на деталь, резец и калибр**

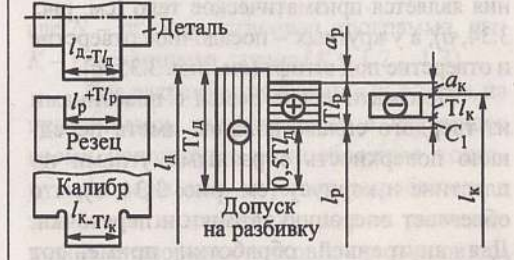
1. Деталь имеет линейный размер охватываемой поверхности



$$l_p = (l_d + 0,5T_{l_d})_{-T_{l_p}}$$

$$l_k = (l_p - T_{l_p} + C_1)_{-T_{l_k}}$$

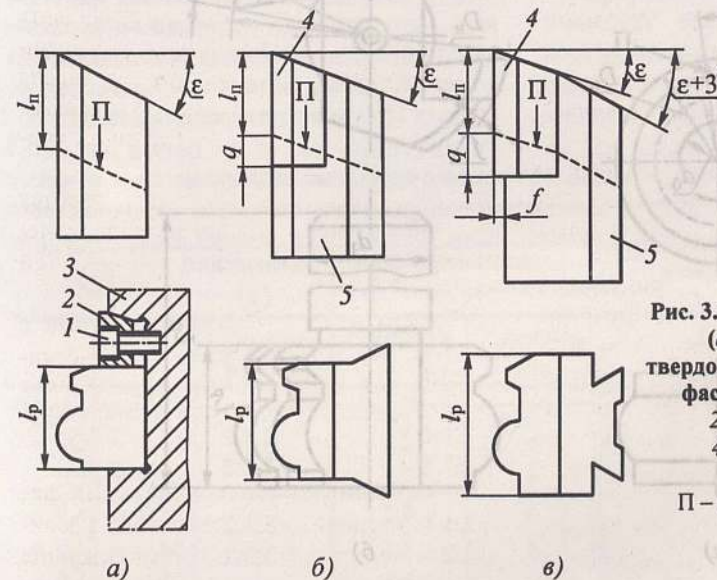
2. Деталь имеет линейный размер охватываемой поверхности



$$l_p = (l_d - 0,5T_{l_d})^{+T_{l_p}}$$

$$l_k = (l_p + T_{l_p} - C_1)_{-T_{l_k}}$$

Примечание.  $T_{l_d}$ ,  $T_{l_p}$  и  $T_{l_k}$  – допуски соответственно на линейные размеры детали, резца и калибра ( $T_{l_p} = 0,4 T_{l_d}$ ;  $T_{l_k} = 0,4 T_{l_p}$ );  $C_1$  – размер на компенсацию светового зазора ( $C_1 = 0,1 T_{l_p}$ );  $a_p$  и  $a_k$  – допуски соответственно на износ резца и калибра ( $a_p = 0,1 T_{l_d}$ ;  $a_k = 0,5 T_{l_p}$ ).



**Рис. 3.34. Конструкции цельного (а) и составных (б и в) твердосплавных призматических фасонных резцов: 1 – винт; 2 – клин; 3 – державка; 4 – режущая пластина; 5 – корпус резца; П – линия предела переточки**

круглых резцов заготовка цилиндрической формы, а для призматических резцов – в виде четырехгранного прямого параллелепипеда). Такие заготовки легко обрабатываются металлорежущим инструментом, а затем окончательно спекаются в печах. После этого производятся операции шлифования и заточки. У цельных твердосплавных призматических резцов базой крепления является призматическое тело (см. рис. 3.34, а), а у круглых – посадочное отверстие и отверстие под штифт (см. рис. 3.35, а).

Призматические резцы с пластинами из твердого сплава должны иметь переднюю поверхность с разными углами по пластине и корпусу (см. рис. 3.34, в), что облегчает операцию заточки и переточки. Для внутренней обработки применяют круглые фасонные резцы с 2–4 твердосплавными пластинами (см. рис. 3.35, б), количество которых зависит от возможности их размещения при выбранном наружном диаметре  $D_n$  резца в обрабаты-

ваемом отверстии. Крепление резцов осуществляют с помощью цилиндрического хвостовика.

При неглубоких профилях резцов задняя поверхность корпуса может не повторять профиль твердосплавной пластины, но пластина должна выступать над задней поверхностью на величину  $f=2\dots5$  мм.

Рекомендации по выбору габаритных и конструктивных размеров приведены выше.

В процессе эксплуатации фасонные резцы перетачивают по передним поверхностям на универсально-заточных станках. При этом у призматических резцов передние поверхности затачивают под углом  $\epsilon = \alpha + \gamma$ , а у круглых резцов передние поверхности должны быть касательными к окружности заточки радиусом  $H$ .

Количество переточек  $K_n$  во многом зависит от размеров резцов и снимаемого припуска при переточках –  $t_n = a_n + (0,1\dots0,3)$  мм:

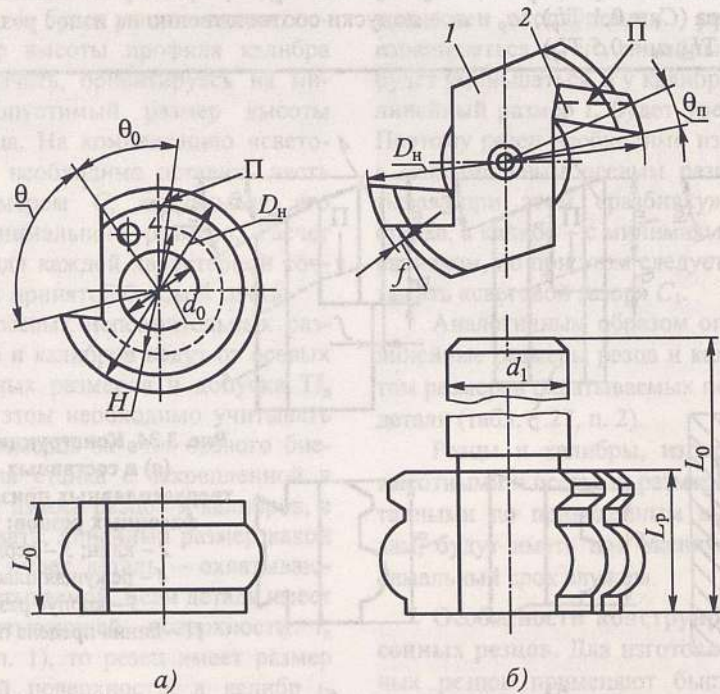


Рис. 3.35. Конструкции цельного (а) и составного (б) твердосплавных круглых фасонных резцов: 1 – корпус; 2 – режущая пластина; П – линия предела переточки

– для призматического резцов (см. рис. 3.34)

$$K_n = \frac{l_n}{t_n},$$

где  $l_n$  – размер режущей части резца, подлежащий переточке, мм;  $q$  – остаток,  $q = 3\dots8$  мм;

– для круглых цельных резцов (рис. 3.35, а)

$$K_n \approx \frac{(2\pi - \theta - \theta_0)R_n}{t_n};$$

– для круглых резцов с напайными пластинами (рис. 3.35, б)

$$K_n \approx \frac{\theta_n R_n}{t_n} m_n,$$

где  $\theta$ ,  $\theta_0$ ,  $\theta_n$  – углы, рад;  $R_n$  – наружный радиус резца, мм;  $m_n$  – количество напайных пластин.

Общий срок службы фасонных резцов  $T_0 = T(K_n + 1)$  мин.

Количество фасонных резцов, необходимое для выполнения производственной программы, можно рассчитать по формуле

$$B = \frac{Nt_0}{T_0} K, \text{ шт.},$$

где  $N$  – производственная программа, шт;  $K$  – коэффициент запаса ( $K = 1,2\dots1,3$ ).

Для закрепления фасонных резцов на применяемом оборудовании в настоящее время используют разнообразные конструкции державок, которые разработаны в зависимости от возможности их размещения на суппортах станков, от размеров посадочных мест резцов, а также от требуемой точности установки и регулировки положения резца относительно заготовки.

## Глава 4

### ОСЕВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ

Наиболее распространенными инструментами для обработки отверстий являются сверла, зенкеры и развертки. Выбор типа осевого инструмента зависит от следующих параметров отверстия: диаметра, глубины, точности и требований к расположению геометрической оси, а также от физико-механических свойств обрабатываемого материала и производительности процесса обработки.

#### 4.1. Классификация осевых инструментов для обработки отверстий

Осевые инструменты отличаются большим разнообразием типов конструкций.

Это объясняется необходимостью иметь инструменты длинные и короткие (различаются сериями), из быстрорежущих сталей и оснащенные твердыми сплавами, больших и малых диаметров (ряды диаметров), цельные или составные (сборные), с цилиндрическими и кониче-

скими хвостовиками, с левым и правым направлениями винтовой стружечной канавки, с прямой и винтовой канавками с простой и сложной заточками режущей части, с центровыми отверстиями и внешними конусами, с цилиндрической и конической рабочими частями. Многообразны также формы заходных и режущих частей, в том числе формы заточки (или зубьев). Существуют и другие признаки отличий в элементах конструкций этих инструментов.

Сведение всех признаков отличий в один классификационный ряд усложняет их рассмотрение. Поэтому проще анализировать конструкции осевых инструментов по группам признаков. В табл. 4.1 приведена совокупность признаков по конструктивно-технологическим свойствам, которые чаще встречаются в стандартах и определяют их самостоятельный номер. Каждому возможному сочетанию из трех признаков присвоен тройной код.

4.1. Классификационный код сверл, зенкеров и разверток

Конструкция режущей части	Материал режущей части	Хвостовик		Насадные ③
		цилиндрический ①	конический ②	
Цельные ①*	Сталь ①	1.1.1	1.1.2	1.1.3
	Твердый сплав ②	1.2.1	1.2.2	1.2.3
С пластинами ②	Сталь ①	2.1.1	2.1.2	2.1.3
	Твердый сплав ②	2.2.1	2.2.2	2.2.3
С ножами ③*	Сталь ①	3.1.1	3.1.2	3.1.3
	Твердый сплав ②	3.2.1	3.2.2	3.2.3

\* Номера групп, определяющих код инструмента.

Согласно этим кодам далее приведено описание конструкций сверл, зенкеров и разверток, выпускаемых отечественными инструментальными заводами.

#### 4.2. Конструкции сверл, зенкеров и разверток

##### 4.2.1. Сверла

Геометрические параметры, формы режущих частей и заточки сверл.

Диаметр сверла выбирают по ГОСТ 885-77 из ряда размеров, мм:

0,25; 0,28; 0,30; 0,32; 0,35; 0,38; 0,40; 0,42; 0,45; 0,48; 0,50; 0,52; 0,55; 0,58; 0,60; 0,62; 0,65; 0,68; 0,70; 0,72; 0,75; 0,78; 0,80; 0,82; 0,85; 0,88; 0,90; 0,92; 0,95; 0,98.

От 1,00 до 2,95 с интервалом через 0,05 мм, от 3,00 до 13,90 с интервалом через 0,10 мм, от 14,0 до 31,75 с интервалом через 0,25 мм, от 32,0 до 50,50 с интервалом через 0,50 мм, включая 33,25 мм, от 51,0 до 80,0 с интервалом через 1,0 мм.

Сверла диаметром 3,15; 3,55; 4,25; 15,40; 17,40; 19,40; 20,90; 23,90; 32,25; 36,25; 38,25; 39,25; 41,25; 43,25; 45,25 и 51,50 мм изготавливают по согласованию с потребителями. Сверла, отличающиеся диаметрами от стандартных, считаются специальными.

Длина сверла складывается из длины канавки, взятой вдоль оси сверла, длины шейки и хвостовика. Длина сверла определяет его жесткость и зависит от диаметра  $d$ , материала сверла, конструкции по-

перечного сечения. Длину  $l$  выбирают исходя из глубины обрабатываемого отверстия, стойкости сверла и числа переточек. Эта длина указывается в стандартах конкретных конструкций сверл и в большей мере характеризует название серии, если она выдерживается в наименовании нормативных документов (НД). Специальной классификации длин сверл нет, поэтому выбор длины  $l$  рекомендуют делать по табл. 4.2, составленной по существующим НД. В таблицу внесены условные градации длины  $l$ , для которых в НД приведены числовые ряды, более или менее закономерно построенные: сверхкороткая, короткая, укороченная, средняя, длинная и удлиненная серии. К длинной серии согласно ГОСТ 886-77 и ГОСТ 12121-77 отнесены два ряда. Ряды длин по сериям построены без очевидного критерия и не имеют простого закономерного построения, хотя и являются условными. Так, наиболее разработанная средняя серия упрощенно аппроксимируется для длины  $l$  следующим образом, мм:

$$l = 258(1 - e^{-0,0383d}).$$

При этом значения  $l$ , полученные по формуле, в ряде случаев имеют расхождение с табличными, доходящие до 4 мм. Так как число в скобках не может быть больше 1, то по этой формуле нельзя получить  $l > 258$  мм и таким образом продолжить ряд.

4.2. Серии длин  $l$  сверл, мм

$d$	Сверхкороткая	Короткая	Укороченная	Средняя	Длинная	Удлиненная
Св. 0,24 до 0,30	—	1,7	—	3	—	—
» 0,30 » 0,38	—	2,2	4	4	—	—
» 0,38 » 0,48	—	2,5	5	5	—	—
» 0,48 » 0,53	—	3,0	6	6	—	—
» 0,53 » 0,60	—	3,5	8	7	—	—
» 0,60 » 0,67	—	4,0	—	8	—	—
» 0,67 » 0,75	—	4,5	—	9	—	—

Продолжение табл. 4.2

<i>d</i>	Сверх-короткая	Короткая	Укороченная	Средняя	Длинная	Удлиненная
Св. 0,75 до 0,85	—	5,0	—	10	—	—
» 0,85 » 0,95	—	5,5	9	11	29	—
» 0,95 » 1,06	—	6,6	—	12	33/25	—
» 1,06 » 1,18	—	7	—	14	37/28	—
» 1,18 » 1,32	—	8	—	16	41/30	—
» 1,32 » 1,50	—	9	—	18	45/32	—
» 1,50 » 1,70	5	10	—	20	50/35	—
» 1,70 » 1,90	—	11	—	22	53/38	—
» 1,90 » 2,12	8	12	—	24	56/40	—
» 2,12 » 2,36	—	13	—	27	59/45	—
» 2,36 » 2,65	10	14	—	30	62/45	—
» 2,65 » 3,00	—	16	—	33	66/48	—
» 3,00 » 3,35	12	18	24	36	69/50	—
» 3,35 » 3,75	12	20	28	39	73/55	—
» 3,75 » 4,25	16	22	30	43	78/60	—
» 4,25 » 4,75	16	24	32	47	82/65	—
» 4,75 » 5,30	22	26	36	52	87/70	—
» 5,30 » 6,00	20	28	40	57	91/80	145
» 6,00 » 6,70	25	31	42	63	97/85	150
» 6,70 » 7,50	—	34	45	69	102/90	155
» 7,50 » 8,50	—	37	52	75	109/100	160
» 8,50 » 9,50	—	40	55	81	115/110	165
» 9,50 » 10,60	—	43	60	87	121/120	170
» 10,60 » 11,80	—	47	65	94	128/130	175
» 11,80 » 13,20	—	51	70	101	134/140	180
» 13,20 » 14,00	—	54	70	108	140/150	185
» 14,00 » 15,00	—	65	75	114	144/155	190
» 15,00 » 16,00	—	58	80	120	149/160	195
» 16,00 » 17,00	—	60	85	125	154/165	200
» 17,00 » 18,00	—	62	90	130	158/170	205
» 18,00 » 19,00	—	64	95	135	162/175	210
» 19,00 » 20,00	—	66	100	140	166/180	220
» 20,00 » 21,20	—	—	105	145	177/185	230

Продолжение табл. 4.2

<i>d</i>	Сверхкороткая	Короткая	Укороченная	Средняя	Длинная	Удлиненная
Св. 21,20 » 22,40	—	—	110	150	190	235
» 22,40 » 23,20	—	—	—	155	195	240
» 23,20 » 23,60	—	—	110	155	200	240
» 23,60 » 25,00	—	—	115	160	203	245
» 25,00 » 26,50	—	—	115	165	215	255
» 26,50 » 28,00	—	—	120	170	225	265
» 28,00 » 30,00	—	—	125	175	230	275
» 30,00 » 31,50	—	—	—	180	—	—
» 31,50 » 31,75	—	—	—	185	—	—
» 31,75 » 33,50	—	—	—	185	—	—
» 33,50 » 35,50	—	—	—	190	—	—
» 35,50 » 37,50	—	—	—	195	—	—
» 37,50 » 40,00	—	—	—	200	—	—
» 40,00 » 42,50	—	—	—	205	—	—
» 42,50 » 45,00	—	—	—	210	—	—
» 45,00 » 47,50	—	—	—	215	—	—
» 47,50 » 50,00	—	—	—	220	—	—
» 50,00 » 53,00	—	—	—	225	—	—
» 53,00 » 56,00	—	—	—	230	—	—
» 56,00 » 60,00	—	—	—	235	—	—
» 60,00 » 63,00	—	—	—	240	—	—
» 63,00 » 67,00	—	—	—	245	—	—
» 67,00 » 71,00	—	—	—	250	—	—
» 71,00 » 75,00	—	—	—	255	—	—
» 75,00 » 80,00	—	—	—	260	—	—

Значения длин по сериям относятся к новым сверлам, по мере переточки сверла его длина уменьшается, а диаметр изменяется из-за наличия обратной конусности, и если сверло может в дальнейшем использоваться, то оно будет относиться уже к другой серии. Обычно глубину сверления выражают числом диаметров, поэтому и серии сверл можно выразить таким же критерием, задав для него неко-

торый диапазон чисел. В то же время стандартные значения этих чисел не одинаковы для разных диаметров сверл одной серии, но от серии к серии отличаются для одинаковых диаметров. Это свидетельствует о сложном характере системы построения рядов серий. Поэтому при проектировании сверл таблицу длин следует считать рекомендательной, отвечающей требованиям унификации.

Диаметр хвостовиков цилиндрической формы у сверл, как правило, равен диаметру сверла. Малоразмерные сверла по ГОСТ 8034-76 имеют утолщенный хвостовик. Конические хвостовики выбирают по ГОСТ 25557-82 с допусками по ГОСТ 2848-75. Укороченные конусы для хвостовиков должны соответствовать ГОСТ 9953-82.

Длина цилиндрических хвостовиков может быть нормальной и укороченной. Она приводится в НД на конструкции и размеры сверл.

**Формы режущих частей сверл.** Режущие части сверл изготавливают с одинарной (с углом при вершине  $2\phi$ ) или двойной режущей кромкой (с углом при вершине  $2\phi$  и вторым углом конуса  $2\phi_0$ ). При двойной заточке увеличиваются дли-

на режущей кромки и угол между главной режущей кромкой и фасочной кромкой (примыкающей к ленточке), в результате чего стойкость инструмента возрастает. При этом второй угол конуса  $2\phi_0 = 70...75^\circ$  на длине  $0,2d$ .

Ленточка вблизи режущих кромок уменьшает трение сверла в отверстии и способствует повышению точности его направления при заглаблении. При обработке труднообрабатываемых материалов применяют сверла с двумя дополнительными ленточками, расположенными на другой стороне спинки (рис. 4.1).

**Формы заточки сверл.** Формы заточки лезвия и ленточек разнообразны и представляют собой сочетание ряда геометрических элементов сверла: заднего

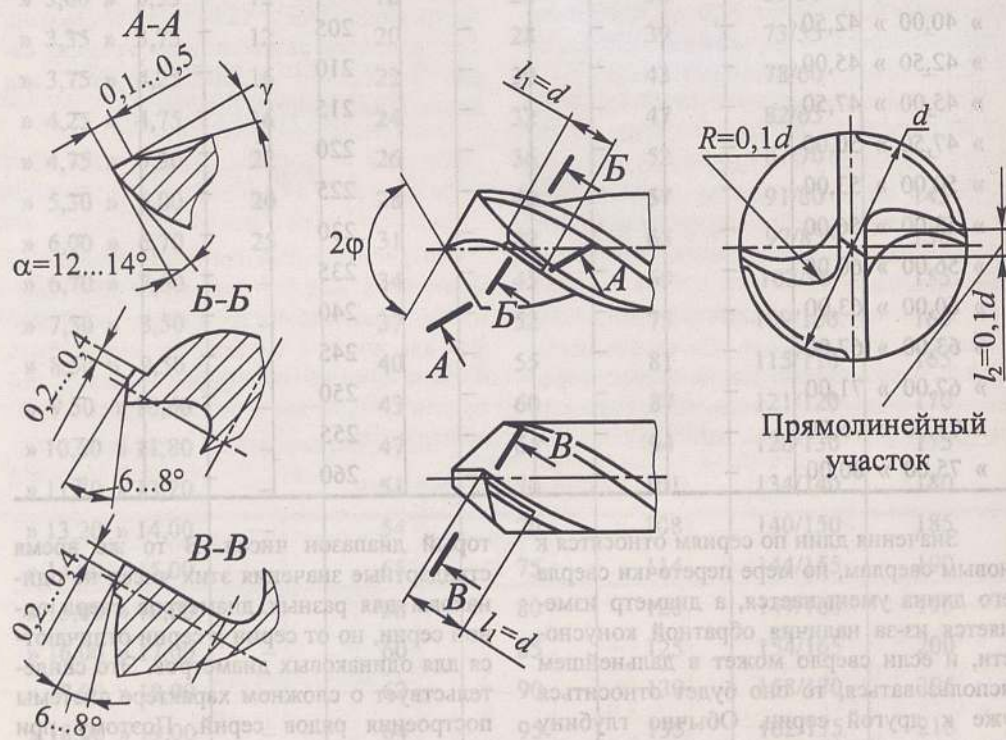


Рис. 4.1. Четырехленточное сверло для обработки жаропрочных материалов с подточкой поперечной кромки и ленточек, с фаской на передней поверхности

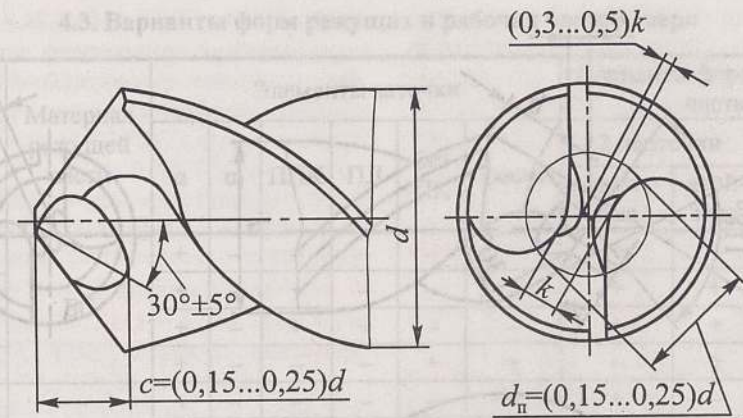


Рис. 4.2. Параметры подточки поперечной режущей кромки сверла

угла  $\alpha$  на главной режущей кромке; заднего угла  $\alpha$  на корпусе сверла, оснащенного твердосплавной пластиной (ТСП); подточки поперечной режущей кромки (ППК) (рис. 4.2); подточки ленточки (ПЛ) (рис. 4.3); среза поперечной кромки (без ПК) (рис. 4.4); фаски вдоль режущей кромки, которую затачивают на твердосплавных сверлах (рис. 4.5).

Из шести указанных элементов образуются десять вариантов заточки сверла (табл. 4.3). Использование этих вариантов

для стандартных сверл с тремя вариантами формы режущей части дает возможность создания 16 конструкций рабочей части.

Значения конструктивных элементов быстрорежущих сверл общего применения рекомендуется назначать по табл. 4.4, составленной по ГОСТ 4010-77.

**Состав и характеристика классификационных групп сверл.** В соответствии с данными табл. 4.1 отечественными инструментальными заводами выпускаются следующие виды сверл.

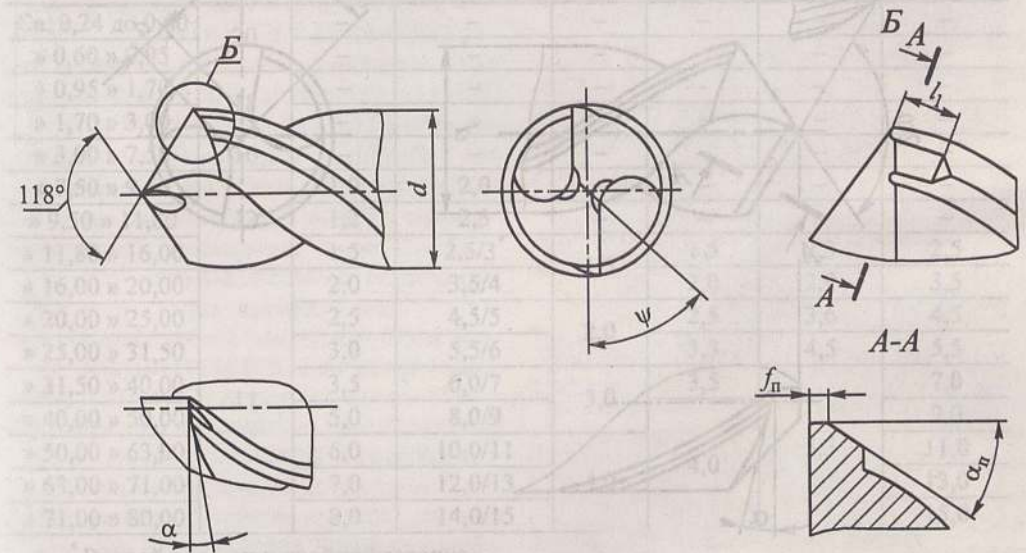


Рис. 4.3. Параметры подточки ленточек сверла



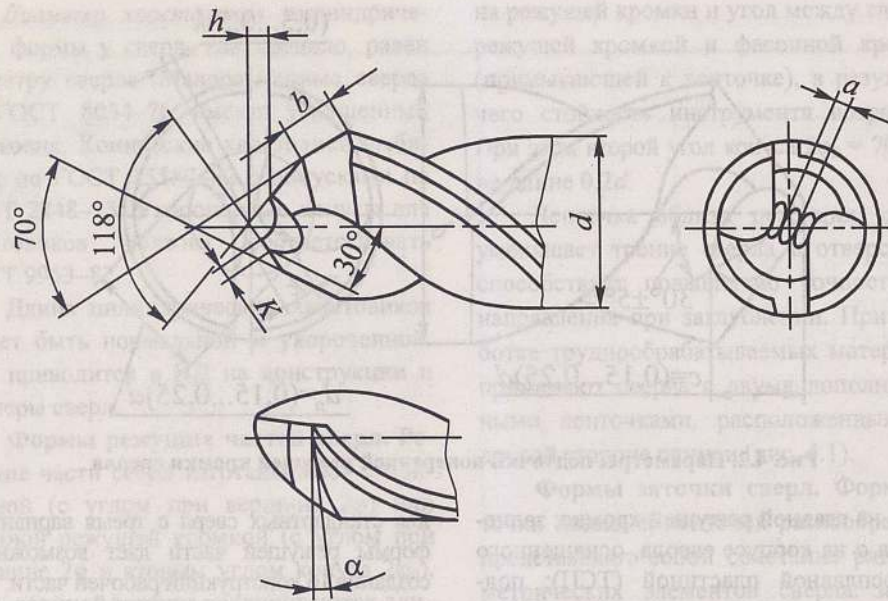


Рис. 4.4. Параметры подточки и среза поперечной режущей кромки сверла с двойной заточкой задних поверхностей

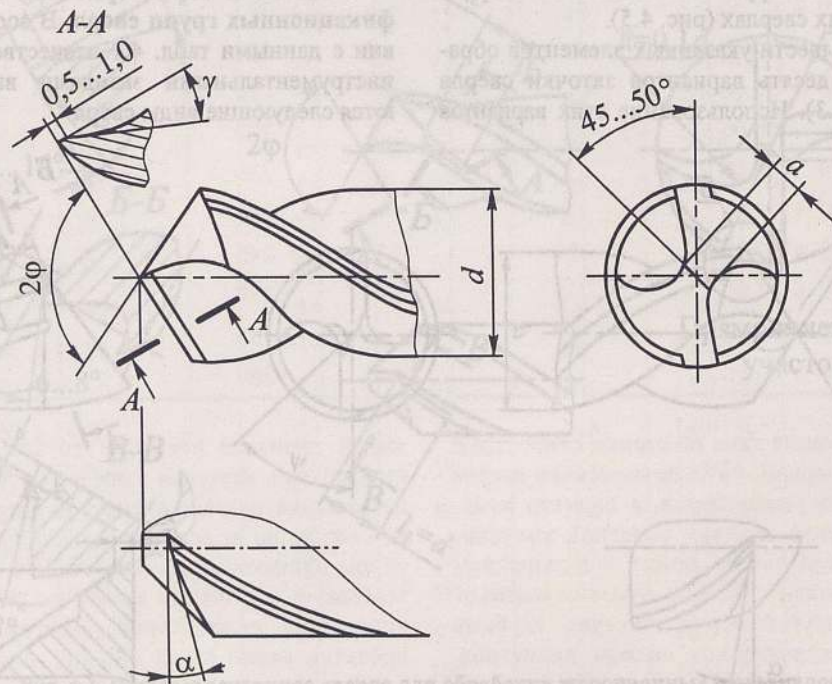


Рис. 4.5. Параметры фаски на передних поверхностях сверла

#### 4.3. Варианты форм режущих и рабочих частей сверл

Варианты заточки	Материал режущей части	Элементы заточки					Варианты форм режущих частей			
		$\alpha$	$\alpha_1$	ППК	ПЛ	без ПК	фаска	2 ленточки		4 одиночные ленточки
								одиночные	двойные	
1	БС	+	-	-	-	-	-	+	-	-
2		+	-	+	-	-	-	+	+	+
3		+	-	+	+	-	-	+	+	+
4		+	-	-	-	+	+	-	+	-
5	ТС	+	-	-	-	-	+	+	-	-
6		+	-	+	-	-	+	+	-	-
7		+	-	+	+	-	+	+	-	-
8	ТСП	+	+	-	+	-	-	+	+	-
9		+	+	+	+	-	-	+	+	-
10		+	+	-	+	-	+	+	-	-

Примечание. БС – быстрорежущая сталь; ТС – твердый сплав; ТСП – твердосплавные пластины. Знак «+» – применяемость элементов сверла при различных вариантах заточки.

#### 4.4. Конструктивные элементы сверл, размеры, мм

Диаметр сверла $d$	Задний угол $\alpha, ^\circ$	ППК		Длина ПЛ $l_1$	Без ПК		Длина второй кромки $b$
		Длина ПК $a$	Длина подточки $l$		глубина среза $h$	размер по кромке $k$	
Св. 0,24 до 0,60	20	-	-	-	-	-	-
» 0,60 » 0,95		-	-	-	-	-	-
» 0,95 » 1,70		-	-	-	-	-	-
» 1,70 » 3,00	18	-	-	-	-	-	-
» 3,00 » 7,50		-	-	-	-	-	-
» 7,50 » 9,50	12	1,0	2,0	-	-	-	-
» 9,50 » 11,80		1,2	2,5	-	-	-	-
» 11,80 » 16,00		1,5	2,5/3*	1,5	1,5	2,3	2,5
» 16,00 » 20,00	2,0	3,5/4	2,0		2,0	2,9	3,5
» 20,00 » 25,00	11	2,5	4,5/5	2,0	2,5	3,6	4,5
» 25,00 » 31,50		3,0	5,5/6		3,3	4,5	5,5
» 31,50 » 40,00		3,5	6,0/7	3,0	3,5	-	7,0
» 40,00 » 50,00	5,0	8,0/9	4,0		4,0	5,3	9,0
» 50,00 » 63,00	6,0	10,0/11		11,0			
» 63,00 » 71,00	7,0	12,0/13		13,0			
» 71,00 » 80,00	8,0	14,0/15	-	-	-	15,0	

\* Второй ряд – при двойной заточке.

**Цельные сверла из быстрорежущих сталей.** Сверла с цилиндрическим хвостовиком для обработки конструкционных и легированных сталей, чугунов, цветных металлов (технические требования по ГОСТ 2034–80):

- малоразмерные с утолщенным хвостовиком, правые и левые. Короткая серия ( $d = 0,1...1,5$  мм; длина рабочей части  $l = 0,6...9,0$  мм), длинная серия ( $d = 0,1...1,0$  мм;  $l = 1,2...9$  мм; общая длина  $L = 14...25$  мм) по ГОСТ 8034–76;

- короткая серия ( $d = 0,5...40$  мм;  $l = 3...100$  мм;  $L = 20...200$  мм) правые и левые по ГОСТ 4010–77;

- средняя серия ( $d = 0,25...20$  мм;  $l = 3...140$  мм;  $L = 19...205$  мм), правые и левые по ГОСТ 10902–77;

- длинная серия ( $d = 1...25$  мм;  $l = 33...185$  мм;  $L = 56...254$  мм), правые по ГОСТ 886–77;

- длинная серия под кондукторные втулки ( $d = 1,0...10,6$  мм;  $l = 25...111$  мм;  $L = 48...62$  мм) по ГОСТ 12122–77;

- сверхдлинная серия ( $d = 6,1...10$  мм;  $l = 180...250$  мм;  $L = 220...400$  мм), глубина отверстия до 10 по ТУ 2-035-1066–86.

Сверла с цилиндрическим хвостовиком для обработки труднообрабатываемых материалов (технические требования по ГОСТ 20698–75):

- короткая серия ( $d = 3...10$  мм;  $l = 16...45$  мм;  $L = 45...90$  мм); 2 и 4 направляющие ленточки по ГОСТ 20694–75;

- средняя серия ( $d = 3...10$  мм;  $l = 32...90$  мм;  $L = 60...135$  мм) по ГОСТ 20695–75.

Сверла с цилиндрическим хвостовиком для обработки легких сплавов (технические требования по ГОСТ 19548–88):

- средняя серия ( $d = 1...12$  мм;  $l = 12...101$  мм;  $L = 34...151$  мм; угол подъема винтовой линии  $\omega = 34...40^\circ$ ) по ГОСТ 19543–74;

- длинная серия ( $d = 1,95...12,0$  мм;  $l = 56...134$  мм;  $L = 85...205$  мм;  $\omega = 36...40^\circ$ ) по ГОСТ 19544–74;

- средняя серия, левые ( $d = 1...20$  мм;  $l = 12...140$  мм;  $L = 34...205$  мм;  $\omega =$

$= 34...40^\circ$ ) по ГОСТ 19545–74.

Сверла с коническим хвостовиком для обработки конструкционных сталей, чугунов, цветных металлов (технические требования по ГОСТ 2034–80; формы заточки по ГОСТ 4010–77):

- средняя серия ( $d = 5...80$  мм;  $l = 52...260$  мм;  $L = 133...514$  мм), по ГОСТ 10903–77;

- длинная серия ( $d = 5...50$  мм;  $l = 74...321$  мм;  $L = 155...470$  мм), под кондукторные втулки по ГОСТ 12121–77;

- удлиненная серия ( $d = 6...30$  мм;  $l = 145...275$  мм;  $L = 225...395$  мм), по ГОСТ 2092–77.

Сверла с коническим хвостовиком для обработки труднообрабатываемых материалов (технические требования по ГОСТ 20698–75):

- короткая серия ( $d = 6...20$  мм;  $l = 30...80$  мм;  $L = 105...180$  мм) по ГОСТ 20696–75;

- средняя серия ( $d = 6...20$  мм;  $l = 60...140$  мм;  $L = 140...240$  мм) по ГОСТ 20697–75.

Сверла с коническим хвостовиком для обработки легких сплавов (технические требования по ГОСТ 19548–88):

- средняя серия ( $d = 6...30$  мм;  $l = 57...175$  мм;  $L = 138...324$  мм;  $\omega = 40^\circ$ ) по ГОСТ 19546–74;

- удлиненная серия ( $d = 6...30$  мм;  $l = 145...275$  мм;  $L = 225...420$  мм;  $\omega = 40^\circ$ ) по ГОСТ 19547–74.

**Цельные твердосплавные сверла.** Сверла с цилиндрическими хвостовиками, правые и левые, для обработки труднообрабатываемых материалов (технические требования по ГОСТ 17277–71):

- сверхкороткая серия ( $d = 1,5...6,5$  мм;  $l = 5...25$  мм;  $L = 35...65$  мм); правые и левые по ГОСТ 17273–71;

- короткая серия ( $d = 1...12$  мм;  $l = 6...50$  мм;  $L = 32...100$  мм); правые и левые по ГОСТ 17274–71;

- средняя серия ( $d = 3...12$  мм;  $l = 24...70$  мм;  $L = 55...120$  мм); правые и левые по ГОСТ 17275–71.

Сверла с коническими хвостовиками

для обработки труднообрабатываемых материалов (технические требования по ГОСТ 17277–71):

- укороченная серия ( $d = 6...12$  мм;  $l = 40...70$  мм;  $L = 120...150$  мм) по ГОСТ 17276–71.

**Сверла, оснащенные твердосплавными пластинами (ТСП).** Сверла с цилиндрическим хвостовиком для обработки чугунов (технические требования по ГОСТ 5756–81):

- укороченная серия ( $d = 5...16$  мм;  $l = 36...80$  мм;  $L = 70...138$  мм);

- средняя серия ( $d = 5...16$  мм;  $l = 52...120$  мм;  $L = 86...178$  мм) по ГОСТ 22735–77.

Сверла с цилиндрическим хвостовиком для станков с ЧПУ (технические требования по ГОСТ 27724–88):

- механическое крепление ТСП (МС 121 и МС 2210;  $\sigma_b \leq 900$  Н/мм<sup>2</sup>),  $d = 18,5...60$  мм;  $l = 60...165$  мм;  $L = 108...230$  мм по ГОСТ 27724–88.

Сверла с коническим хвостовиком для обработки чугунов (технические требования по ГОСТ 5756–81)  $d = 10...30$  мм двух серий:

- укороченной ( $l = 60...125$  мм;  $L = 140...275$  мм);

- средней ( $l = 87...175$  мм;  $L = 168...324$  мм) по ГОСТ 22736–77.

Сверла кольцевые с механическим креплением СМП конструкции РПУП «Оршанский инструментальный завод» (Беларусь)  $d = 70...200$  мм;  $l = 160...530$  мм;  $L = 260...630$  мм, число режущих пластин  $z = 4$ .

#### 4.2.2. Зенкеры

**Геометрические параметры, формы режущих частей и заточки зенкеров.** Диаметр зенкеров зависит от глубины резания и диаметра предварительно просверленного отверстия. Чистовой зенкер с полем допуска h8 должен обеспечивать диаметр отверстия с полем допуска H11. Его номинальный диаметр, выбираемый из стандартов, определяется ре-

жимом обработки. Зенкер с полем допуска H8 для предварительной обработки должен иметь номинальный диаметр, близкий к номинальному диаметру отверстия, с учетом глубины резания, рекомендуемой для чистовых разверток.

Длину зенкера выбирают подобно длине сверла, но в отличие от нее длина зависит от конструкции зенкера. Зенкеры малых размеров делают цельными с хвостовиком, а больших размеров – сборными с насадной частью, которую выполняют цельной или сборной с ножами из быстрорежущей стали (БС) и ножами, оснащенными пластинами из твердых сплавов (ТСП). Длина рабочей части насадных зенкеров определяется длиной ножей (для  $d = 30...60$  мм,  $L = 26$  мм, а для  $d = 62...100$  мм,  $L = 35$  мм). Длина  $l$  хвостовых конструкций для большинства стандартных зенкеров унифицирована по общему ряду чисел (табл.4.5). Длина цельных твердосплавных (ТС) зенкеров намного короче. Зенкеры, оснащенные ТСП для обработки просверленных отверстий в отливках, поковках и штамповках из конструкционных сталей и чугунов диаметром до 32 мм, имеют длину  $l$  из общего ряда, а диаметром выше 32 мм – из дополнительных рядов (первого или второго).

Длина  $l$  насадной части, оснащенной ТСП, у зенкеров, предназначенных для обработки коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов, увеличена (табл. 4.6) по сравнению с аналогичными конструкциями зенкеров, применяемыми для обработки других материалов, в том числе и легких сплавов.

Диаметр  $d_0$  посадочного отверстия (с конусностью 1:30) выбирают по табл. 4.6 так же, как и длину  $l$ .

Диаметр цилиндрического хвостовика номинально равен диаметру рабочей части зенкера с предельными отклонениями по Н9. Длина хвостовиков приводится в НД на конструкции и размеры зенкеров. Конические хвостовики соответствуют ГОСТ 25557–82 с допусками по ГОСТ 2848–75.

4.5. Длины  $l$  хвостовых зенкоров, мм

Диаметры зенкоров	Материалы режущих частей		Диаметры зенкоров	Материалы режущих частей БС, ТСП
	ТС	БС, ТСП		
Св. 3,0 до 3,3	12	33	Св. 19,0 до 20,0	140
» 3,3 » 3,8	14	39	» 20,0 » 21,2	145
» 3,8 » 4,3	14	43	» 21,2 » 22,4	150
» 4,3 » 4,8	16	47	» 22,4 » 23,6	155
» 4,8 » 5,8	16	52	» 23,6 » 25,0	160
» 5,8 » 6,8	18	57	» 25,0 » 26,5	165
» 6,8 » 7,8	18	69	» 26,5 » 28,0	170
» 7,8 » 8,5	20	75	» 28,0 » 30,0	175
» 8,5 » 9,5		81	» 30,0 » 31,5	180
» 9,5 » 10,6		87	» 31,5 » 33,5	185
» 10,6 » 11,8	22	94	» 33,5 » 35,5	190
» 11,8 » 13,2	22	101	» 35,5 » 37,5	195
» 13,2 » 14,0	—	108	» 37,5 » 40,0	200
» 14,0 » 15,0	—	114	» 40,0 » 42,5	205
» 15,0 » 16,0	—	120	» 42,5 » 45,5	210
» 16,0 » 17,0	—	125	» 45,5 » 47,5	215
» 17,0 » 18,0	—	130	» 47,5 » 50,0	220
» 18,0 » 19,0	—	135		

4.6. Диаметры  $d_0$  посадочных отверстий и рабочие длины  $l$  насадных зенкоров и их применяемость, размеры, мм

$d$	БС, ТСП, сталь, чугун		БС, легкие сплавы		ТСП, жаропрочные материалы		С ножами	
	$d_0$	$l$	$d_0$	$l$	$d_0$	$l$	БС, ТСП	ТСП, легкие сплавы
Св. 23,6 до 30,0	13	45	—	—	16	50	—	—
» 30,0 » 35,5			—	—			—	—
» 35,5 » 42,5	16	50	16	50	19	56	—	16
» 42,5 » 45,0			—	—			—	—
» 45,0 » 47,5	19	56	19	56	22	63	—	19
» 47,5 » 50,0							—	
» 50,0 » 52,5	22	56	22	63	27	71	22	22
» 52,5 » 55,0							—	

Продолжение табл. 4.6

$d$	БС, ТСП, сталь, чугун		БС, легкие сплавы		ТСП, жаропрочные материалы		С ножами	
	$d_0$	$l$	$d_0$	$l$	$d_0$	$l$	БС, ТСП	ТСП, легкие сплавы
Св. 55,0 до 60,5	27	60	22	63	27	71	27	22
» 60,5 » 64,0					32	80		
» 64,0 » 70,0			32	65	27	71	40	90
» 70,0 » 75,0	32	80						
» 75,0 » 80,0	—	—	—	—	—	—	40	—
» 80,0 » 100,0								

**Формы режущих частей зенкоров.** Они различаются у зенкоров, предназначенных для обработки сквозных или глухих отверстий. У последних затачиваются торцовые зубья. Зенкеры из твердых сплавов группы ВК изготавливают с углом при вершине  $\varphi$ ; если применяется сплав группы ТК, то угол в месте перехода режущей части на калибрующую приглушают фаской шириной 0,8...1 мм, которая становится дополнительной режущей кромкой. У зенкоров небольших диа-

метров начало режущей части выполняют в виде конусов с углами 75 или 120°. На торцовых зенкерах периферийный угол выполняют либо острым, либо с фаской 0,2 × 45° (как, например, у зенкоров для обработки легких сплавов).

Стандартные зенкеры имеют пять вариантов формы зубьев: 1 – угол  $\varphi$  и фаска (рис. 4.6); 2 – угол  $\varphi$ , фаски нет (рис. 4.7); 3 – угол  $\varphi$ , наружные центры (рис. 4.8); 4 – торцовые зубья с фаской (рис. 4.9); 5 – торцовые зубья, фаски нет.

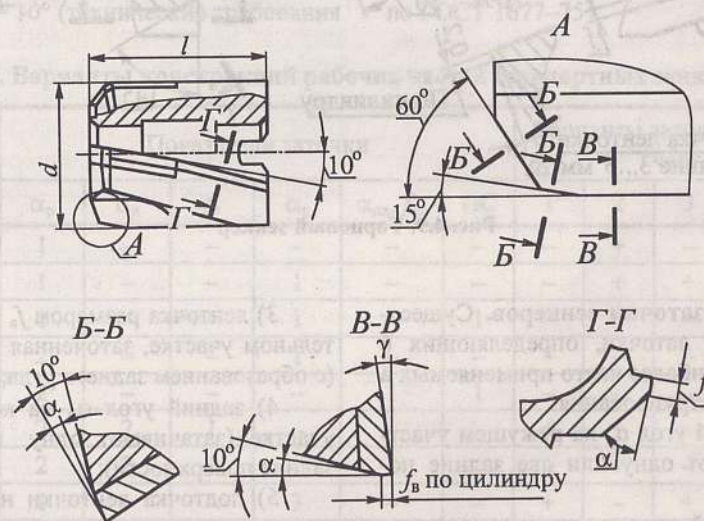


Рис. 4.6. Насадной зенкер с переходной кромкой, оснащенный ТСП

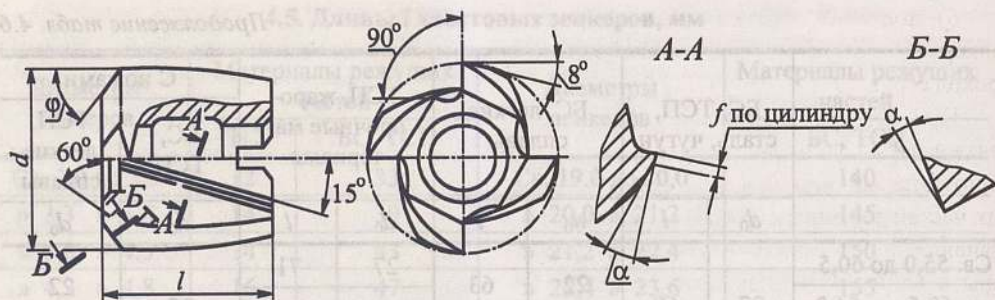


Рис. 4.7. Насадной зенкер с подточкой торца и без переходной кромки

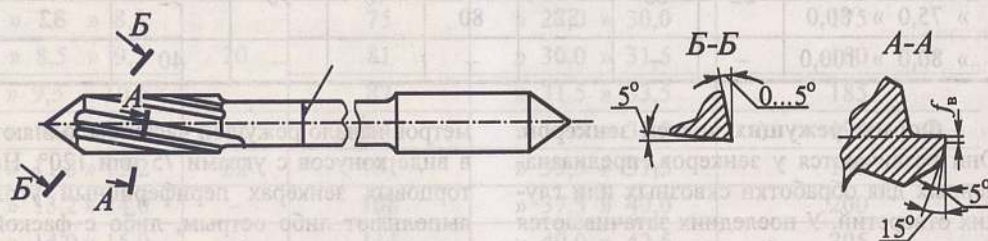


Рис. 4.8. Цельный твердосплавный зенкер с прямым центром

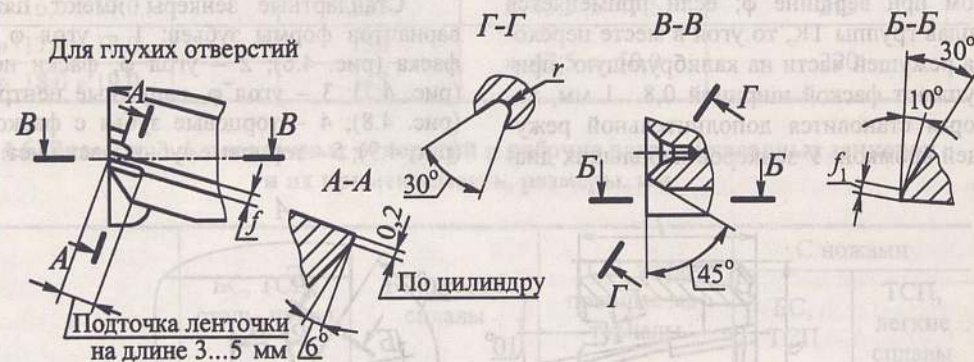


Рис. 4.9. Торцовый зенкер

**Формы заточки зенкеров.** Существует 8 форм заточки, определяющих 6 элементов, наиболее часто применяемых в практике конструирования:

1) задний угол  $\alpha_p$  на режущем участке (затачивают одну или две задние поверхности);

2) задний угол  $\alpha_b$  на вспомогательном участке;

3) ленточка размером  $f_b$  на вспомогательном участке, заточенная по цилиндру (с образованием заднего угла, равного 0);

4) задний угол  $\alpha_k$  на калибрующем участке (затачивают одну, две или три задние поверхности);

5) подточка ленточки на калибрующем участке с уменьшением ее размера до  $f_l$  и образованием заднего угла  $\alpha_{пл}$ ;

6) подточка сердцевинки на торцах зенкеров, обеспечивающая свободный проход стружки в канавку (ПС).

При сочетании вариантов форм заточки с пятью формами режущего участка образуются 12 видов конструкций рабочих частей зенкеров (табл. 4.7). Числовые значения сочетающихся параметров указаны в конкретных стандартах конструкций и размеров зенкеров.

**Состав и характеристика классификационных групп зенкеров.** В соответствии с табл.4.1 стандартные зенкеры изготавливают для обработки отверстий в следующих материалах.

Зенкеры для обработки *конструкционных и легированных сталей и чугунов* (ГОСТ 12489-71). Технические требования по ГОСТ 1677-75, для отверстий, просверленных в отливках, поковках или штамповках:

1.1.2.  $d = 7,8...50$  мм;  $l = 75...220$  мм;  $L = 156...369$  мм;  $z = 3$ ;

1.1.3.  $d = 24,7...50$  мм;  $l = 45...56$  мм;  $z = 4$ ;  $\omega = 15^\circ$ .

**ГОСТ 2255-71**

3.1.3.  $d = 50...100$  мм;  $L = 60...76$  мм;  $z = 4$  и 6;  $\omega = 10^\circ$  (технические требования по ГОСТ 1677-75).

по ГОСТ 1677-75).

**ГОСТ 3231-71**

2.2.2.  $d = 11,75...50$  мм;  $l = 94...210$  мм;  $L = 175...355$  мм;  $z = 3$ ;  $\omega_{\text{тп}} = 10^\circ$ ;  $\omega = 20^\circ$ .

2.2.3.  $d = 31,6...80$  мм;  $l = 45...65$  мм;  $z = 4$ ;  $\omega_{\text{тп}} = 10^\circ$ ;  $\omega = 15^\circ$ . Для просверленных отверстий, а также в отливках, поковках и штамповках (технические требования по ГОСТ 12509-75).

Зенкеры для обработки *легких сплавов*

**ГОСТ 21579-76**

1.1.1.  $d = 3...9$  мм;  $l = 33...81$  мм;  $L = 61...125$  мм;  $z = 2$ ;  $\omega = 20^\circ$  (технические требования по ГОСТ 21579-76).

**ГОСТ 21580-76**

1.1.1. С торцовыми зубьями. Параметры те же, что и по ГОСТ 21579-76.

**ГОСТ 21581-76**

1.1.2.  $d = 10...35$  мм;  $l = 87...190$  мм;  $L = 168...339$  мм;  $z = 3$ ;  $\omega = 30^\circ$  (технические требования по ГОСТ 21581-76).

**ГОСТ 21582-76**

1.1.2. С торцовыми зубьями. Параметры те же, что и по ГОСТ 21581-76.

**ГОСТ 21584-76**

1.1.3.  $d = 36...80$  мм;  $L = 50...80$  мм;  $z = 3...5$ ;  $\omega = 30^\circ$  (технические требования по ГОСТ 1677-75).

#### 4.7. Варианты конструкций рабочих частей стандартных зенкеров

Варианты заточки	Показатели заточки						Варианты заточки режущих частей				
	$\alpha_p$	$\alpha_b$	$f_b$	$\alpha_k$	$\alpha_{пл}, f_{пл}$	ПС	1	2	3	4	5
1	1	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
2	1	-	-	1	-	-	-	+	+	-	-
3	1	-	-	1	-	1	-	+	-	-	-
4	2	-	-	1	-	-	-	-	-	+	-
5	2	-	-	-	1	1	-	-	-	-	+
6	2	2	1	-	-	-	+	+	-	-	-
7	2	2	1	1	-	-	+	+	-	-	-
8	1	-	-	3	-	-	+	-	+	-	-

Примечание. Знак «+» — применяемость формы заточки режущего участка.

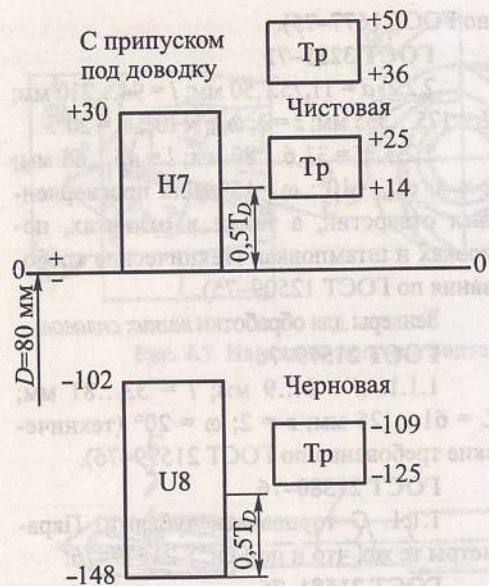


Рис. 4.10. Схема расположения полей допусков отверстия диаметром 80Н7 и развертки для его обработки

#### ГОСТ 21583-76

2.2.2.  $d = 18...35$  мм;  $l = 130...190$  мм;  $L = 228...339$  мм;  $z = 3$ ;  $\omega = 30^\circ$  (технические требования по ГОСТ 21587-76).

#### ГОСТ 21585-76

2.2.3.  $d = 36...80$  мм;  $L = 50...80$  мм;  $z = 3...5$ ;  $\omega = 30^\circ$  (технические требования по ГОСТ 21587-76).

Зенкеры для обработки *коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов*

#### ГОСТ 21543-76

1.2.1.  $d = 3...10$  мм;  $l = 12...20$  мм;  $L = 61...133$  мм;  $z = 3$ ;  $\omega = 10^\circ$  (технические требования по ГОСТ 21545-76).

#### ГОСТ 21544-76

1.2.2.  $d = 7,8...12$  мм;  $l = 18...22$  мм;  $L = 156...182$  мм;  $z = 3$ ;  $\omega = 10^\circ$  (технические требования по ГОСТ 21545-76).

#### ГОСТ 21540-76

2.2.2.  $d = 12...50$  мм;  $l = 101...220$  мм;  $L = 182...369$  мм;  $z = 3$ ;  $\omega = 10^\circ$  (технические

требования по ГОСТ 21542-76).

#### ГОСТ 21541-76

3.2.2.  $d = 30...50$  мм;  $L = 262,5...308$  мм;  $z = 3$  и  $4$ ;  $\omega = 10^\circ$ .

3.2.3.  $d = 50...80$  мм;  $L = 58...69$  мм;  $z = 4$  и  $6$ ;  $\omega = 10^\circ$  (технические требования по ГОСТ 21542-76).

### 4.2.3. Развертки

**Геометрические параметры и формы режущих частей разверток.** Диаметр чистовых разверток рассчитывают исходя из заданного поля допуска отверстия. Чистовые развертки применяют после обработки отверстия зенкером, предельные отклонения которого соответствуют полю допуска h8, а номинальный диаметр назначают с учетом припуска под развертывание. Черновые развертки изготовляют с предельными отклонениями диаметра, которые определенным образом увязаны с полем допуска отверстия U8 и выбирают по ГОСТ 13779-77. На рис. 4.10 приведены размеры чистовой и черновой разверток, а также развертки с припуском под доводку, предназначенные для обработки отверстия с полем допуска H7.

Длина разверток, как и зенкеров, зависит от их конструктивного исполнения (цельные или сборные). Хвостовые и насадные развертки больших размеров состоят из стального корпуса и закрепленных на нем ножей из быстрорежущей стали или оснащенных ТСП. Ножи из быстрорежущей стали (БС) изготавливают по ГОСТ 16602-80; оснащенные ТСП, привертываемые — по ГОСТ 16806-71; оснащенные напайваемыми ТСП — по ГОСТ 21527-76. Длины ножей из БС и длины рабочих частей насадных разверток следующие: для  $d = 40...45$  мм —  $l = 40$  мм;  $d = 45...65$  мм —  $l = 45$  мм;  $d = 65...80$  мм —  $l = 50$  мм;  $d = 80...100$  мм —  $l = 56$  мм; хвостовых разверток: для  $d = 32...35$  мм —  $l = 38$  мм;  $d = 36...42$  мм —  $l = 42$  мм;  $d = 45...50$  мм —  $l = 45$  мм.

Длины  $l$  рабочих частей насадных разверток с привернутыми ножами, оснащенными ТСП, следующие: для  $d = 52$  мм —  $l = 25$  мм;  $d = 55...145$  мм —  $l = 32$  мм;  $d = 150...300$  мм —  $l = 58$  мм; с напайными пластинами: для  $d = 50...52$  мм —  $l = 26$  мм;  $d = 55...80$  мм —  $l = 32$  мм.

Длину  $l$  хвостовых разверток выбирают по табл. 4.8, а насадных — по табл. 4.9.

Диаметр цилиндрического хвостовика примерно равен диаметру рабочей час-

ти развертки (предельные отклонения по h9), но не менее 3 мм. Он унифицирован для диапазона размеров, регламентируемых стандартами. Длину хвостовиков машинных разверток принимают равной 22 мм для  $d$  свыше 2,8 до 5,5 мм и равной 25 мм для  $d$  свыше 5,5 до 10 мм. У твердосплавных разверток диаметром  $d = 1...2,8$  мм длина хвостовика с целью повышения жесткости за счет сокращения размера шейки увеличена до 35 мм.

### 4.8. Серии рабочих длин $l$ хвостовых разверток, мм

Диаметры разверток $d$	Тип развертки						
	ТСП, сборные	БС, сборные	ТС, цельные	БС, цельные	ручные удлиненные	удлиненные	котельные
От 1,00 до 1,15	—	—	—	—	18	—	—
Св. 1,15 » 1,50	—	—	—	—	20	—	—
» 1,50 » 1,70	—	—	—	—	21	—	—
» 1,70 » 1,90	—	—	—	—	23	—	—
» 1,90 » 2,12	—	—	12	11	25	—	—
» 2,12 » 2,36	—	—	—	12	27	—	—
» 2,36 » 2,65	—	—	—	14	29	—	—
» 2,65 » 3,00	—	—	—	15	31	—	—
» 3,00 » 3,40	—	—	—	16	33	—	—
» 3,40 » 3,80	—	—	—	18	35	—	—
» 3,80 » 4,25	—	—	14	19	38	—	—
» 4,25 » 4,80	—	—	—	21	41	—	—
» 4,80 » 5,25	—	—	16	23	44	—	—
» 5,25 » 5,50	—	—	—	26	47	—	—
» 5,50 » 6,00	—	—	—	—	—	—	—
» 6,00 » 6,70	—	—	18	31	50	—	75
» 6,70 » 7,50	—	—	—	—	54	95	80
» 7,50 » 8,50	—	—	—	33	58	100	80
» 8,50 » 9,50	—	—	20	36	62	105	—
» 9,50 » 10,40	—	—	—	38	66	110	—
» 10,40 » 11,80	—	16	—	41	71	120	100
» 11,80 » 13,20	16	—	22	44	76	125	105
» 13,20 » 14,00	—	—	—	47	81	130	—
» 14,00 » 15,00	—	18	—	50	—	—	125
» 15,00 » 16,00	19	—	—	52	87	140	—

Продолжение 4.8

Диаметры разверток $d$	Тип развертки										
	ТСП, сборные	БС, сборные	ТС, цельные	БС, цельные	ручные удлиненные	удлиненные	котельные				
Св. 16,00 до 17,00	19	18	—	54	87	140	135				
» 17,00 » 18,00			—	56	93	150	—				
» 18,00 » 19,00			—	58			140				
» 19,00 » 20,00			—	60	100	160	—				
» 20,00 » 21,20			—	62			150				
» 21,20 » 22,40			—	64			—				
» 22,40 » 23,60			22	20	—	68	107	170	—		
» 23,60 » 25,00					—	70	115	180	160		
» 25,00 » 26,50					—	71			175		
» 26,50 » 28,00					25	22	—	73	124	190	—
» 28,00 » 30,00							—	75	133	200	190
» 30,00 » 31,50							—	77			205
» 31,50 » 33,50			—	78			142	210	—		
» 33,50 » 35,50			—	79	152	—	220				
» 35,50 » 37,50	—	81	220								
» 37,50 » 40,00	—	82	163	—	230						
» 40,00 » 42,50	—	83			—						
» 42,50 » 45,00	—	84			—						
» 45,00 » 47,50	—	86			—						
» 47,50 » 50,00	—	—	174	—	—						
» 50,00 » 52,50	—	—			—						
» 52,50 » 60,00	—	—			—						
» 60,00 » 67,50	—	—	—	184	—						
» 67,50 » 72,50	—	—	—	194	—						
» 72,50 » 80,00	—	—	—	203	—						

4.9. Диаметры посадочных отверстий  $d_0$  и рабочие длины  $l$  насадных разверток, мм

Диаметры разверток $d$	БС		ТСП		С ножами	
	$d_0$	$l$	$d_0$	$l$	БС $d_0$	ТСП $d_0$
От 25 до 30	13	32	13	36	—	—
Св. 30 » 35	16	36	13	36	—	—
» 35 » 42	19	40	16	40	—	—
» 42 » 45	22	45	16	40	16	—
» 45 » 50	22	45	19	45	—	—
» 50 » 52	—	—	19	45	19	22

Продолжение табл. 4.9

Диаметры разверток $d$	БС		ТСП		С ножами	
	$d_0$	$l$	$d_0$	$l$	БС $d_0$	ТСП $d_0$
» 52 » 57	27	50	—	—	—	—
» 57 » 60	—	—	22	50	22	27
» 60 » 63	32	56	—	—	—	—
» 63 » 67	—	—	—	—	22	27
» 67 » 71	32	56	27	56	27	—
» 71 » 75	40	63	—	—	27	—
» 75 » 80	40	63	32	63	32	32
» 80 » 100	—	—	—	—	40	40
» 100 » 145	—	—	—	—	—	50
» 145 » 225	—	—	—	—	—	60
» 225 » 300	—	—	—	—	—	80

**Формы режущих частей разверток.** Формы профилей зубьев цилиндрических разверток характеризуются сочетанием одинарного  $\phi$  или двойного  $\phi$  и  $\phi_1$  углов при вершине с заходной фаской или наружными центрами, используемыми для базирования разверток при заточке. Вместо конического режущего участка иногда делают кольцевой, ступенчатый. Применяют также развертки с торцовым режущим участком. Таким образом, у стандартных разверток встречаются семь вариантов форм профилей зубьев:

- 1 – угол  $\phi$  и фаска  $c \times 45^\circ$  (рис. 4.11);
- 2 – угол  $\phi$ , фаски нет (рис. 4.12);
- 3 – угол  $\phi$ , наружный центр (рис. 4.13);
- 4 – углы  $\phi$  и  $\phi_1$  и фаска  $c \times 45^\circ$  (рис. 4.14);
- 5 – углы  $\phi$  и  $\phi_1$ , фаски нет;
- 6 – ступенчатая кольцевая заточка с фаской  $c \times 45^\circ$  (рис. 4.15);
- 7 – торцовые зубья с фаской  $c \times 45^\circ$  (рис. 4.16).

Периферийная часть зубьев может иметь прямое, левое и правое направления относительно оси развертки.



Рис. 4.11. Развертка с отдельными заходным и режущим участками

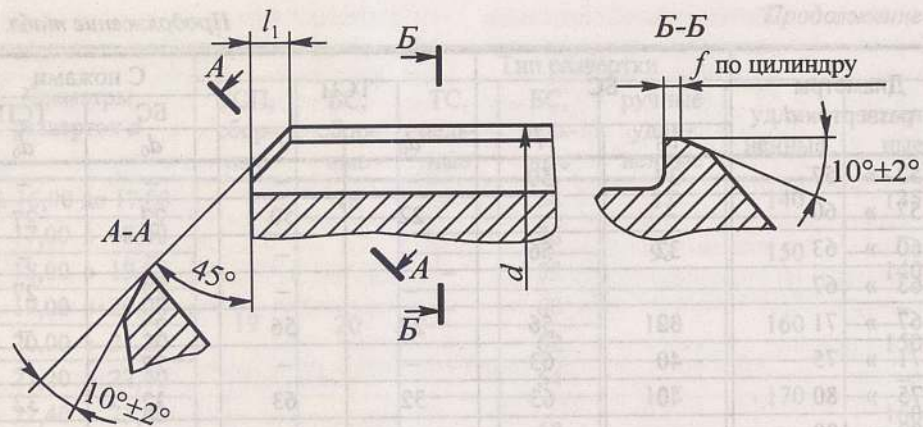


Рис. 4.12. Развертка с совмещенными заходным и режущим участками

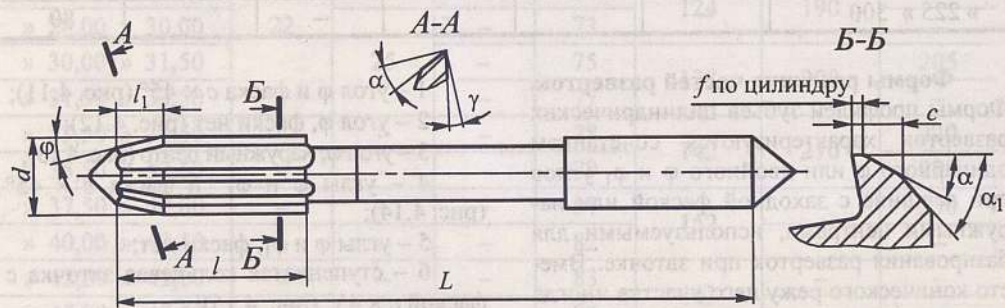


Рис. 4.13. Развертка с совмещенным заходным участком и наружными центрами

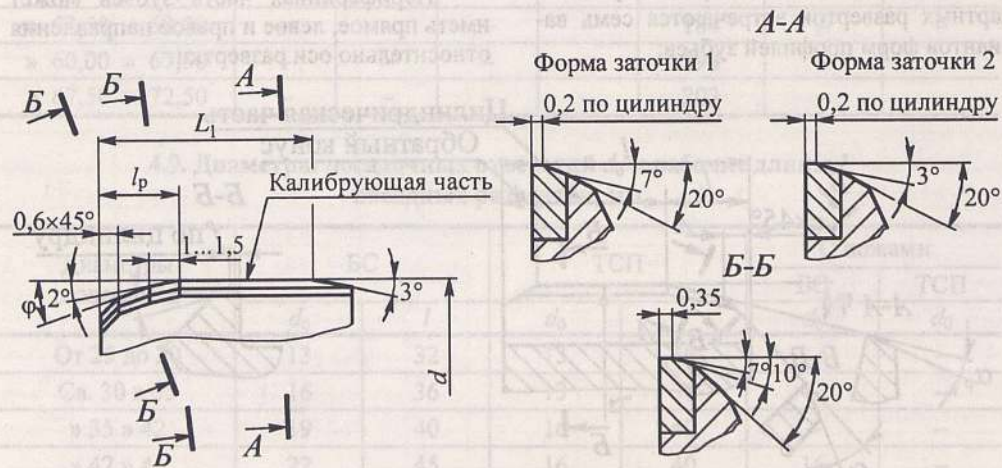


Рис. 4.14. Развертка с переходной кромкой на режущем участке

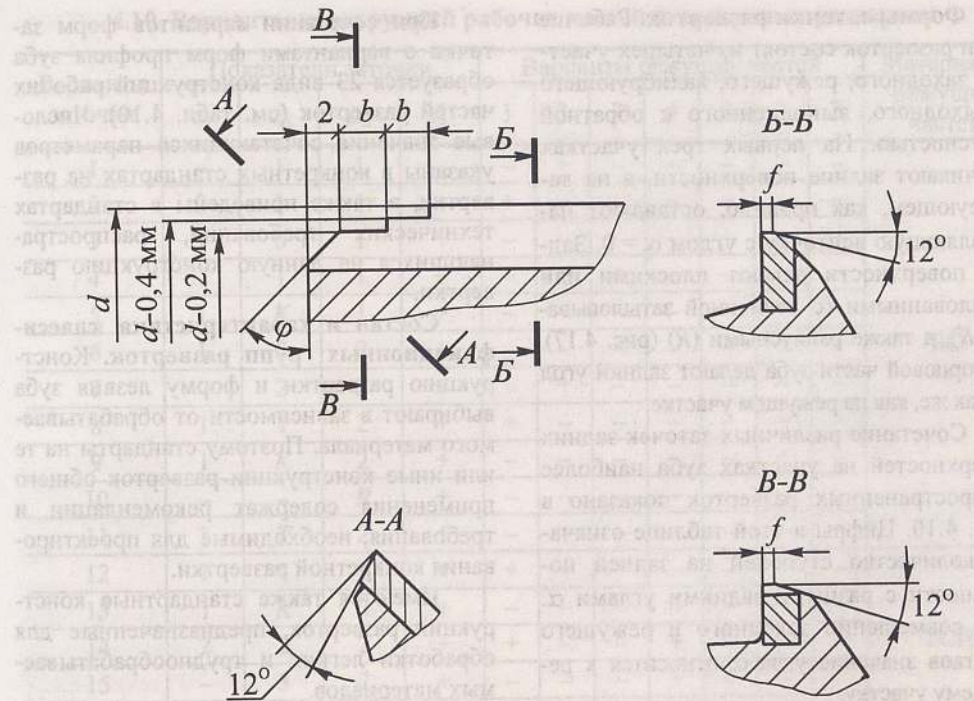


Рис. 4.15. Развертка со ступенчатой затылованной и кольцевой режущими частями

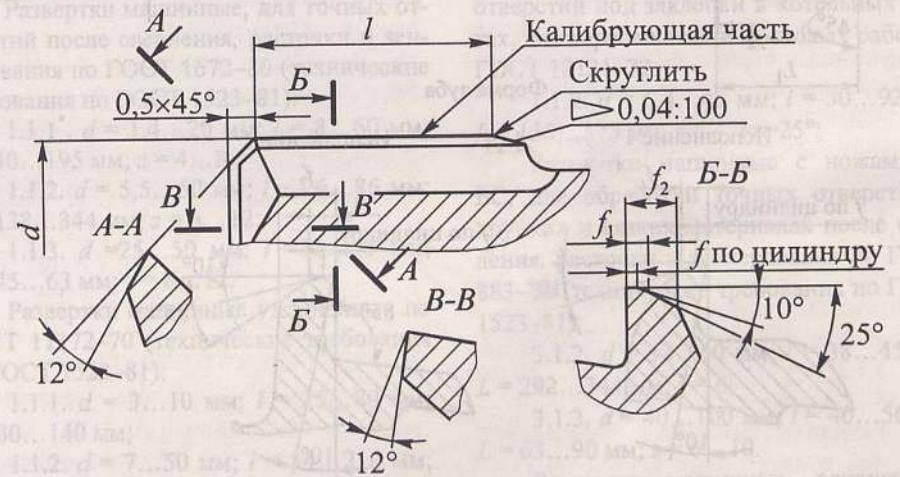


Рис. 4.16. Развертка с торцевой режущей частью и заходной фаской

**Формы заточки разверток.** Рабочие части разверток состоят из четырех участков: заходного, режущего, калибрующего и выходного, выполненного с обратной конусностью. На первых трех участках затачивают задние поверхности, а на калибрующем, как правило, оставляют направляющую ленточку с углом  $\alpha = 0$ . Задние поверхности делают плоскими или затылованными (с величиной затыловывания  $K$ ), а также радиусными ( $R$ ) (рис. 4.17). На торцовой части зуба делают задний угол ( $T$ ) так же, как на режущем участке.

Сочетание различных заточек задних поверхностей на участках зуба наиболее распространенных разверток показано в табл. 4.10. Цифры в этой таблице означают количество ступеней на задней поверхности с разными задними углами  $\alpha$ . При совмещении заходного и режущего участков значение угла  $\alpha$  относится к режущему участку.

При сочетании вариантов форм заточки с вариантами форм профиля зуба образуется 23 вида конструкций рабочих частей разверток (см. табл. 4.10). Числовые значения сочетающихся параметров указаны в конкретных стандартах на развертки, а также приведены в стандартах технических требований, распространяющихся на данную конструкцию развертки.

**Состав и характеристика классификационных групп разверток.** Конструкцию развертки и форму лезвия зуба выбирают в зависимости от обрабатываемого материала. Поэтому стандарты на те или иные конструкции разверток общего применения содержат рекомендации и требования, необходимые для проектирования конкретной развертки.

Имеются также стандартные конструкции разверток, предназначенные для обработки легких и труднообрабатываемых материалов.

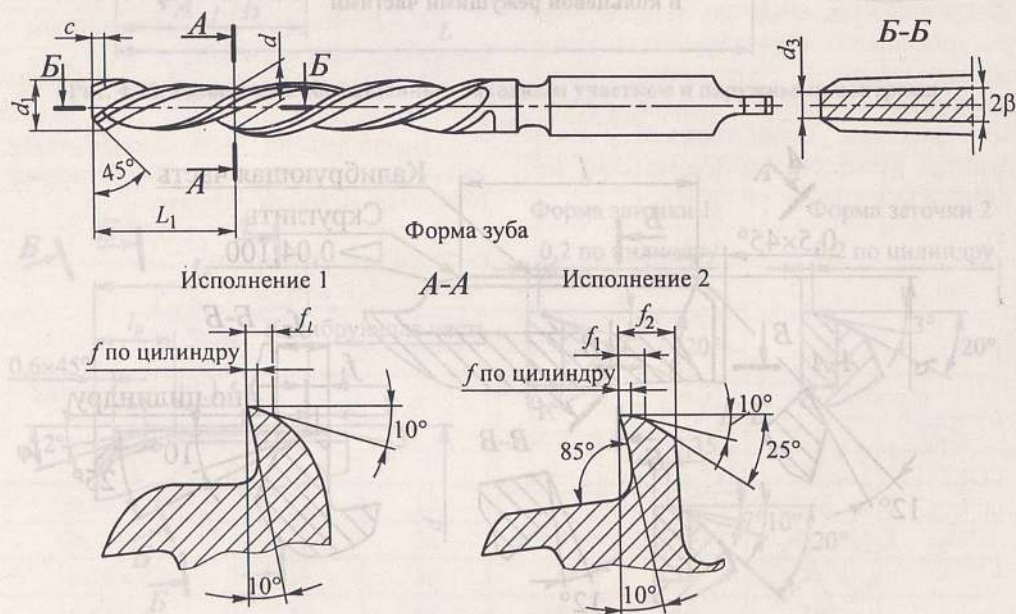


Рис. 4.17. Котельная развертка с удлиненным режущим участком с радиусной (исполнение 1) и плоской (исполнение 2) спинками

#### 4.10. Варианты конструкций рабочих частей стандартных разверток

Варианты заточки	Показатели заточки				Варианты режущих частей							Материалы режущих частей
	$\alpha_z$	$\alpha_p$	$\alpha_k$	$f_k$	1	2	3	4	5	6	7	
1	—	1	1	—	—	+	—	—	—	—	—	БС
2	0	1	1	+	+	—	—	—	—	—	—	
3	1	0	1	+	—	—	—	—	—	+	—	
4	1	1	1	+	+	+	+	—	—	—	—	
5	1	K	1	+	—	—	—	—	—	+	—	
6	1	0	2	+	—	—	—	—	—	+	—	
7	—	2	2	+	—	+	—	—	—	—	—	
8	1	1	2	+	+	—	—	—	—	—	—	
9	1	K	2	+	—	—	—	—	—	+	—	
10	—	—	R	+	—	—	—	—	—	—	—	
11	1	T	2	+	—	—	—	—	—	—	+	
12	1	1	3	+	+	+	+	—	—	+	—	
13	1	K	3	+	—	—	—	—	—	+	—	
14	2	2	2	+	+	—	—	+	—	—	—	
15	—	3	2	+	—	—	—	+	+	—	—	
16	—	3	3	—	—	—	—	+	+	—	—	

Примечание. Знак «+» — применяемость формы режущей части.

#### Развертки для обработки конструкционных сталей и чугунов

Развертки машинные, для точных отверстий после сверления, расточки и зенкерования по ГОСТ 1672–80 (технические требования по ГОСТ 1523–81):

1.1.1.  $d = 1,4 \dots 20$  мм;  $l = 8 \dots 60$  мм;  $L = 40 \dots 195$  мм;  $z = 4 \dots 8$ ;

1.1.2.  $d = 5,5 \dots 50$  мм;  $l = 26 \dots 86$  мм;  $L = 138 \dots 344$  мм;  $z = 6 \dots 12$ ;

1.1.3.  $d = 25 \dots 50$  мм;  $l = 32 \dots 45$  мм;  $L = 45 \dots 63$  мм;  $z = 8 \dots 12$ .

Развертки машинные удлиненные по ГОСТ 11172–70 (технические требования по ГОСТ 1523–81):

1.1.1.  $d = 3 \dots 10$  мм;  $l = 25 \dots 80$  мм;  $L = 80 \dots 140$  мм;

1.1.2.  $d = 7 \dots 50$  мм;  $l = 54 \dots 210$  мм;

$L = 134 \dots 334$  мм;  $z = 6 \dots 12$ ;

Развертки машинные котельные, для отверстий под заклепки в котельных листах, для корабельных и мостовых работ по ГОСТ 18121–72:

1.1.2.  $d = 6,4 \dots 40$  мм;  $l = 30 \dots 92$  мм;  $L = 155 \dots 375$  мм;  $z = 4$ ;  $\omega = 25^\circ$ ;

Развертки машинные с ножами из БС, для обработки точных отверстий в хрупких и вязких материалах после сверления, расточки и зенкерования по ГОСТ 883–80 (технические требования по ГОСТ 1523–81):

3.1.2.  $d = 32 \dots 50$  мм;  $l = 38 \dots 45$  мм;  $L = 292 \dots 344$  мм;  $z = 6$ ;

3.1.3.  $d = 40 \dots 100$  мм;  $l = 40 \dots 56$  мм;  $L = 63 \dots 90$  мм;  $z = 6 \dots 10$ .

Развертки машинные, оснащенные ТСП, для обработки точных отверстий после расточки и зенкерования без кон-

\* См. табл. 4.1



дукторных втулок; направление канавок прямое, винтовое левое или правое по ГОСТ 28321-89 (технические требования по ГОСТ 5735-81):

2.2.3.  $d = 32...50$  мм;  $l = 36...45$  мм;  $L = 45...56$  мм;  $z = 6...10$ ;  $\omega = 10^\circ$ ;

Развертки насадные с привернутыми ножами, оснащенными ТСП по ГОСТ 11176-71:

3.2.3.  $d = 52...300$  мм;  $l = 25...58$  мм;  $L = 55...100$  мм;  $z = 6...18$ .

Развертки ручные цилиндрические, прямые и винтовые канавки по ГОСТ 7722-77 (технические требования по ГОСТ 1523-81; материал 9ХС):

1.1.1.  $d = 1...71$  мм;  $l = 18...203$  мм;  $L = 38...406$  мм;  $z = 4...12$ ;  $\omega = 6^\circ$ .

**Развертки для обработки легких сплавов.** Развертки машинные, без кондукторных втулок по ГОСТ 19267-73 (технические требования по ГОСТ 19271-73):

1.1.1.  $d = 6...9,5$  мм;  $l = 26...36$  мм;  $L = 93...125$  мм;  $z = 4$ ;

Развертки машинные, без кондукторных втулок. Два исполнения по ГОСТ 19268-73 (технические требования по ГОСТ 1523-81):

1.1.2.  $d = 10...32$  мм;  $l = 38...77$  мм;  $L = 168...317$  мм;

Развертки машинные, насадные, без кондукторных втулок; прямозубые, с винтовыми канавками и торцовыми зубьями по ГОСТ 20388-74...ГОСТ 20390-74 (технические требования по ГОСТ 20393-74):

1.1.3.  $d = 25...80$  мм;  $l = 32...63$  мм;  $L = 45...90$  мм;  $z = 6, 8$  и  $10$ ;  $\omega = 12^\circ$ ;

Развертки машинные, насадные, без кондукторных втулок по ГОСТ 20392-74 (технические требования по ГОСТ 20393-74):

3.1.3.  $d = 40...80$  мм;  $l = 28...36$  мм;  $L = 54...84$  мм;  $z = 6...10$ .

Развертки машинные, твердосплавные, без кондукторных втулок по ГОСТ 19269-73 (технические требования по ГОСТ 16088-70):

1.2.1.  $d = 6...9,5$  мм;  $l = 18$  и  $20$  мм;  $L = 93...125$  мм;  $z = 4$ ;

Развертки машинные, оснащенные ТСП; без кондукторных втулок. Прямозубые и ступенчатые по ГОСТ 28321-89 (технические требования по ГОСТ 5735-81):

2.2.2.  $d = 16...23$  мм;  $l = 19$  мм;  $L = 170...200$  мм;  $z = 4$ ;

2.2.3.  $d = 25...80$  мм;  $l = 36...63$  мм;  $L = 45...80$  мм;  $z = 6...10$ .

**Развертки для обработки труднообрабатываемых материалов** ( $\sigma_b \leq 1600...2000$  Н/мм<sup>2</sup>, закаленные, коррозионно-стойкие стали, жаропрочные сплавы, серые чугуны, пластмассы с абразивными наполнителями):

Развертки машинные, цельные твердосплавные, с прямыми и винтовыми канавками по ГОСТ 16086-70 (технические требования по ГОСТ 16088-70):

1.2.1. Канавки прямые:  $d = 1...10$  мм; винтовые  $d = 3...10$  мм;  $l = 12...20$  мм;  $L = 60...100$  мм;  $z = 4$  и  $6$ ;  $\omega = 10^\circ$  (по ГОСТ 16087-70 характеристика та же, что и по ГОСТ 16086-70);

1.2.2.  $d = 6,5...12$  мм;  $l = 18...22$  мм;  $L = 120...150$  мм;  $\omega = 10^\circ$ ;

Развертки машинные, оснащенные ТСП, с прямыми канавками (исполнение 1), с левыми канавками (исполнение 3) и с правыми канавками (исполнение 4), направлением канавки по ГОСТ 28321-89 (технические требования по ГОСТ 5735-81):

2.2.2.  $d = 10...32$  мм;  $l = 16...22$  мм;  $L = 140...240$  мм;  $z = 4$  и  $6$ ;  $\omega = 10^\circ$ ;

2.2.3.  $d = 32...50$  мм;  $l = 36...45$  мм;  $L = 45...56$  мм;  $z = 6...10$ ;  $\omega = 10^\circ$ ;

Развертки машинные, насадные, с ножами, оснащенными ТСП, канавки прямые по ГОСТ 21527-76 (технические требования по ГОСТ 5735-81):

3.2.3.  $d = 50...80$  мм;  $l = 58...68$  мм.

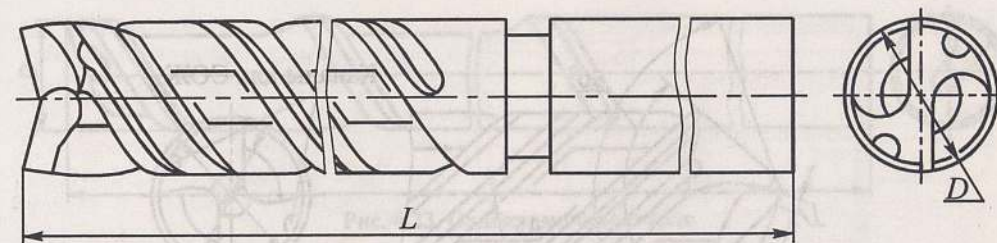


Рис. 4.18. Сверло для обработки высокопрочных материалов

#### 4.3. Специальные конструкции осевых инструментов

Основными направлениями развития специальных конструкций осевых инструментов являются увеличение динамических характеристик инструментов (жесткости, прочности, виброустойчивости); изыскание оптимальных марок инструментальных материалов, улучшение микро- и макроструктуры и термообработки, изыскание экономичных конструкций, увеличение точности выполнения геометрических параметров режущих частей сверл и уменьшения шероховатости их обработки.

**Сверла для обработки высокопрочных материалов** (рис. 4.18) спиральные быстрорежущие с цилиндрическим и коническим хвостовиком с углом спирали  $45^\circ$ . Диаметр сердцевины составляет  $0,4...0,5$  наружного диаметра  $D$ . На спинке пера имеются каналы для подвода технологической жидкости в зону обработки. Угол обратного конуса ( $2\phi$ ) режущей части инструмента выбирают исходя

из требуемой формы дна отверстия, а также из условия надежного врезания инструмента в начальный момент касания заготовки конической формы. Диаметр сверл  $4...12$  мм.

**Сверла повышенной производительности** (рис. 4.19) имеют три режущие кромки, одна из которых проходит через центр вращения, а две другие не доходят до центра вращения. Сверла спиральные быстрорежущие с цилиндрическим или коническим хвостовиком. Угол обратного конуса составляет  $120...150^\circ$ . Диаметр сверл  $6...18$  мм.

**Сверла для труднообрабатываемых материалов** (рис. 4.20) спиральные (угол спирали  $45^\circ$ ) быстрорежущие с цилиндрическим и коническим хвостовиком. На спинке пера имеется канал для подвода охлаждающей жидкости. Диаметр сердцевины  $d$  составляет  $0,4...0,55$  наружного диаметра сверла  $D$ . Режущая часть выполнена с двойной заточкой  $90$  и  $140^\circ$ , угол  $90^\circ$  выполняется на длине  $l$ , равной  $1/5$  длины режущей кромки. Передняя поверхность имеет радиусную подточку.

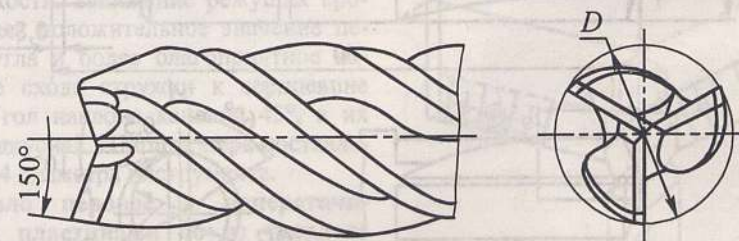


Рис. 4.19. Сверло повышенной производительности

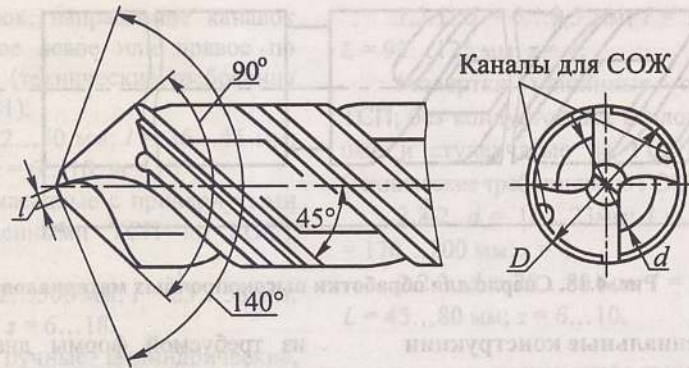


Рис. 4.20. Сверло для обработки труднообрабатываемых материалов

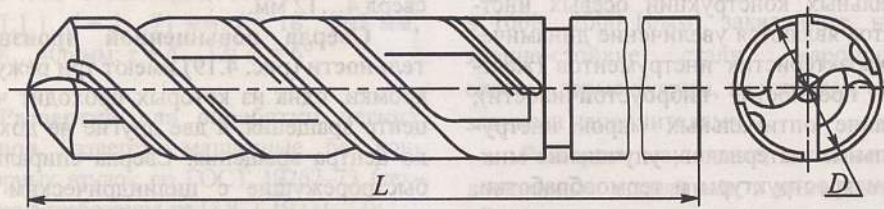


Рис. 4.21. Сверло повышенной прочности

Сверла повышенной прочности (рис. 4.21) спиральные быстрорежущие с коническим и цилиндрическим хвостовиком, имеют четыре ленточки и канал для охлаждающей жидкости. Режущая часть имеет двойную заточку по задней поверх-

ности и подточку передней поверхности. Угол спирали 45°.

Сверла бесканавочные твердосплавные (рис. 4.22) с коническим и цилиндрическим хвостовиком. Сверла изготавливают диаметром 6...18 мм и они

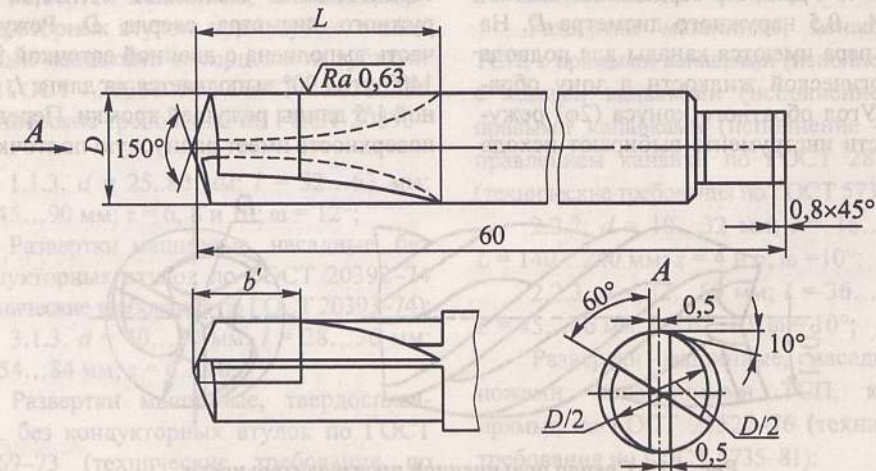


Рис. 4.22. Сверло твердосплавное бесканавочное

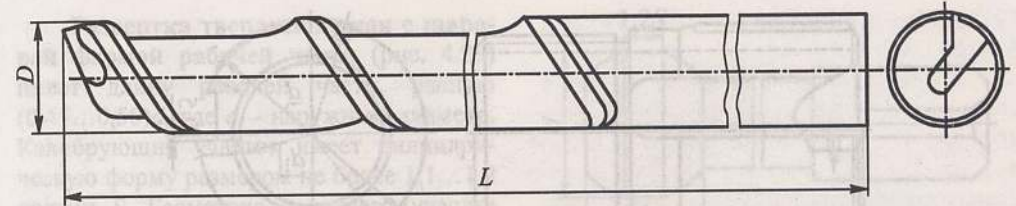


Рис. 4.23. Однокромочное сверло

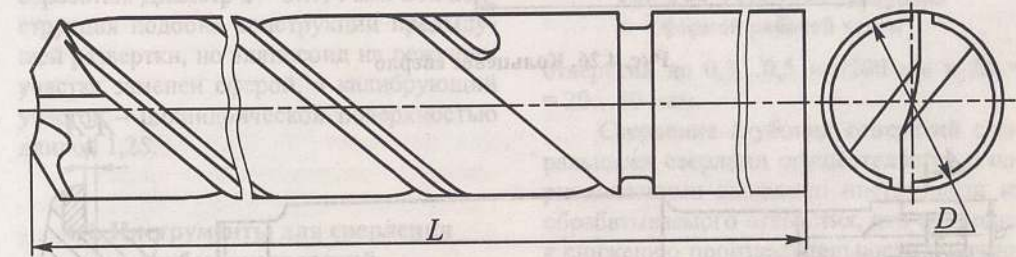


Рис. 4.24. Сверло для обработки легких сплавов

имеют прямую канавку на длине  $L = (2,5...3,0)D$ , предназначенную для схода стружки.

Однокромочные сверла фирмы WEMAR (рис. 4.23) спиральные быстрорежущие с цилиндрическим хвостовиком. Предназначены для сверления отверстий диаметром 3...12 мм в алюминиевых материалах. Наличие только одного пера значительно увеличивает пространство для размещения стружки.

Сверла для обработки легких сплавов (рис. 4.24) спиральные, быстрорежущие. Рабочая часть сверла условно разделена на две части – режущую и транспортирующую, а главные режущие кромки расположены ниже диаметральной плоскости. Занижение режущих кромок создает положительное значение переднего угла и более благоприятное направление схода стружки к сердцевине сверла. Угол наклона канавок 45°, а их форма радиусная. Ширина пера составляет 0,2...0,4 диаметра инструмента.

Сверло перовое с неперетачиваемыми пластинами по из твердого сплава (рис. 4.25) применяется для обработки отверстий диаметром 35...125 мм в труднообрабатываемых материалах.

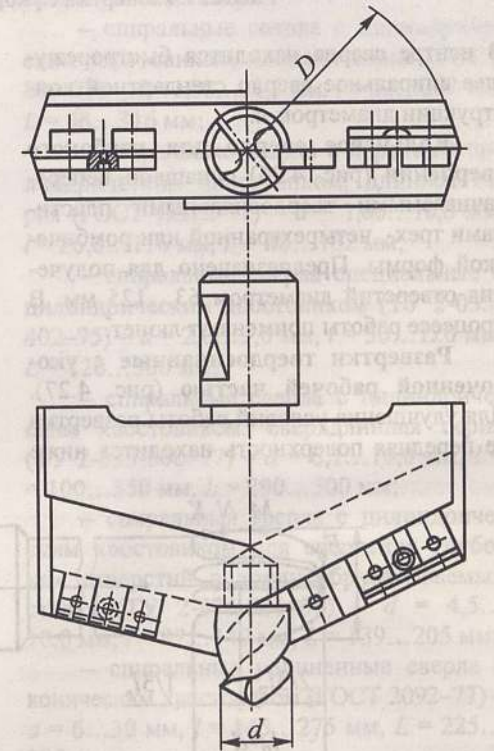


Рис. 4.25. Сверло перовое с неперетачиваемыми пластинами

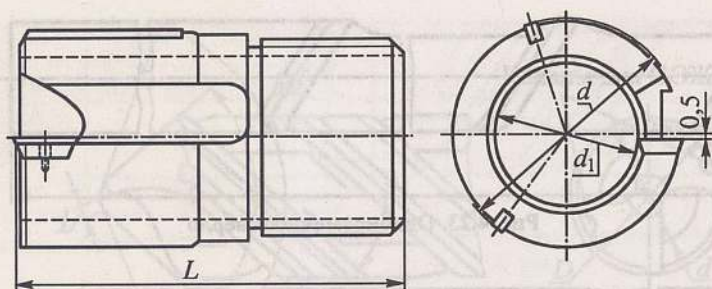


Рис. 4.26. Кольцевое сверло

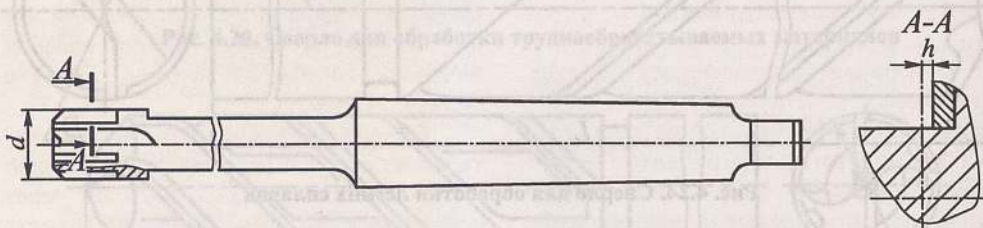


Рис. 4.27. Развертка с укороченной рабочей частью

В центре сверла находится быстрорежущее спиральное сверло стандартной конструкции диаметром  $d$ .

Кольцевое сверло для глубокого сверления (рис. 4.26) оснащено непереключаемыми твердосплавными пластинами трех-, четырехгранной или ромбической формы. Предназначено для получения отверстий диаметром 63...125 мм. В процессе работы применяют люнет.

Развертки твердосплавные с укороченной рабочей частью (рис. 4.27). Для улучшения условий работы развертки ее передняя поверхность находится ниже

диаметральной плоскости на величину  $h$ . Диаметр разверток  $d = 6...12$  мм. Развертка работает без «плавающих» устройств, так как соединительная шейка имеет длину более 10 диаметров.

Развертка твердосплавная с эллипсоидной формой рабочей части (рис. 4.28) состоит из трех участков:  $FM$  – режущий участок (эллипсоид),  $MN$  – калибрующий участок с большим радиусом кривизны, чем на режущем участке,  $NK$  – участок с обратной конусностью. Инструмент работает без плавающих устройств, диаметр  $d = 6...16$  мм.

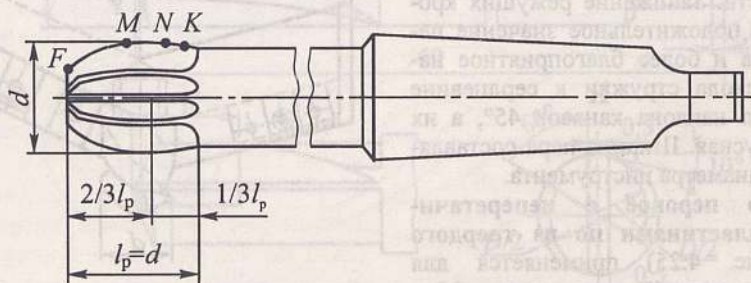


Рис. 4.28. Развертка с эллипсоидной формой рабочей части

Развертка твердосплавная с шаровой формой рабочей части (рис. 4.29) имеет длину рабочей части, равную  $(0,45...0,50)d$ , где  $d$  – наружный диаметр. Калибрующий участок имеет цилиндрическую форму размером не более  $1,1...1,2$  подачи  $S$ . Геометрия режущего участка зуба развертки определяется из условий обработки. Диаметр  $d = 6...14$  мм. Эта конструкция подобна конструкции предыдущей развертки, но эллипсоид на режущем участке заменен сферой, а калибрующий участок – цилиндрической поверхностью длиной  $1,2S$ .

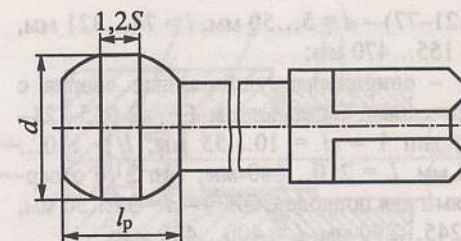


Рис. 4.29. Развертка с шаровой формой рабочей части

отверстий до  $0,3...0,5$  мм/100 мм и  $Rz = 20...80$  мкм.

Сверление глубоких отверстий спиральными сверлами осуществляется с периодическими выводами инструмента из обрабатываемого отверстия, что приводит к снижению производительности и точности обработки.

В нашей стране для сверления глубоких отверстий выпускают следующие типы спиральных сверл:

- спиральные сверла с цилиндрическим хвостовиком, длинная серия (ГОСТ 886–77) –  $d = 1,00...31,5$  мм,  $l = 33...207$  мм,  $L = 56...316$  мм;

- спиральные сверла с коротким цилиндрическим хвостовиком, длинная серия (ГОСТ 12122–77) –  $d = 1,00...10,6$  мм,  $l = 26,0...116$  мм,  $L = 48...162$  мм;

- спиральные сверла специальные с цилиндрическим хвостовиком (ТУ 2-035-402–75) –  $d = 2,0...9,0$  мм,  $l = 50...120$  мм,  $L = 120...300$  мм;

- спиральные сверла с цилиндрическим хвостовиком, сверхдлинная серия (ТУ 2-035-600–77) –  $d = 6,1...10,0$  мм,  $l = 100...350$  мм,  $L = 290...500$  мм;

- спиральные сверла с цилиндрическим хвостовиком для сверления глубоких отверстий в труднообрабатываемых сталях (ТУ 2-035-731–80) –  $d = 4,5...10,0$  мм,  $l = 87...140$  мм,  $L = 139...205$  мм;

- спиральные удлиненные сверла с коническим хвостовиком (ГОСТ 2092–77) –  $d = 6...30$  мм,  $l = 145...275$  мм,  $L = 225...395$  мм;

- спиральные сверла с коническим хвостовиком, длинная серия (ГОСТ

#### 4.4. Инструменты для сверления глубоких отверстий

Если к глубоким отверстиям (глубиной более  $5D$ , где  $D$  – диаметр отверстия) не предъявляются высокие требования по точности и шероховатости, то для их обработки обычно применяют перовые, спиральные и шнековые сверла [27]. Наиболее рационально использовать эти инструменты в единичном, мелко- и средне-серийном производствах.

Перовые сверла с внутренним подводом СОЖ применяют для сверления отверстий диаметром 25...130 мм и более, глубиной более  $10D$  с точностью диаметральных размеров IT12, уводом осей отверстий до  $0,5$  мм/100 мм и  $Rz = 40...80$  мкм.

Перовое сверло состоит из оправки с внутренним каналом для подвода СОЖ в зону резания и сменной режущей пластиной, изготовленной из твердого сплава или быстрорежущей стали. В качестве сменных режущих пластин можно использовать пластины из быстрорежущей стали марок P6M5 или P6M5K5, выпускаемые в нашей стране по ГОСТ 25526–82.

Спиральные сверла из быстрорежущей стали применяют для сверления отверстий диаметром 1...55 мм и глубиной  $(20...30)D$ , с точностью диаметральных размеров IT12...IT14, уводом осей

12121-77) –  $d = 5...50$  мм,  $l = 74...321$  мм,  $L = 155...470$  мм;

– спиральные удлиненные сверла с коническим хвостовиком (ТУ 2-035-721-80), тип 1 –  $d = 10...55$  мм,  $l = 130...415$  мм,  $L = 210...600$  мм, тип 2 (с отверстиями для подвода СОЖ\*) –  $d = 32...50$  мм,  $l = 245...290$  мм,  $L = 400...450$  мм;

– спиральные сверла с коническим хвостовиком и с отверстиями для подвода СОЖ\* (ТУ 2-035-447-76) –  $d = 18...35$  мм,  $l = 150...190$  мм,  $L = 258...350$  мм.

**Шнековые сверла** применяют для сверления в чугуне и других хрупких металлах отверстий диаметром  $5...14$  мм и глубиной  $(30...40)D$ , с точностью диаметральных размеров IT12, уводом осей отверстий более  $0,5$  мм/100 мм и  $Rz = 80$  мкм.

Шнековые сверла имеют повышенную жесткость за счет увеличенного диаметра сердцевины. Специальный профиль и большой угол наклона винтовых канавок ( $55...60^\circ$ ) обеспечивают лучший, чем у спиральных сверл отвод стружки.

В нашей стране шнековые сверла диаметром  $5...14$  мм выпускают по ТУ 2-035-425-75.

Наиболее эффективно обработка глубоких отверстий осуществляется на специальных и модернизированных станках инструментами одностороннего резания (с определенностью базирования), к которым относятся сверла ружейные, с внутренним отводом стружки – типа БТА\*\*, эжекторные и др.

В этих инструментах предусмотрено такое расположение лезвий, когда заведомо создается неуравновешенная радиальная составляющая силы резания, прижимающая корпус инструмента через на-

правляющие пластины к поверхности отверстия, обработанного впереди идущими лезвиями. Способ базирования инструмента с опорой на обработанную поверхность повышает поперечную устойчивость инструмента и, как следствие, позволяет свести к минимуму увод оси отверстия, повысить точность их диаметральных размеров и формы, а за счет выравнивающего действия направляющих уменьшить шероховатость поверхности отверстий [16, 17].

Инструменты одностороннего резания оснащают твердосплавными режущими и направляющими пластинами. Процесс обработки отверстий осуществляется непрерывно, т.к. удаление стружки происходит с помощью СОЖ, подаваемой в зону резания под давлением. Благодаря этому производительность обработки по сравнению, например, со спиральными сверлами, увеличивается в  $2...3$  и более раз, точность диаметральных размеров составляет IT7–IT11, увод осей отверстий – не более  $0,05$  мм/100 мм, а параметр шероховатости – не более  $Ra = 2,5$  мкм.

Использование инструментов одностороннего резания часто позволяет исключить из технологического процесса операции зенкерования, развертывания или растачивания, а также сокращать трудоемкость последующих финишных операций. Наиболее целесообразно использовать эти инструменты в крупносерийном и массовом производствах.

**Ружейные сверла** применяют для сверления отверстий диаметром  $0,98...30$  мм и более, глубиной более  $100D$  с точностью диаметральных размеров IT7–IT9, уводом осей отверстий  $0,01...0,02$  мм/100 мм и  $Ra = 0,32...1,25$  мкм.

Ружейное сверло состоит из режущего твердосплавного наконечника (рабочей части) 1 и стального трубчатого стебля 2 с V-образной наружной канавкой (рис. 4.30, а). В процессе сверления СОЖ под давлением подается в зону резания через отверстия в стебле и наконечнике сверла.

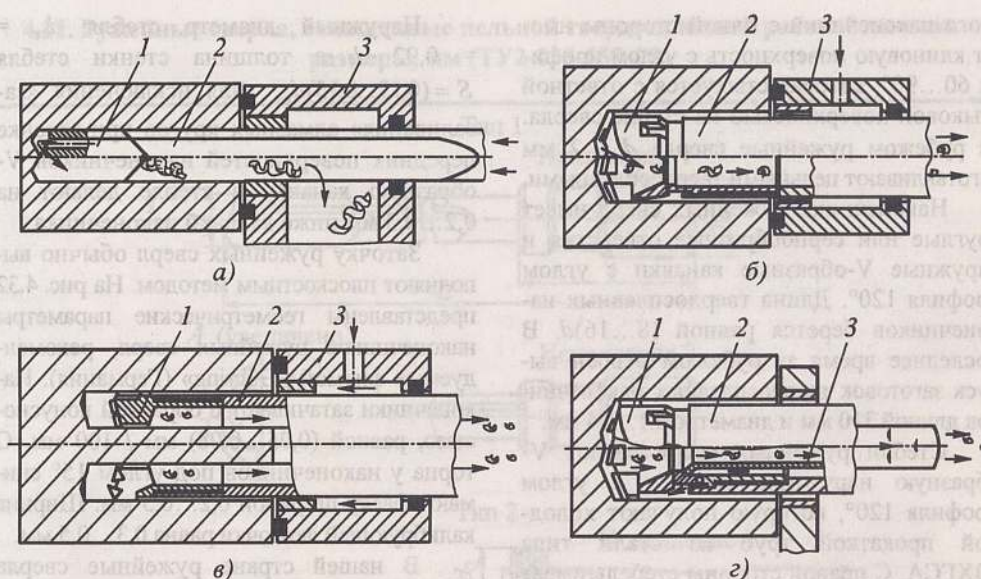


Рис. 4.30. Схемы обработки глубоких отверстий инструментами одностороннего резания: а – ружейное сверло; б – сверло типа БТА; в – кольцевое сверло типа БТА; г – эжекторное сверло

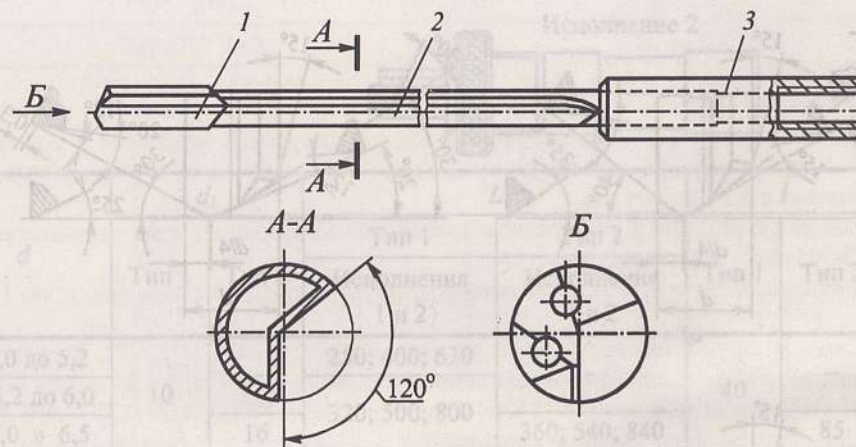


Рис. 4.31. Ружейное сверло: 1 – наконечник (рабочая часть); 2 – стебель; 3 – хвостовик

Стружка отводится по V-образной канавке в маслоприемник 3 и далее в стружкосборник.

Наконечники ружейных сверл бывают цельные твердосплавные и сборные из стали типа 30ХГСА (для  $d > 22$  мм), оснащенные напайными режущими и на-

правляющими твердосплавными пластинами (рис. 4.31). Иногда режущие и направляющие пластины припаивают непосредственно на стебель сверла.

Соединение со стеблем твердосплавных наконечников осуществляют пайкой, а сборных наконечников – сваркой. Для

\* Сверление глубоких отверстий спиральными сверлами с отверстиями для подвода СОЖ осуществляется без периодических выводов инструмента из обрабатываемого отверстия.

\*\* За рубежом инструменты для обработки глубоких отверстий с внутренним отводом стружки называют «инструменты БТА» – от названия международной организации «Boring and Trepanning Association» (BTA).

этого наконечники с одной стороны имеют клиновую поверхность с углом профиля 60...90°, которая стыкуется с ответной стыковой поверхностью на стебле сверла. За рубежом ружейные сверла  $d \leq 2$  мм изготавливают цельными твердосплавными.

Наконечники ружейных сверл имеет круглые или серпообразные отверстия и наружные V-образные канавки с углом профиля 120°. Длина твердосплавных наконечников берется равной (8...16) $d$ . В последнее время за рубежом освоен выпуск заготовок твердосплавных наконечников длиной 310 мм и диаметром 1...14 мм.

Стебли ружейных сверл имеют V-образную наружную канавку с углом профиля 120°, которую получают холодной прокаткой труб из стали типа 30ХГСА. С правой стороны стебель имеет непрофилированный цилиндрический конец, который вплавляется в цилиндрический хвостовик сверла.

Наружный диаметр стебля  $d_{ст} = 0,92 d$ , а толщина стенки стебля  $S = (0,12...0,15)d_{ст}$ . Для исключения «засаливания» алмазных кругов при заточке передних поверхностей наконечников V-образную канавку в стебле делают на 0,2...0,3 мм ниже канавки наконечника.

Заточку ружейных сверл обычно выполняют плоскостным методом. На рис. 4.32 представлены геометрические параметры наконечников ружейных сверл, рекомендуемые фирмой «Gühring» (Германия). Наконечники затачивают с обратной конусностью, равной (0,05...0,08) мм / 100 мм. С торца у наконечников под углом 15° снимают фаску шириной 0,2...0,5 мм. Ширина калибрующей ленточки равна 0,3...0,5 мм.

В нашей стране ружейные сверла диаметром 4...30 мм выпускают по ТУ 2-035-655-79 (табл. 4.11) и ТУ 2-035-722-80 (табл. 4.12).

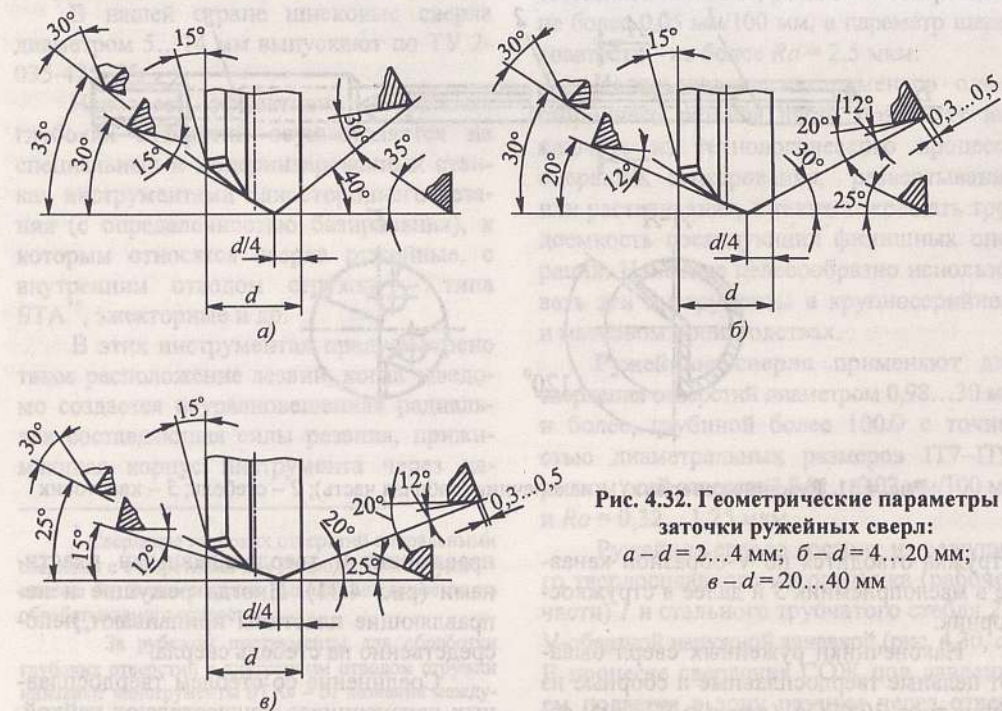
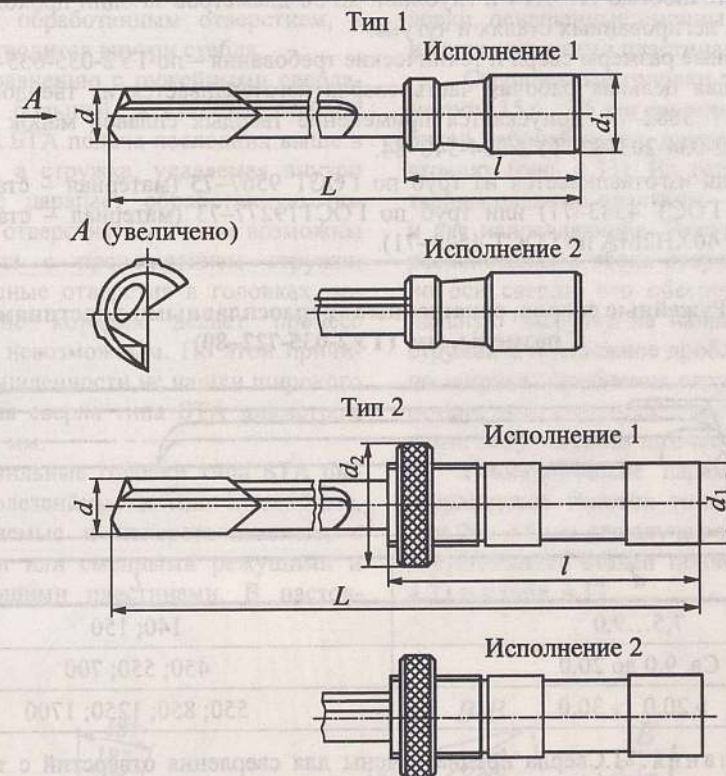


Рис. 4.32. Геометрические параметры заточки ружейных сверл:  
а —  $d = 2...4$  мм; б —  $d = 4...20$  мм;  
в —  $d = 20...40$  мм

#### 4.11. Ружейные сверла, оснащенные цельной твердосплавной рабочей частью, размеры, мм (ТУ2-035-655-79)



d	d <sub>1</sub>		L		l		d <sub>2</sub>
	Тип 1	Тип 2	Тип 1	Тип 2	Тип 1	Тип 2	
			Исполнения 1 и 2	Исполнения 1 и 2			
От 4,0 до 5,2	10	—	250; 400; 630	—	40	—	—
Св. 5,2 до 6,0			320; 500; 800				
» 6,0 » 6,5	10	16	400; 630; 1000	440; 670; 1040	40	85	36
» 6,5 » 8,3			500; 800; 1250	540; 840; 1290			
» 8,3 » 9,5	16	20	500; 800; 1250	560; 860; 1310	50	115	40
» 9,5 » 11,0				580; 1060; 1660			
» 11,0 » 13,5	25	26	500; 1000; 1600	580; 1060; 1660	70	115	45
» 13,5 » 15,3			630; 1250; 2000	680; 1300; 2050			
» 15,3 » 16,5	25	26	630; 1250; 2000	680; 1300; 2050	70	115	45
» 16,5 » 17,3							
» 17,3 » 20,3	25	26	630; 1250; 2000	680; 1300; 2050	70	115	45

Продолжение табл. 4.11

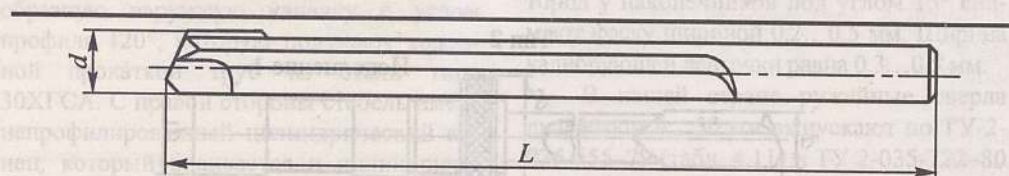
Примечания: 1. Сверла диаметром 4,0...20,3 мм предназначены для сверления отверстий с точностью Н7–Н14 и глубиной до 50 диаметров за один проход в конструкционных, легированных сталях и чугунах.

2. Основные размеры сверл и технические требования – по ТУ2-035-655-79.

3. Режущая цельная рабочая часть сверла изготавливается из твердого сплава ВК6-М ГОСТ 3882-74, допускается применение твердых сплавов марок ВК6-ОМ, ВК8 – по ТУ2-034-203-83, ТУ2-034-340-84.

4. Стебель изготавливается из труб по ГОСТ 9567-75 (материал – сталь марки 30ХГСА по ГОСТ 4543-71) или труб по ГОСТ 19277-73 (материал – сталь марки 30ХГСА или 40ХН2МА по ГОСТ 4543-71).

#### 4.12. Ружейные сверла, оснащенные твердосплавными пластинами, размеры, мм (ТУ2-035-722-80)



$d$	$L$
7,5...9,0	140; 150
Св. 9,0 до 20,0	450; 550; 700
» 20,0 » 30,0	550; 850; 1250; 1700

Примечания: 1. Сверла предназначены для сверления отверстий с точностью Н8–Н14 и глубиной до 50 диаметров за один проход в деталях из конструкционных и легированных сталей и чугунов.

2. Основные размеры и технические требования на сверла должны соответствовать ТУ2-035-722-80.

3. Материал режущей и направляющей пластин – твердый сплав марок по ГОСТ 3882-74.

4. Стебель сверла изготавливается из спецпрофиля по ТУ3-752-77. Допускается изготовление стебля из стали горячекатаной круглой по ГОСТ 2590-88 марки 40Х по ГОСТ 4543-71 или из трубы по ГОСТ 8734-75 из стали марки 30ХГСА по ГОСТ 5950-2000.

5. При изготовлении сверл с хвостовиком – хвостовик изготавливается из стали 40Х по ГОСТ 4543-71.

Сверла типа БТА применяют для сверления отверстий диаметром 15,6...184 мм, глубиной более 100D с точностью диаметральных размеров IT7–IT9, уводом осей отверстий до 0,01...0,03 мм / 100 мм и  $Ra = 2,5$  мкм.

Сверло типа БТА состоит из свер-

лильной головки 1 и стебля 2 кольцевого сечения, к которому головка крепится с помощью прямоугольной четырехзаходной резьбы (см. рис. 4.30, б). Центрирование головки в стебле осуществляется по двум посадочным поясам, выполненным в стебле и на хвостовике сверлильной го-

ловки. При сверлении СОЖ в зону резания подается под давлением через маслоприемник 3 в кольцевой зазор между стеблем и обработанным отверстием, а стружка отводится внутри стебля.

По сравнению с ружейными сверлами из-за большей жесткости стеблей сверл типа БТА подача последних выше в 2...4 раза, а стружка, удаляемая внутри стебля, не царапает обработанную поверхность отверстия. При этом возможны затруднения с прохождением стружки через входные отверстия в головках, закупоривание которых делает процесс сверления невозможным. По этой причине в промышленности не нашли широкого применения сверла типа БТА диаметром менее 15,6 мм.

Сверлильные головки типа БТА бывают однолезвийные и многолезвийные, перетачиваемые и неперетачиваемые, с напайными или сменными режущими и направляющими пластинами. В настоя-

щее время из-за сложности заточки в основном применяют неперетачиваемые напайные многолезвийные головки и головки, оснащенные сменными режущими и направляющими пластинами.

Сверлильные головки типа БТА диаметром 15,6...65 мм сварные и состоят из литой рабочей части, приваренной к хвостовику (рис. 4.33). На головку напаяны твердосплавные пластины – три режущие и две направляющие. Режущие пластины расположены с обеих сторон относительно оси сверла, что обеспечивает рациональную нагрузку на направляющие инструмента и надежное дробление стружки по ширине. Дробление стружки по длине осуществляется стружкодробящими уступами, получаемыми заточкой.

Геометрические параметры заточки сверлильных головок типа БТА диаметром 20...65 мм для случая обработки конструкционных сталей приведены на рис. 4.33 и в табл. 4.13.

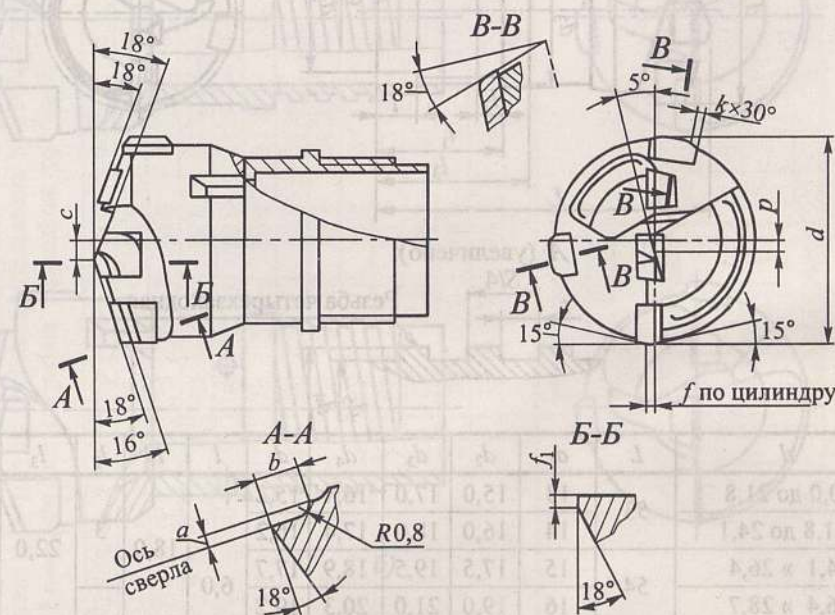


Рис. 4.33. Геометрические параметры сверлильных головок типа БТА

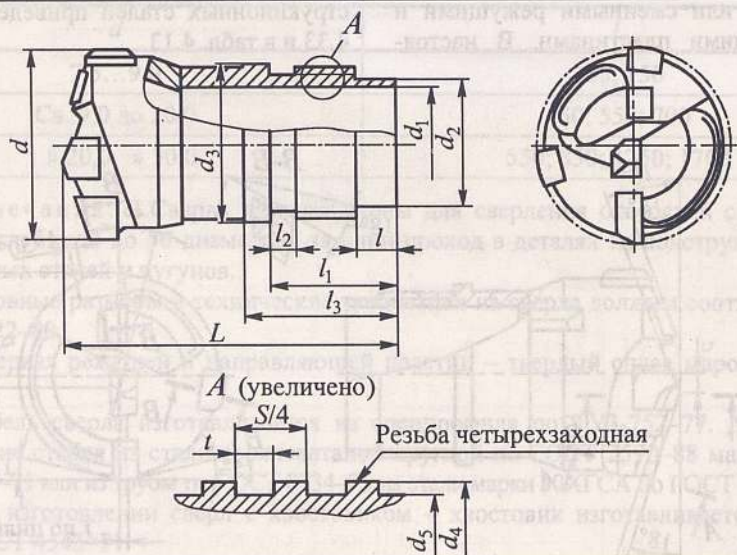
## 4.13. Основные параметры заточки сверлильных головок типа БТА, мм

Диаметр сверла, $d$	Размеры						
	$a$	$b$	$c$	$f$	$f_1$	$p$	$k$
От 20,00 до 24,1	0,4	1,5	3,0	0,5	0,6	1,5	0,5
Св. 24,1 до 28,1		1,6	3,5	0,6			
» 28,1 » 31,0		1,7	4,0		0,7	2,0	
» 31,0 » 39,6	0,5	1,8	5,0	0,8	0,8	2,5	1,0
» 39,6 » 65,0		2,0	5,0				

Номинальный диаметр головок, шлифуемых с допуском  $h6$ , назначают равным сумме номинального диаметра обрабатываемого отверстия и  $2/3$  поля допуска на него, считая от нижней границы.

В нашей стране сверлильные головки типа БТА диаметром 20...60,2 мм и стембли к ним выпускают по ТУ 2-035-859-81 (табл.4.14 и 4.15).

## 4.14. Сверлильные головки типа БТА, размеры, мм (ТУ2-035-859-81)



$d$	$L$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$l$	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$S$	$t$
От 20,0 до 21,8	53	13	15,0	17,0	16,4	15,2	6,0	18,0	3	22,0	12	1,8
Св. 21,8 до 24,1		14	16,0	18,0	17,4	16,2						
» 24,1 » 26,4	54	15	17,5	19,5	18,9	17,7						
» 26,4 » 28,7		16	19,0	21,0	20,3	19,2						
» 28,7 » 31,0	59	18	21,0	23,5	22,8	21,2		21,5	4	25,0	16	2,3
» 31,0 » 33,3		20	23,0	25,5	24,8	23,2						

Продолжение табл. 4.14

$d$	$L$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$l$	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$S$	$t$
Св. 33,3 до 36,2	59	22	25,5	28,0	27,3	25,7	6,0	21,5	4	25,0	16	2,3
» 36,2 » 39,6	69	24	27,0	30,0	29,3	27,3	7,0	26,0	5	30,5	20	2,8
» 39,6 » 43,0		26	30,0	33,0	32,3	30,3						
» 43,0 » 47,0		29	33,0	36,0	35,3	33,3						
» 47,0 » 51,7	76	32	36,0	39,6	38,3	36,3	7,5	30,5	6	34,5	24	3,3
» 51,7 » 56,2	79	35	39,5	43,0	42,3	39,8						
» 56,2 » 60,2	81	39	43,5	48,0	47,3	43,8						

Фирмы «Sandvik Coromant» (Швеция), «Botek» (Германия) и др. выпускают усовершенствованный вариант сверлильных головок типа БТА диаметром 15,6...65 мм (рис.4.34). Эти головки не требуют заточки, так как оснащены напайными твердосплавными пластинами, которые имеют необходимые размеры,

форму и стружкодробящие уступы, полученные в процессе прессования и спекания пластин.

Изготовление таких головок требует высокоточных отливок и режущих пластин, а при пайке пластин – обеспечения высокой точности их взаимного расположения.

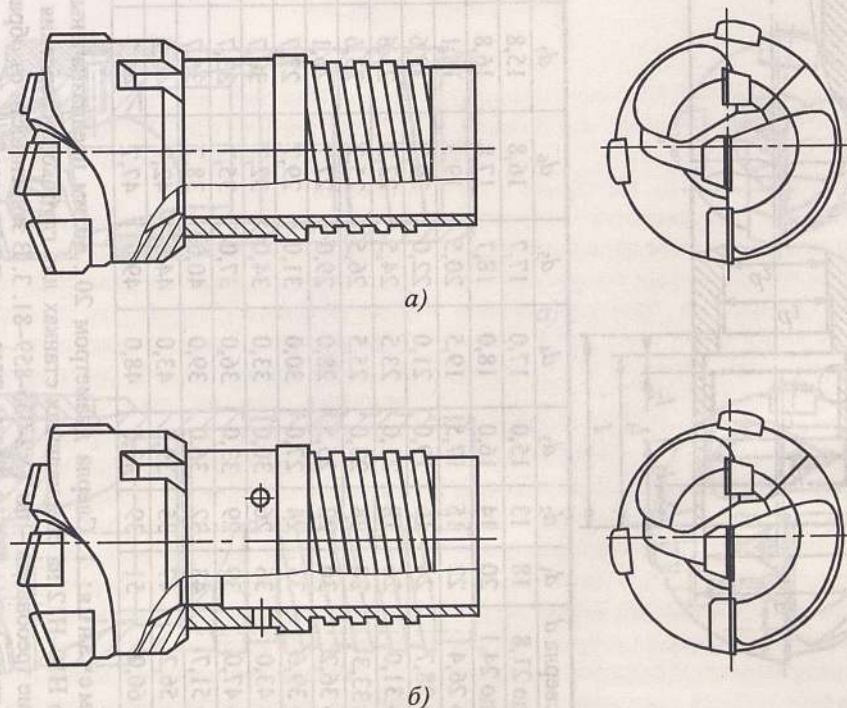
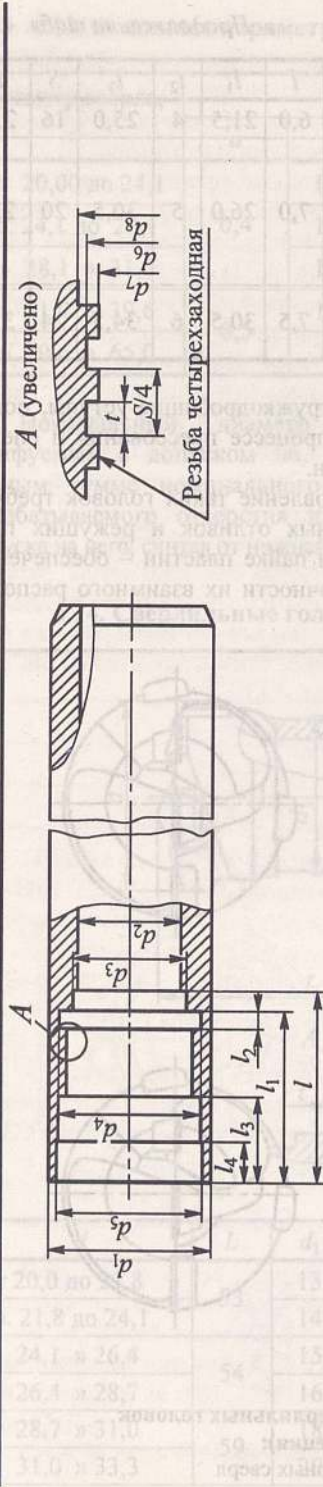


Рис. 4.34. Усовершенствованные варианты сверлильных головок фирмы «Sandvik Coromant» (Швеция): а – для сверл типа БТА; б – для эжекторных сверл

4.15. Стебли сверл типа БТА, размеры, мм (ТУ2-035-859-81)



Диаметр сверла $d$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$	$d_7$	$d_8$	$l$	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$S$	$t$
От 20,0 до 21,8	18	13	15,0	17,0	17,7	16,8	15,8	17,1	30	27		15,0		12	1,7
Св. 21,8 до 24,1	20	14	16,0	18,0	18,7	17,8	16,8	18,1	30		4		8,0		
» 24,1 » 26,4	22	15	17,5	19,5	20,5	19,3	18,1	19,6							
» 26,4 » 28,7	24	16	19,0	21,0	22,0	20,7	19,6	21,0							
» 28,7 » 31,0	26	18	21,0	23,5	24,5	23,2	21,6	23,5							
» 31,0 » 33,3	28	20	23,0	25,5	26,5	25,2	23,6	25,5	33	30		16,0		16	2,2
» 33,3 » 36,2	30	22	25,5	28,0	29,0	27,7	26,1	28,0							
» 36,2 » 39,6	33	24	27,0	30,0	31,0	29,7	27,7	30,0							
» 39,6 » 43,0	36	26	30,0	33,0	34,0	32,7	30,7	33,0							
» 43,0 » 47,0	39	29	33,0	36,0	37,0	35,7	33,7	36,0	40	36	5	19,0		24	3,2
» 47,0 » 51,7	43	32	36,0	39,0	40,0	38,7	36,7	39,0							
» 51,7 » 56,2	47	35	39,5	43,0	44,0	42,7	40,2	43,0	44	40	6	19,5			
» 56,2 » 60,0	51	39	43,5	48,0	49,0	47,7	44,2	48,0							

Примечания: 1. Сверла диаметром 20...60 мм предназначены для сверления глубоких отверстий за один проход с точностью Н10–Н12 на специальных станках для глубокого сверления глубиной до 2000 мм и более. 2. Основные размеры и технические требования – по ТУ2-035-859-81. 3. В зависимости от обрабатываемого материала сверла оснащаются пластинами твердого сплава марок Т5К10, Т15К6, ВК8 – по ГОСТ 3882-74. 4. Обозначения – по ТУ2-035-859-81.

Стойкость усовершенствованных головок примерно в два раза выше стойкости рассмотренных выше головок [16]. Кроме того, такая технология позволила получить на центральной режущей пластине положительный передний угол и тем самым снизить нагрузку на пластину. Достигнуть этого заточкой из-за больших размеров алмазных кругов оказалось невозможным.

В остальном геометрические параметры и размеры головок типа БТА аналогичны рассмотренным выше головкам.

В последнее время все большее применение находят сборные сверлильные головки типа БТА. В корпусах этих головок с высокой точностью выполнены пазы, в которые установлены державки, оснащенные сменными режущими и направляющими твердосплавными пласти-

нами. Все режущие пластины обязательно имеют стружкодробящие уступы.

Сборные головки типа БТА диаметром  $d = 18...112$  мм выпускает, например, фирма «Botek» (Германия) (рис. 4.35).

В этих головках периферийные сменные режущие пластины, регулируемые в радиальном направлении, имеют калибрующие ленточки. В сверлильных головках больших диаметров центральные и промежуточные режущие пластины имеют треугольную форму и в державках установлены тангенциально.

В отличие от головок других производителей, головки фирмы «Botek» (Германия) оснащены как двумя, так и тремя жестко закрепленными двухсторонними цельнотвердосплавными направляющими пластинами.

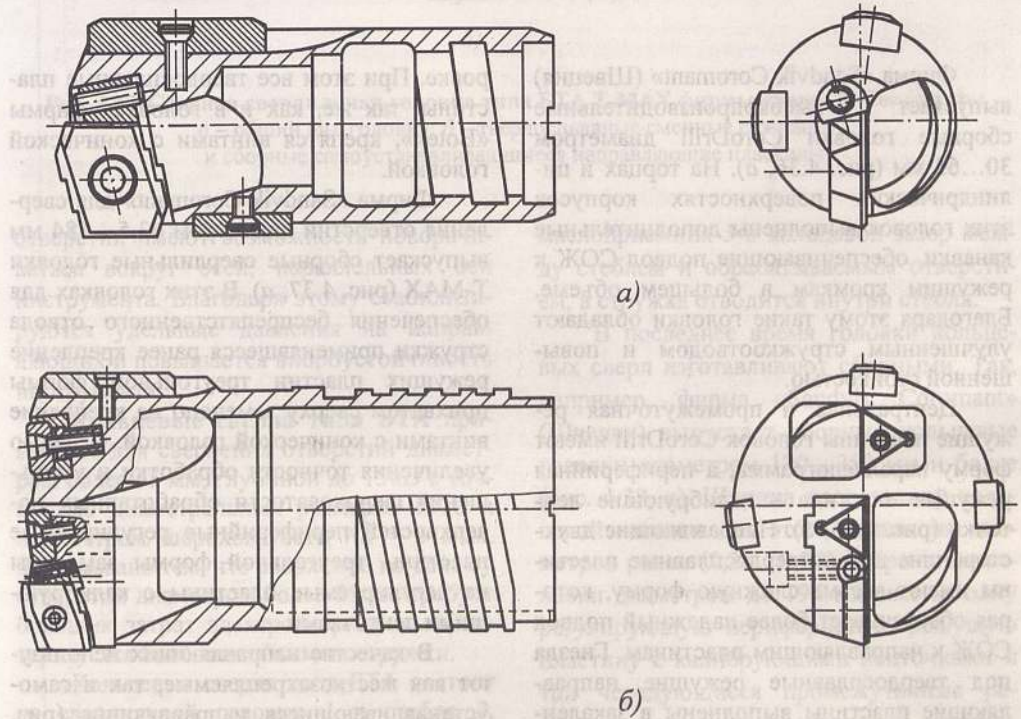


Рис. 4.35. Сборные сверлильные головки типа БТА фирмы «Botek» (Германия):

$a - d = 18...37$  мм;  $b - d = 80...112$  мм



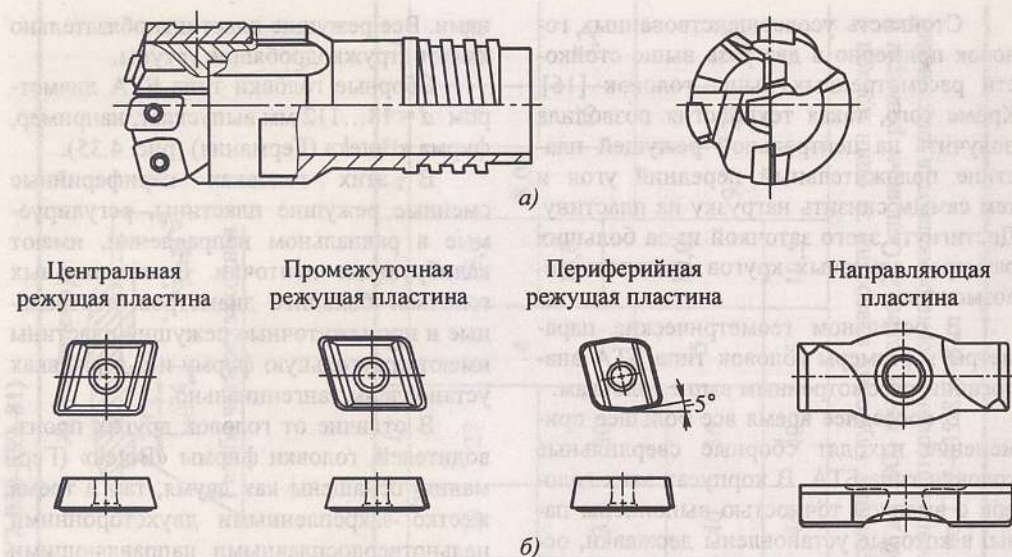


Рис. 4.36. Сборная сверлильная головка типа БТА CoroDrill фирмы «Sandvik Coromant» (Швеция): а – общий вид головки; б – твердосплавные сменные режущие и направляющие пластины

Фирма «Sandvik Coromant» (Швеция) выпускает высокопроизводительные сборные головки CoroDrill диаметром 30...65 мм (рис. 4.36, а). На торцах и цилиндрических поверхностях корпусов этих головок выполнены дополнительные канавки, обеспечивающие подвод СОЖ к режущим кромкам в большем объеме. Благодаря этому такие головки обладают улучшенным стружкоотводом и повышенной стойкостью.

Центральная и промежуточная режущие пластины головок CoroDrill имеют форму параллелограмма, а периферийная режущая пластина – калибрующие ленточки (рис. 4.36, б). Направляющие двухсторонние цельнотвердосплавные пластины имеют весьма сложную форму, которая обеспечивает более надежный подвод СОЖ к направляющим пластинам. Гнезда под твердосплавные режущие направляющие пластины выполнены в закаленных корпусах головок с высокой точностью и поэтому не нуждаются в регули-

ровке. При этом все твердосплавные пластины, так же, как и в головках фирмы «Botek», крепятся винтами с конической головкой.

Фирма «Sandvik Coromant» для сверления отверстий диаметром 63,5...184 мм выпускает сборные сверлильные головки T-MAX (рис. 4.37, а). В этих головках для обеспечения беспрепятственного отвода стружки применявшееся ранее крепление режущих пластин треугольной формы прихватом сверху заменено на крепление винтами с конической головкой. С целью увеличения точности обработки и уменьшения шероховатости обработанных поверхностей периферийные регулируемые пластины треугольной формы заменены на регулируемые пластины с калибрующими ленточками.

В качестве направляющих используют как жесткозакрепляемые, так и самоустанавливающиеся направляющие (рис. 4.37, б). Последние при поперечных перемещениях инструмента в обрабатываемом

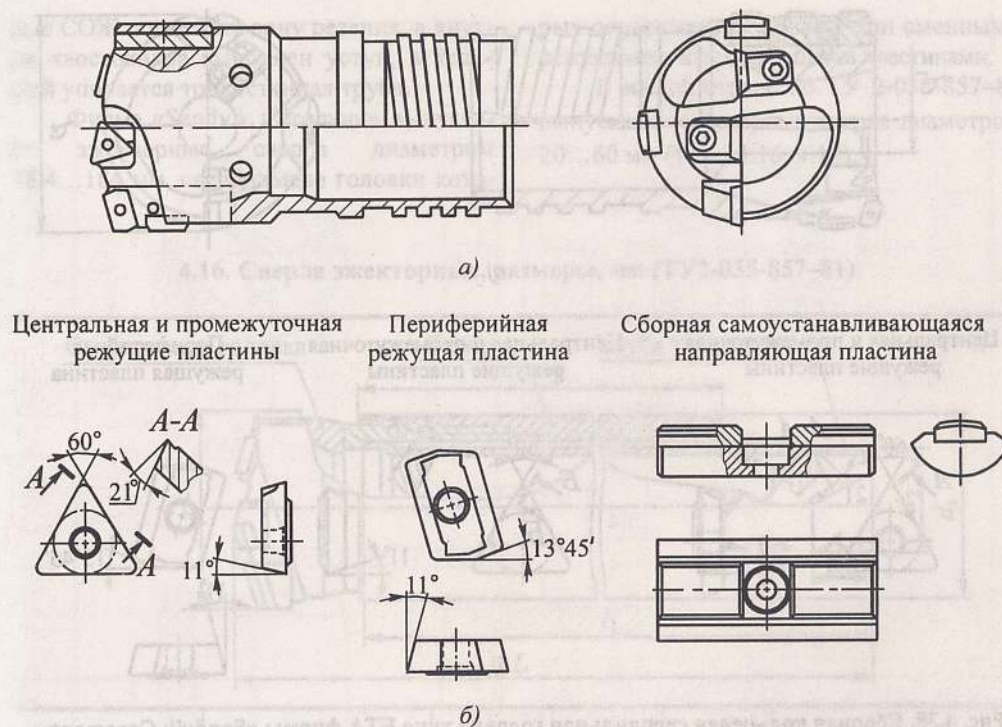


Рис. 4.37. Сборная сверлильная головка типа БТА T-MAX фирмы «Sandvik Coromant»: а – общий вид головки; б – твердосплавные сменные режущие и сборные самоустанавливающиеся направляющие пластины

отверстии имеют возможность поворачиваться вокруг осей, параллельных оси инструмента. Благодаря этому стабилизируются удельные давления на направляющих и повышается виброустойчивость инструмента.

Кольцевые сверла типа БТА применяют для сверления отверстий диаметром более 65 мм, глубиной до 150D с точностью диаметральных размеров IT10 и параметром шероховатости  $Ra = 3$  мкм. Это вызвано тем, что сверление по целому отверстию диаметром более 65 мм требует больших затрат электроэнергии и характеризуется большим объемом стружки.

Кольцевые сверла типа БТА состоят из сверлильной головки 1 и стебля 2, соединенных между собой резьбой (см. рис. 4.30, в). В процессе сверления СОЖ в зону резания подается под давлением через

маслоприемник 3 в кольцевой зазор между стеблем и обрабатываемым отверстием, а стружка отводится внутри стебля.

В последнее время головки кольцевых сверл изготавливают сборными. Так, например, фирма «Sandvik Coromant» (Швеция) выпускает сборные кольцевые головки диаметром 120...250 мм и более (рис. 4.38, а). Ширина прорезаемой кольцевой канавки для этого диапазона диаметров равна  $(0,36...0,22)d$ . При этом головки диаметром до 196 мм имеют одну регулируемую периферийную режущую пластину с калибрующими ленточками и три чередующиеся промежуточные режущие пластины треугольной формы, установленные с обеих сторон относительно оси головки (рис. 4.38, б).

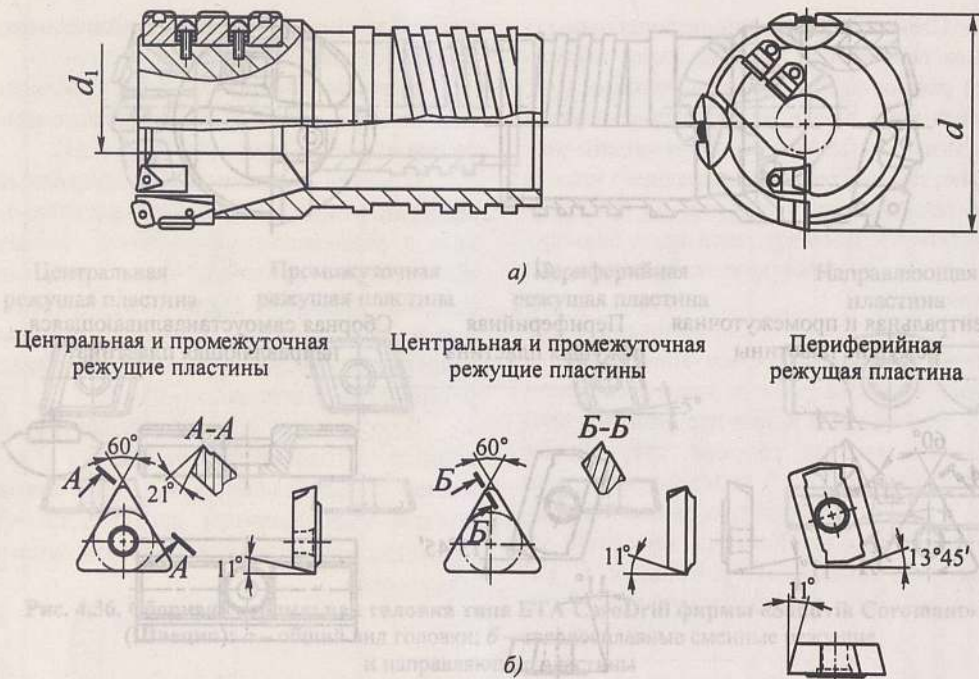


Рис. 4.38. Сборная кольцевая сверлильная головка типа БТА фирмы «Sandvik Coromant»: а – общий вид головки; б – твердосплавные сменные режущие пластины

Головки диаметром более 196 мм имеют одну периферийную и четыре промежуточные режущие пластины. Самоустанавливающиеся направляющие обеспечивают высокую виброустойчивость инструмента. К стержням головки диаметром менее 196 мм крепят с помощью прямоугольной четырехзаходной резьбы, а диаметром более 196 мм – винтами и шпонками.

Эжекторные сверла применяют для сверления отверстий диаметром 18...200 мм, глубиной до  $100D$  с точностью диаметральных размеров IT9, IT10 и параметром шероховатости  $Ra = 2...3$  мкм.

Эжекторное сверло состоит из сверлильной головки 1, стержня 2 и тонкостенной трубы 3 (см. рис. 4.30, з). В зону резания СОЖ подается по кольцевому зазору между стержнем и тонкостенной трубой. Одновременно часть потока проходит в обратном направлении через щелевые

сопла, выполненные на тонкостенной трубе, и создает в ней пониженное давление. Под действием атмосферного давления поток СОЖ (примерно 1/3 общего объема), омывающий головку, вместе со стружкой поступает в зону пониженного давления и далее в стружкосборник. В результате отпадает необходимость уплотнять зазор между торцом детали и кондукторной втулкой. Поэтому при эжекторном сверлении маслоприемник не требуется, что значительно упрощает наладку операции глубокого сверления.

Геометрические параметры головок эжекторных сверл практически такие же, как и головок БТА (см. рис. 4.33). Однако конструкции хвостовиков головок отличаются, что вызвано различием способов подвода СОЖ и отвода стружки: хвостовики головок эжекторных сверл имеют шесть радиальных отверстий, через кото-

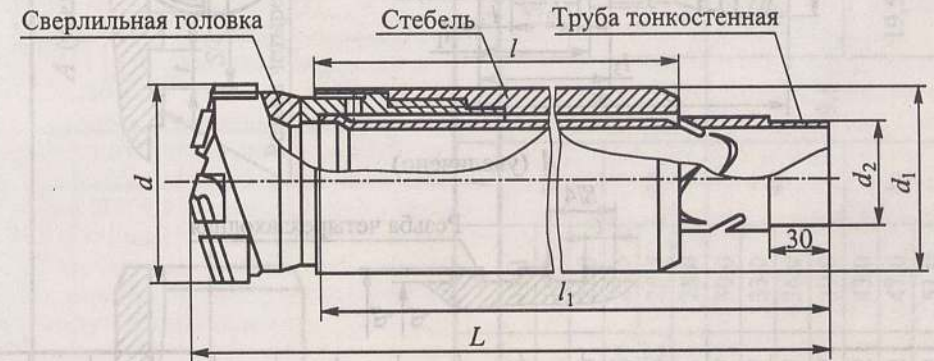
рые СОЖ подается в зону резания, а внутри хвостовиков выполнен уступ, в который упирается тонкостенная труба.

Фирма «Sandvik Coromant» выпускает эжекторные сверла диаметром 18,4...184 мм, сверлильные головки кото-

рых оснащены напайными или сменными режущими и направляющими пластинами.

В нашей стране по ТУ 2-035-857-81 выпускают эжекторные сверла диаметром 20...60 мм (табл. 4.16–4.19).

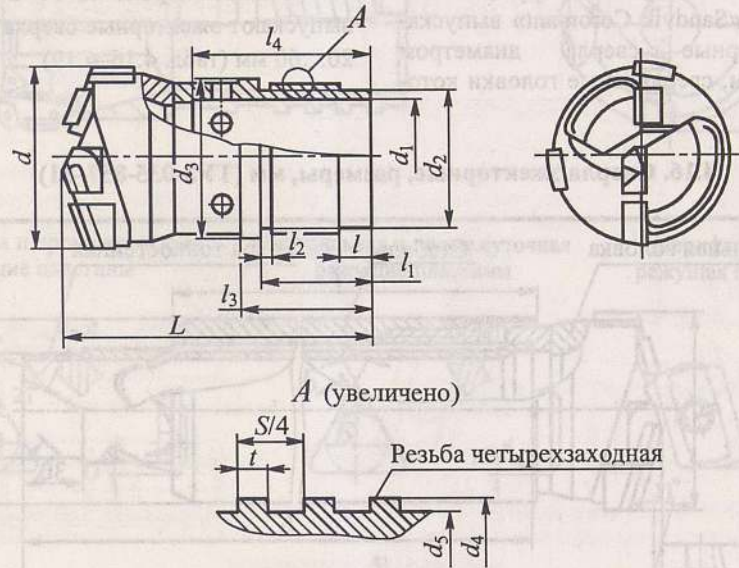
#### 4.16. Сверла эжекторные, размеры, мм (ТУ2-035-857-81)



d	L				d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	l				l <sub>1</sub>					
	Исполнение						Исполнение				Исполнение					
	1	2	3	4			1	2	3	4	1	2	3	4		
От 20,0 до 21,8	323	453	683	1123	19,5	11,8										
Св. 21,8 до 24,1					21,5	12,8										
» 24,1 » 26,4	324	454	684	1124	23,5	13,3										
» 26,4 » 28,7					26,0	15,8										
» 28,7 » 31,0	326	456	686	1126	28,0	17,8										
» 31,0 » 33,3					30,5	19,8										
» 33,3 » 36,2	329	459	689	1129	33,0	21,8	270	400	630	1070	300	430	660	1100		
» 36,2 » 39,6					35,5	23,8										
» 39,6 » 43,0	331	461	691	1131	39,0	26,8										
» 43,0 » 47,0					42,5	29,8										
» 47,0 » 51,7	334	464	694	1134	46,5	31,8										
» 51,7 » 56,2					51,0	35,8										
» 56,2 » 60,0	336	466	696	1136	55,5	39,8										

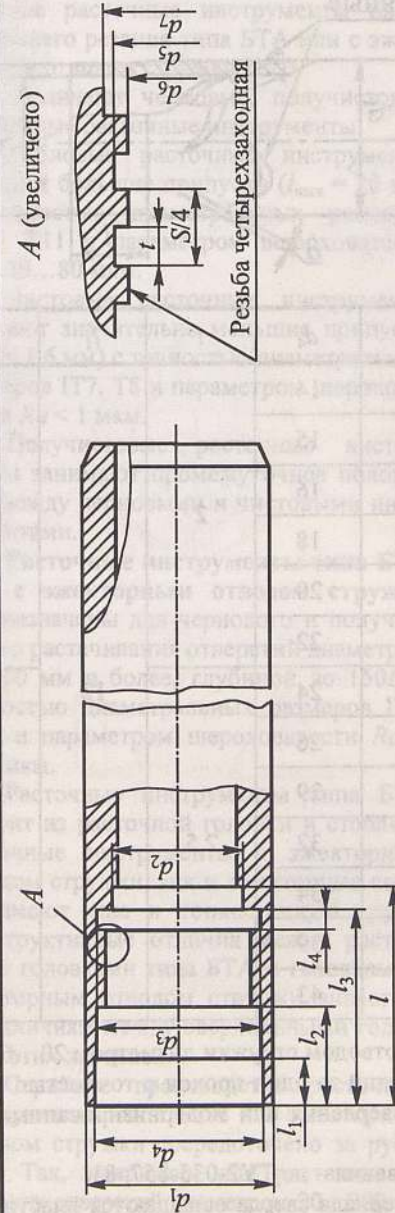
Примечание. Допускается изготавливать сверла с размерами  $L$ ,  $l$ ,  $l_1$ , отличающимися от указанных в таблице.

4.17. Сверлильные головки эжекторных сверл, размеры, мм (ТУ 2-035-857-81)



<i>d</i>	<i>L</i>	<i>d</i> <sub>1</sub>	<i>d</i> <sub>2</sub>	<i>d</i> <sub>3</sub>	<i>d</i> <sub>4</sub>	<i>d</i> <sub>5</sub>	<i>l</i>	<i>l</i> <sub>1</sub>	<i>l</i> <sub>2</sub>	<i>l</i> <sub>3</sub>	<i>l</i> <sub>4</sub>	<i>S</i>	<i>t</i>	
От 20,0 до 21,8	53	14	16,0	18,0	17,4	16,2	6,0	18,0	3	22,0	30	12	1,8	
Св. 21,8 до 24,1		15	17,5	19,5	18,9	17,7								
» 24,1 » 26,4	54	16	19,0	21,0	20,3	19,2								
» 26,4 » 28,7	57	18	21,0	23,5	22,8	21,2								
» 28,7 » 31,0	59	20	23,0	25,5	24,8	23,2		21,5	4	25,0	33	16	2,3	
» 31,0 » 33,3		22	25,5	28,0	27,8	25,7								
» 33,3 » 36,2	66	24	27,0	30,0	29,3	27,3								
» 36,2 » 39,6	69	26	30,0	33,0	32,3	30,3		7,0	26,0	5	30,5	40	20	2,8
» 39,6 » 43,0		29	33,0	36,0	35,3	33,3								
» 43,0 » 47,0	71	32	36,0	39,0	38,3	36,3								
» 47,0 » 51,7	75	35	39,5	43,0	42,3	39,8								
» 51,7 » 56,2	78	39	43,5	47,0	46,3	43,8	7,5		30,5	6	34,5	44	24	3,3
» 56,2 » 60,0	80	43	47,5	51,0	50,3	4,7								

4.18. Стебли эжекторных сверл, размеры, мм (ТУ 2-035-857-81)



Диаметр сверла <i>d</i>	<i>d</i> <sub>1</sub>	<i>d</i> <sub>2</sub>	<i>d</i> <sub>3</sub>	<i>d</i> <sub>4</sub>	<i>d</i> <sub>5</sub>	<i>d</i> <sub>6</sub>	<i>d</i> <sub>7</sub>	<i>l</i>	<i>l</i> <sub>1</sub>	<i>l</i> <sub>2</sub>	<i>l</i> <sub>3</sub>	<i>l</i> <sub>4</sub>	<i>S</i>	<i>t</i>
От 20,0 до 21,8	19,5	16,0	18,0	18,7	17,8	16,6	18,1	30	8	15	27	4	12	1,7
Св. 21,8 до 24,1	21,5	17,5	19,5	20,5	19,3	18,1	19,5							
» 24,1 » 26,4	23,5	19,0	21,0	22,0	20,6	19,6	21,0	33	16	16	30	5	16	2,2
» 26,4 » 28,7	26,0	21,0	23,5	24,5	23,2	21,6	23,5							
» 28,7 » 31,0	28,0	23,0	25,5	26,5	25,2	23,6	25,5	40	9,5	19	36	5	20	2,7
» 31,0 » 33,3	30,5	25,5	28,0	29,0	27,7	26,1	28,0							
» 33,3 » 36,2	33,0	27,0	30,0	31,0	29,7	27,7	30,0	44	19,5	19,5	40	6	24	3,7
» 36,2 » 39,6	35,5	30,0	33,0	34,0	32,7	30,7	33,0							
» 39,6 » 43,0	39,0	33,0	36,0	37,0	35,7	33,7	36,0	44	19,5	19,5	40	6	24	3,7
» 43,0 » 47,0	42,5	36,0	39,0	40,0	38,7	36,7	39,0							
» 47,0 » 51,7	46,5	39,5	43,0	44,0	42,7	40,2	43,0	44	19,5	19,5	40	6	24	3,7
» 51,7 » 56,2	51,0	43,5	47,0	48,0	46,7	44,2	47,0							
» 56,2 » 60,0	55,5	47,5	51,0	52,0	50,7	48,2	51,0							

#### 4.19. Тонкостенные трубы эжекторных сверл, размеры, мм (ТУ 2-035-857-81)



Диаметр сверла $d$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$l$	$l_1$	$a$
От 20,0 до 21,8	12	11	11,8	14	2		0,5
Св. 21,8 до 24,1	13	12	12,8	15			
» 24,1 » 26,4	14	13	13,8	16			
» 26,4 » 28,7	16	14	15,8	18			
» 28,7 » 31,0	18	16	17,8	20			
» 31,0 » 33,3	20	18	19,8	22			
» 33,3 » 36,2	22	20	21,8	24	2,5	12	0,4
» 36,2 » 39,6	24	22	23,8	26			
» 39,6 » 43,0	27	25	26,8	29			
» 43,0 » 47,0	30	28	29,8	32			
» 47,0 » 51,7	32	30	31,8	34			
» 51,7 » 56,2	36	34	35,8	39			
» 56,2 » 60,0	40	38	39,8	43			

Примечания: 1. Сверла с эжекторным отводом стружки диаметром 20...60 мм предназначены для сверления глубоких отверстий за один проход с точностью Н10–Н12 на специальных станках для глубокого сверления или модернизированных под эжекторное сверление универсальных станках.

2. Основные размеры и технические требования – по ТУ 2-035-857-81.

3. В зависимости от обрабатываемого материала сверла оснащаются пластинами твердого сплава марок Т5К10, Т15К6, ВК8.

4. Тонкостенные трубы и стебли изготавливаются из труб по ГОСТ 8734-75 из стали 30ХГСА с механическими свойствами по группе Г ГОСТ 8733-74.

#### 4.5. Инструменты для растачивания глубоких отверстий

Для растачивания глубоких отверстий наибольшее применение нашли сборные расточные инструменты одностороннего резания типа БТА или с эжекторным отводом стружки [17].

Различают черновые, получистовые и чистовые расточные инструменты.

Черновые расточные инструменты снимают большие припуски ( $t_{\max} = 20$  мм) с точностью диаметральных размеров IT10, T11 и параметром шероховатости  $Rz = 40...80$  мкм.

Чистовые расточные инструменты снимают значительно меньшие припуски ( $t_{\max} = 1,6$  мм) с точностью диаметральных размеров IT7, T8 и параметром шероховатости  $Ra < 1$  мкм.

Получистовые расточные инструменты занимают промежуточное положение между черновыми и чистовыми инструментами.

**Расточные инструменты типа БТА или с эжекторным отводом стружки** предназначены для чернового и получистового растачивания отверстий диаметром 20...300 мм и более, глубиной до  $150D$  с точностью диаметральных размеров IT9, IT10 и параметром шероховатости  $Ra = 10$  мкм.

Расточные инструменты типа БТА состоят из расточной головки и стебля, а расточные инструменты с эжекторным отводом стружки, как и эжекторные сверла, имеют еще и тонкостенную трубу. Конструктивные отличия между расточными головками типа БТА и головками с эжекторным отводом стружки аналогичны отличиям между сверлильными головками этих же типов.

Серийное производство расточных инструментов типа БТА и с эжекторным отводом стружки сосредоточено за рубежом. Так, например, для растачивания глубоких отверстий диаметром 20...280 мм фирма «Sandvik Coromant» выпускает три основные конструкции сборных расточных головок типа БТА и с эжекторным отводом стружки.

Расточные головки первой конструкции (рис. 4.39, а) применяют для растачивания глубоких отверстий диаметром 20...43 мм с точностью диаметральных размеров IT9 и параметром шероховатости  $Ra = 1$  мкм. В головках винтами закреплены регулируемая твердосплавная режущая пластина со стружкодробящим уступом и калибрующей ленточкой, две цельнотвердосплавные полукруглые направляющие пластины и одна виброгасящая опора цилиндрической формы.

Расточные головки второй конструкции (рис. 4.39, б) применяют для растачивания глубоких отверстий диаметром 43...124 мм, с точностью диаметральных размеров IT9 (когда в державке установлена режущая пластина с калибрующей ленточкой) и IT10 (когда установлена режущая пластина без калибрующей ленточки) и параметром шероховатости  $Ra = 1$  мкм. При этом режущие пластины с калибрующей ленточкой крепят в державках винтами, а без калибрующей ленточки – рычагом через отверстие в пластине. В первом случае максимальная глубина резания достигает 4,5 мм, а во втором – 6 мм.

Расточные головки третьей конструкции (рис. 4.39, в) применяют для растачивания глубоких отверстий диаметром 65...280 мм и более, с точностью диаметральных размеров IT10 и параметром шероховатости  $Ra = 3$  мкм. В этих головках используют трех- и четырехугольные твердосплавные регулируемые режущие пластины, а в качестве направляющих – две твердосплавные самоустанавливающиеся направляющие. Треугольные пластины крепят в державках прихватом сверху, а четырехугольные – рычагом через отверстие в пластине. Если стружкодробящие уступы на треугольных режущих пластинах не обеспечивают устойчивого стружкодробления, то применяют накладные стружколомы. В указанном диапазоне диаметров отверстий максимальная глубина резания пластинами треугольной

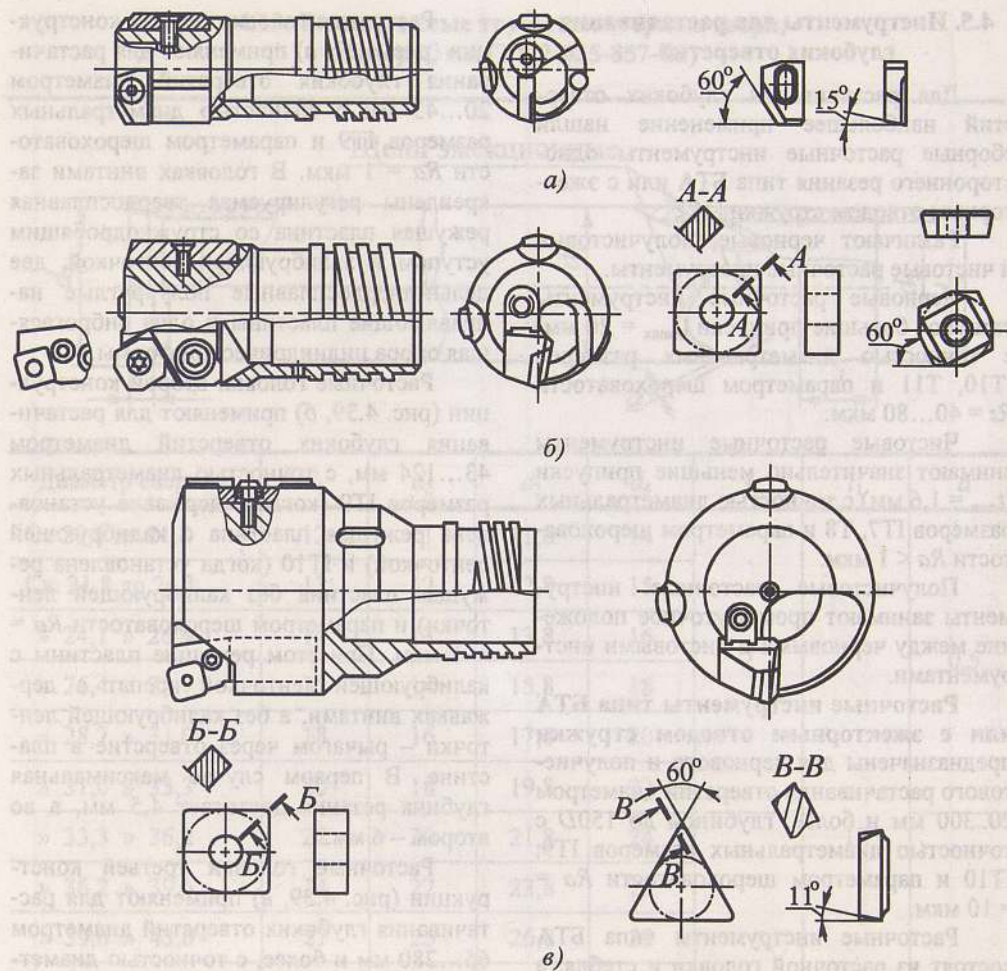


Рис. 4.39. Сборные расточные головки фирмы «Sandvik Coromant» (Швеция) и твердосплавные сменные режущие пластины к ним:  
 а – диаметр  $d = 20...43$  мм; б –  $d = 43...124$  мм; в –  $d = 65...280$  мм

формы равна 10 мм ( $d = 65...90$  мм) и 16 мм ( $d = 90...280$  мм), а четырехугольной формы – 12 мм ( $d = 65...90$  мм) и 17 мм ( $d = 90...280$  мм).

Фирма «Votek» выпускает расточные головки, применяемые для растачивания глубоких отверстий диаметром 45...250 мм. В этих головках регулируемая твердосплавная пластина в форме параллелограмма имеет калибрующие ленточки и крепится винтом к державке (рис. 4.40). В качестве направляющих используют

три цельнотвердосплавные пластины и три широкие пластмассовые направляющие, служащие для гашения колебаний в процессе обработки.

Расточные головки с плавающим двухлезвийным блоком применяют для чистового растачивания глубоких отверстий диаметром 18...500 мм, глубиной до  $150D$  и более, с точностью диаметральных размеров IT7 и параметром шероховатости  $Ra = 1...6$  мкм.

Расточная головка состоит из корпу-

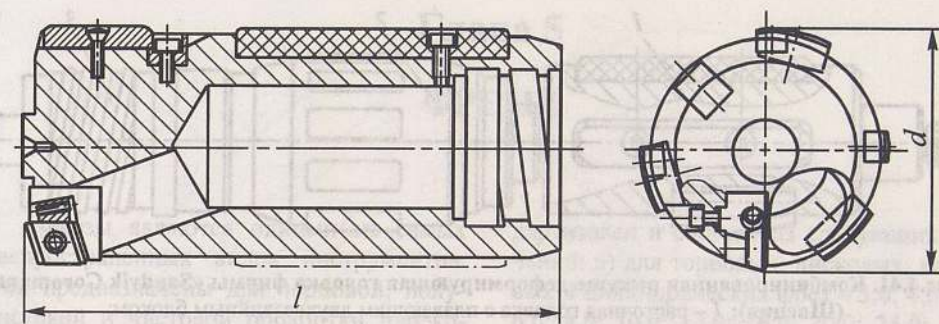


Рис. 4.40. Сборная расточная головка типа БТА фирмы «Votek» (Германия):  
 $l$  – длина головки;  $d$  – диаметр головки

са, в прямоугольном пазу которого расположен плавающий расточной блок, который может свободно перемещаться в радиальном направлении. Плавающий блок состоит из двух твердосплавных резцов, соединенных винтами с возможностью регулировки по диаметру. В процессе резания оба лезвия блока снимают равные припуски ( $t = 0,1...0,5$  мм), копируя ось обрабатываемого отверстия, и поэтому не могут исправлять погрешности осей обрабатываемых отверстий. Базирование расточной головки в отверстии осуществляется с помощью четырех сменных пластмассовых направляющих.

Раскатные головки применяют для отделочно-упрочняющей обработки в металлах твердостью не более 42 HRC отверстий диаметром 5...400 мм, глубиной до  $200D$ , с точностью диаметральных размеров IT7–IT9 и параметром шероховатости  $Ra = 0,32...0,63$  мкм. Особенно эффективны раскатные головки в тех случаях, когда требуется получить отверстия с низкой шероховатостью, повышенной износоустойчивостью и упрочненным поверхностным слоем.

Раскатные головки представляют собой набор закаленных роликов специального профиля, установленных в сепараторе, которые в процессе обработки опираются на коническую поверхность оправки и на обрабатываемую поверхность. Регулирование диаметра инструмента осуще-

вляется путем осевого перемещения опорного конуса с помощью микрометрической гайки. Для разгрузки роликов от силы тяжести раскатной головки и стебля, на который она навинчена, на головке иногда устанавливают пластмассовые направляющие.

В процессе выглаживания твердость обработанной поверхности увеличивается на 10...60 %, а параметр шероховатости уменьшается до  $Ra = 0,32$  мкм.

Для обеспечения высокого качества обработки точность диаметральных размеров отверстий, подготовленных под раскатывание, должна соответствовать IT7, IT8, а шероховатость поверхности отверстий должна быть равномерной. Этим условиям наиболее полно соответствуют отверстия, обработанные плавающими двухлезвийными расточными блоками.

Комбинированные режуще-деформирующие головки предназначены для отделочной обработки в гильзах гидро- и пневмоцилиндров отверстий диаметром 32...380 мм и более, глубиной до 10 000 мм, с точностью диаметральных размеров IT8, IT9 и параметром шероховатости  $Ra = 0,05...0,2$  мкм.

Комбинированная головка представляет собой сочетание рассмотренных выше расточной головки с плавающим двухлезвийным блоком и раскатной головки, закрепленных на стебле с помощью прямоугольной четырехзаходной резьбы (рис. 4.41).

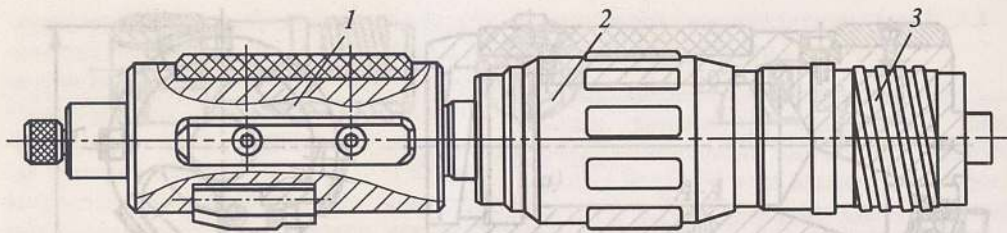


Рис.4.41. Комбинированная режуще-деформирующая головка фирмы «Sandvik Coromant» (Швеция): 1 – расточная головка с плавающим двухлезвийным блоком; 2 – раскатная головка; 3 – хвостовик

Обработка отверстий происходит в два этапа: при прямом ходе производится растачивание отверстия плавающим блоком, а при обратном ходе – выглаживание поверхности раскатной головкой. Благодаря этому производительность обработки резко возрастает, а разделение процессов

резания и пластического деформирования позволяет выбирать для каждого случая оптимальные режимы обработки.

Комбинированные режуще-деформирующие головки выпускают фирмы «Sandvik Coromant» (Швеция), «Hegenscheidt» (Германия) и др.

## Глава 5

### ФРЕЗЫ

Фрезы являются одними из самых распространенных видов инструментов. Они предназначены для черновой, получистовой и чистовой обработки плоскостей и фасонных поверхностей. Фрезы, оснащенные минералокерамикой и сверхтвердыми материалами, могут обрабатывать закаленные стали (твердостью до 60 HRC), исключая при этом шлифование (см. гл. 9).

Промышленность выпускает широкую номенклатуру фрез, которую можно подразделить на две группы: фрезы цельные и сборные, а по конструкции зубьев – на фрезы с остроконечными и затылованными зубьями.

Фрезы дартизованы и состоят из следующих значений: а) для торцовых, дисковых, концевых и цилиндрических фрез – 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0; 16,0; 20,0; 25,0; 32,0; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0; 100,0; 125,0; 160,0; 200,0; 250,0; 320,0; 400,0; 500,0; 630,0; 800,0 и 1000,0 мм; б) для прорезных и отрезных фрез – 4,0; 6,0; 10,0; 16,0; 25,0; 40,0; 62,0; 100,0; 160,0; 250,0; 400,0; 630,0 и 1000,0 мм.

**Посадочные размеры.** К посадочным размерам насадных фрез можно отнести диаметр посадочного отверстия, а также размеры шпоночных канавок и выточек.

Посадочные размеры фрез, мм:

Диаметр фрез	50	50...63	63...80	80...100
Диаметр отверстий	16	22	27	32

#### 5.1. Конструктивные элементы фрез с остроконечными зубьями

Все типы фрез имеют много общих конструктивных элементов: диаметр фрезы, посадочные размеры, число зубьев, углы тел зубьев и впадин, форма зубьев и углы режущих частей зубьев фрез.

**Диаметр фрезы** – важный конструктивный элемент, от которого зависят отвод теплоты, толщина стружки, число и форма режущих зубьев и диаметр посадочного отверстия под оправку. При выборе диаметра фрезы необходимо учитывать толщину тела фрезы. Для этого пользуются зависимостью

$$D_1 = (1,6...2,5)d,$$

где  $D_1$  – диаметр окружности впадин между зубьями, мм;  $d$  – диаметр посадочного отверстия фрезы, мм.

Размерный ряд диаметров фрез стан-

Для фрез с мелкими зубьями, предназначенных для чистовой обработки, диаметры оправок могут быть меньше, чем для фрез с крупными зубьями.

Для фрез, оснащенных твердым сплавом и предназначенных для обработки труднообрабатываемых материалов, диаметры оправок должны быть большими.

Фрезы, оснащенные твердым сплавом, больших диаметров (250...630 мм), снабжаются еще выточками для посадки на шпиндель станка. Фрезы изготавливаются в двух вариантах: с диаметром выточки 128,57 мм для всего диапазона диаметров и с диаметром выточки 221,44 мм для фрез диаметром 400...630 мм.

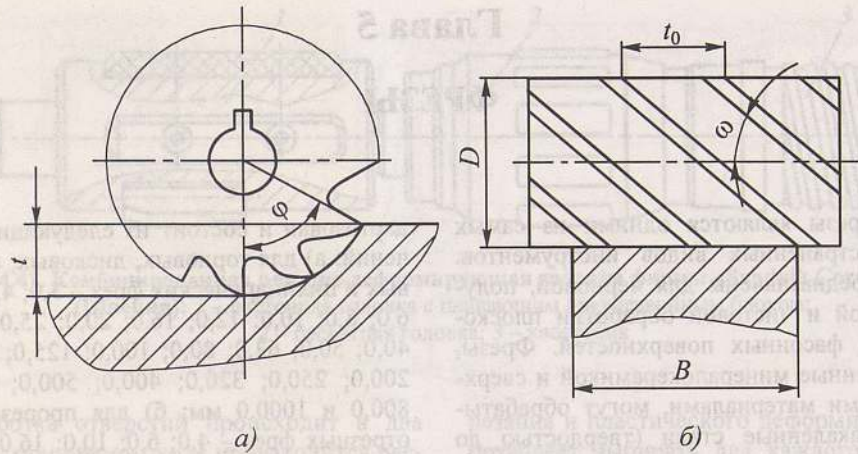


Рис. 5.1. Схема фрезерования цилиндрическими фрезами:  
а – с прямыми зубьями; б – с винтовыми зубьями

Число зубьев фрезы (рис. 5.1) влияет на процесс резания. При выборе числа зубьев фрезы необходимо соблюдать условие равномерности фрезерования. Для фрез с прямыми зубьями (рис. 5.1, а) это условие обеспечивается, если одновременно работают не менее двух зубьев, т.е.

$$z = \frac{360^\circ}{\varphi} \xi.$$

Здесь  $\xi = \frac{\varphi}{\varepsilon} \geq 2$  – коэффициент равномерности, где  $\varphi$  – угол контакта, определяемый в зависимости от наружного радиуса фрезы  $R$  и глубины резания  $t$ ;  $\varepsilon$  – угол, соответствующий угловому шагу зубьев, т.е.

$$\varepsilon = \frac{360^\circ}{z}; \cos \varphi = 1 - \frac{t}{R}.$$

При малой глубине резания для заданных значений  $D$  и  $z$  не всегда можно добиться равномерности фрезерования. Так, например, для цилиндрических и концевых фрез с винтовыми зубьями равномерность зависит от угла наклона вин-

товых канавок  $\omega$  и ширины фрезерования  $B$  (рис. 5.1, б). В этом случае процесс фрезерования будет равномерным, если ширина фрезерования  $B$  кратна осевому шагу фрезы:

$$t_0 = \frac{\pi D \operatorname{ctg} \omega}{z},$$

тогда

$$B = c \frac{\pi D \operatorname{ctg} \omega}{z},$$

где  $c$  – целое число.

Отсюда число зубьев

$$z = \frac{c \pi D \operatorname{ctg} \omega}{B}.$$

**Углы тела зуба и впадины.** Прочность зуба и пространство для размещения стружки характеризуются углами  $\eta$  и  $\delta$  (рис. 5.2, а).

У остроконечных монолитных фрез угол  $\eta \geq 47...52^\circ$  и только в исключительных случаях (у концевых и прорезных фрез)  $\eta = 30...40^\circ$ .

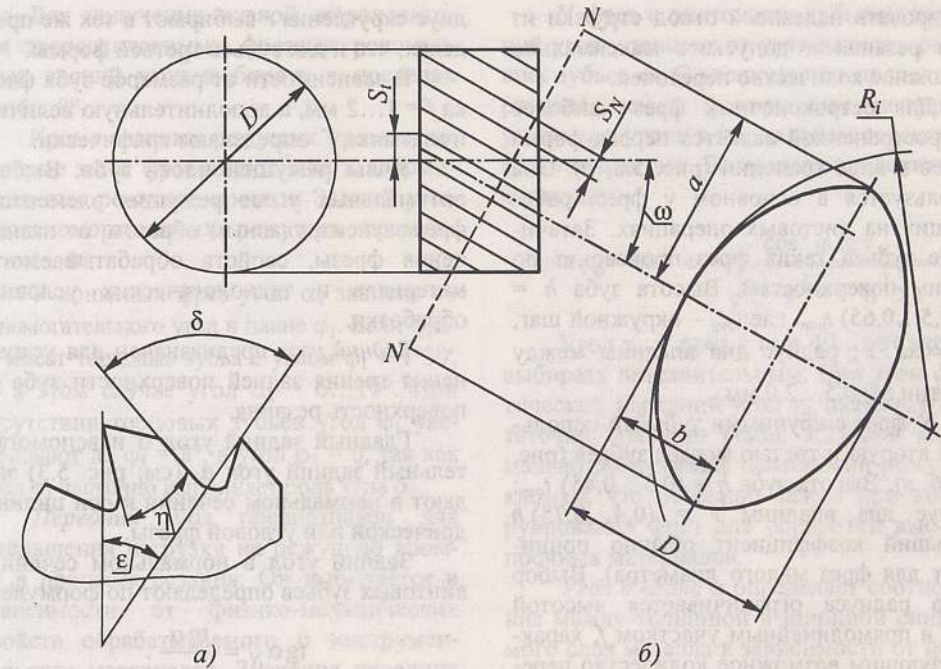


Рис. 5.2. Углы тела зуба и впадины фрезы

Угол впадины  $\delta$  для большинства фрез, кроме фрез с винтовыми зубьями, равен углу профиля фрез второго порядка. Выбор угла  $\delta$  зависит от диаметра фрезы, числа, формы и размеров зубьев. Для сокращения номенклатуры фрез установлен размерный ряд углов  $\delta$  в пределах  $45...100^\circ$  через каждые  $5^\circ$ .

Углы  $\delta$  и  $\eta$  связаны друг с другом:

$$\eta = \delta - \varepsilon,$$

где  $\varepsilon$  – угловой шаг зубьев.

Это соотношение справедливо и для режущих зубьев, снабженных передними углами.

Для фрез с винтовыми зубьями угол  $\eta$  определяют в плоскости  $NN$ , перпендикулярной к винтовым зубьям (рис. 5.2, б).

В этом случае

$$\eta = \delta - \varepsilon_i,$$

где  $\varepsilon_i$  – угол, соответствующий шагу зубьев при приведенном их количестве,

$$\varepsilon_i = \frac{360^\circ}{z_i}.$$

Приведенное количество зубьев  $z_i$  – число, которое имеет фреза с некоторым радиусом  $R_i$ :

$$z_i = \frac{2\pi R_i}{S_N},$$

где  $R_i$  – радиус кривизны эллипса в направлении его малой оси,

$$R_i = \frac{a^2}{b} = \frac{R}{\cos^2 \omega}; S_N – шаг зубьев в нормальном сечении,  $S_N = 2\pi R / z \cos \omega$ .$$

Тогда

$$z_i = z / \cos \omega.$$

Во избежание поломки зубьев, угол должен быть не менее приведенных выше значений.

**Формы зубьев и впадин.** Число зубьев фрезы влияет на форму, размеры зуба и впадины. Формы зубьев и впадин фрезы должны обеспечивать: прочность зубьев, получение достаточного пространства для размещения стружки, га-

рантировать надежный отвод стружки из зоны резания и допускать максимально возможное количество переточек.

Для остроконечных фрез наиболее распространенной является первая форма зубьев в виде трапеции (рис. 5.3, а). Она используется в основном у фрез, работающих на чистовых операциях. Затачивание зубьев таких фрез производят по задним поверхностям. Высота зуба  $h = (0,5...0,65) t_{\text{окр}}$ , где  $t_{\text{окр}}$  – окружной шаг,  $t_{\text{окр}} = \pi d / z$ ; радиус дна впадины между зубьями  $r = 0,5...2,0$  мм.

У фрез с крупными зубьями используют вторую и третью формы зубьев (рис. 5.3, б, в). Высота зуба  $h = (0,3...0,45) t_{\text{окр}}$ ; радиус дна впадины  $r = (0,4...0,75) h$  (большой коэффициент обычно принимают для фрез малого диаметра). Выбор этого радиуса ограничивается высотой зуба и прямолинейным участком  $f$ , характеризующим возможное количество переточек при условии сохранения принятого переднего угла  $\gamma$ .

Спинку зуба (рис. 5.3, в) выполняют по дуге окружности радиусом  $R = (0,3...0,45) D$ . При его выборе необходимо, чтобы касательная в точке А сопряжения ее с ленточкой  $f$  проходила под углом  $\alpha_1 = \alpha + 10...15^\circ$ .

Форма зуба (см. рис. 5.3, б) имеет двойную спинку, выполненную под двумя углами:  $\alpha$  – задний угол,  $\alpha_1$  – угол среза спинки,  $\alpha_1 = 20...30^\circ$ . Высоту зуба  $h$  и ра-

диус скругления  $r$  выбирают в тех же пределах, что и для зубьев третьей формы.

В зависимости от размеров зуба фаска  $f = 1...2$  мм, а дополнительную величину затылка  $F$  определяют графически.

**Углы режущей части зуба.** Выбор оптимальных углов режущих элементов фрез зависит, главным образом, от назначения фрезы, свойств обрабатываемого материала и технологических условий обработки.

**Задний угол** предназначен для устранения трения задней поверхности зуба о поверхность резания.

Главный задний угол  $\alpha$  и вспомогательный задний угол  $\alpha_1$  (см. рис. 5.3) задают в нормальном сечении к оси цилиндрической или угловой фрезы.

Задний угол в нормальном сечении винтовых зубьев определяют по формуле:

$$\text{tg } \alpha_N = \frac{\text{tg } \alpha}{\cos \omega}$$

Задний угол на фасках прорезных и дисковых фрез в сечении, параллельном фаске, определяют по формуле:

$$\text{tg } \alpha_N = \text{tg } \alpha \sin \varphi,$$

где  $\varphi$  – главный угол в плане.

Для фрез с мелкими зубьями, используемых для снятия небольших припусков, задний угол  $\alpha = 16^\circ$ , для фрез с крупными зубьями  $\alpha = 12^\circ$ , а для дисковых и прорезных (шлицевых) фрез –  $\alpha \leq 30^\circ$ .

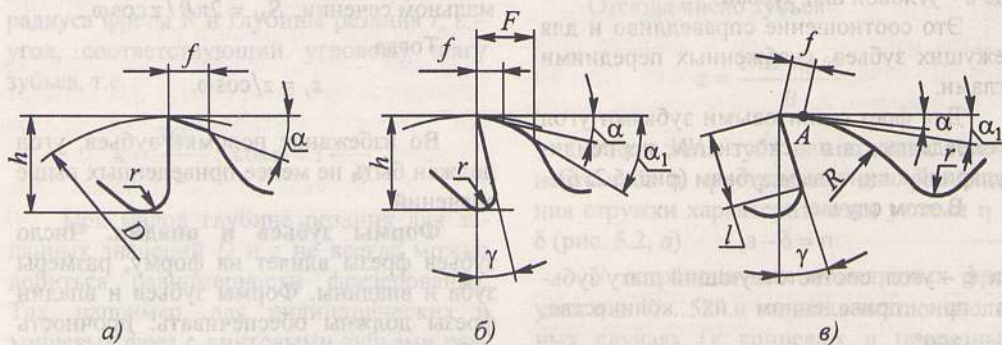


Рис. 5.3. Формы остроконечных зубьев

Для получения низкой шероховатости твердосплавными фрезами рекомендуют задний угол выбирать в пределах  $\alpha = 5...8^\circ$ .

Кроме главных режущих кромок некоторые типы фрез имеют еще и вспомогательные режущие кромки. Задний угол на вспомогательных режущих кромках  $\alpha_1 = 4...8^\circ$ .

У концевых фрез угол  $\alpha_1$  зависит от вспомогательного угла в плане  $\varphi_1$ . Если фреза имеет торцовые зубья с углом  $\varphi_1 = 1^\circ 30'$ , то в этом случае угол  $\alpha_1 = 6...10^\circ$ . При отсутствии торцовых зубьев угол  $\varphi_1$  увеличивают до  $\varphi_1 = 8^\circ$ , а угол  $\varphi_1 = 0$ , так как угол  $\varphi_1$  частично выполняет роль угла  $\alpha_1$ .

**Передний угол** предназначен для уменьшения нагрузки на режущую кромку в процессе резания. Он выбирается в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов. Значения передних углов в нормальном сечении приведены в табл. 5.1.

У фрез с винтовыми зубьями передний угол  $\gamma$  зависит от угла наклона режущих зубьев  $\omega$ . С увеличением последнего разница между фактическим передним углом  $\gamma_\phi$  и углом в нормальном сечении  $\gamma_N$  резко возрастает. Ее можно определить по формуле:

$$\sin \gamma_\phi = \sin^2 \omega + \frac{\cos^2 \omega \text{tg } \gamma_N}{\sqrt{1 + \text{tg}^2 \omega + \text{tg}^2 \gamma_N}}$$

Угол  $\gamma_N$  у фрез с  $\omega = 40...60^\circ$  можно выбирать незначительным. При этом фактический передний угол  $\gamma_\phi$  окажется достаточно большим (табл. 5.2) при минимально допустимом ослаблении режущей кромки, что особенно важно при конструировании фрез для обработки высокопрочных материалов.

Угол в плане  $\varphi$  определяет соотношение между толщиной и шириной снимаемого слоя металла в зависимости от подачи и глубины резания, а угол  $\varphi_1$  влияет на качество обрабатываемой поверхности.

### 5.1. Значения передних углов фрез, °

Обрабатываемый материал	Значения угла $\gamma_N$ для фрез		
	быстрорежущих	твердосплавных	
Сталь	$\sigma_b$ до 600 Н/мм <sup>2</sup>	20	15
	$\sigma_b = 600...1000$ Н/мм <sup>2</sup>	15	5...–5
	$\sigma_b > 1000$ Н/мм <sup>2</sup>	12...10	–10...–15
Чугун		5...15	5...–5

### 5.2. Значения фактических передних углов фрез, °

$\gamma_N$	Угол $\gamma_\phi$ при угле $\omega$						
	5	10	20	30	40	50	60
5	5°	6°30'	11°	17°50'	27°	37°30'	49°30'
10	10°	11°20'	15°10'	21°20'	29°30'	39°15'	50°30'
15	15°	16°10'	19°20'	24°50'	32°	41°	51°30'



В табл. 5.3 приведены углы в плане для фрез основных типов.

Угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$  расположен между вектором скорости резания  $\vec{v}$  в данной точке и нормалью  $N$  к главной режущей кромке в той же точке и измеряется в плоскости резания.

Угол  $\lambda$  принимают положительным, если вектор скорости находится справа от нормали, и отрицательным, если вектор скорости располагается слева от нормали.

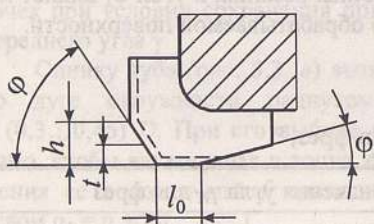
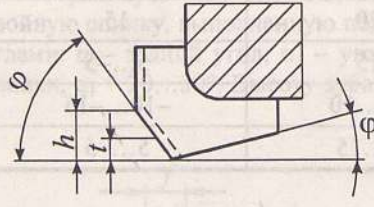
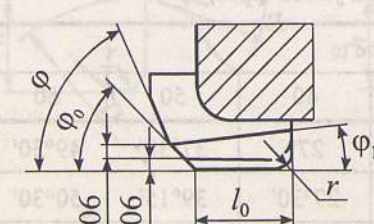
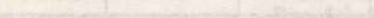
Углом  $\lambda$  снабжают все фрезы с угловой режущей кромкой (торцовые, дисковые, трех- и двусторонние). Для цилиндрических фрез с винтовыми или наклонными зубьями угол наклона зубьев  $\omega = \lambda$ . Угол  $\lambda$  способствует упрочнению зуба.

Если  $\lambda > 0$ , то первоначальный контакт зуба и заготовки удаляется от вершины зуба и тем самым зуб предохраняется от сколов. У фрез с пластинами твердого сплава угол  $\lambda = 12...15^\circ$ , а у быстрорежущих фрез  $\lambda = 10^\circ$ .

Угол наклона винтовых зубьев  $\omega$  способствует улучшению условий работы фрезы, увеличению ее стойкости и влияет на направление схода стружки. С увеличением угла наклона  $\omega$  от  $10^\circ$  до  $60^\circ$  стойкость фрезы возрастает в 3...5 раз.

В зависимости от направления винтовых зубьев и вращения фрезы (правое или левое) в процессе резания возникает осевая сила  $P_0$ , действующая на опору шпинделя станка и заготовку.

5.3. Углы в плане основных типов фрез, °

Эскизы	$\varphi$	$\varphi_1$	Характеристика фрез
	20...30	2...3	Торцовые фрезы $D \geq 150$ мм для грубой обработки с глубиной резания до 3 мм
	45...60	2...3	При глубине резания до 3 мм
	45...60	2...3	Торцовые фрезы $D \geq 150$ мм для чистовой обработки при больших подачах. Вспомогательная режущая кромка $l_0 = (4...6)S_z$
	45...60	2...3	Торцовые фрезы $D < 150$ мм для чистовой обработки с одним зачистным зубом, возвышающимся над остальными зубьями на 0,06 мм. Фрезы $D > 250$ мм имеют два зачистных зуба. Длина $l_0 > S_z$ , но не менее 30 мм. На зачистных зубьях $\varphi_1 = 0$ – при обработке чугуна и $\varphi_1 = 6...12'$ – при обработке стали

Продолжение табл. 5.3

Эскизы	$\varphi$	$\varphi_1$	Характеристика фрез
	90	1...3	Торцовые фрезы для обработки взаимно перпендикулярных плоскостей, пазов и канавок. Фаска $f_0 = 0,5...1,5$ мм в зависимости от диаметра фрез
	90	1...2	Фрезы дисковые двух- и трехсторонние. Фаска $f_0 = 0,5...1,5$ мм, если не задана чертежом, $\varphi_0 = 45^\circ$
	90	-	Прорезные (шлицевые) фрезы $D = 40...60$ мм, при $f_0 \leq 0,8$ мм – $\varphi_1 = 15'$ и $f_0 \geq 0,8$ мм – $\varphi_1 = 30'$  Прорезные (шлицевые) фрезы $D = 75$ мм, $f_0 = 2...3$ мм – $\varphi_1 = 1^\circ 15'$ и $f_0 > 3$ мм – $\varphi_1 = 1^\circ 30'$

Примечания: 1. Высоту  $h$  угловой режущей кромки принимают на 0,5...1,0 мм больше глубины резания  $t$ . Для фрез с углом  $\varphi = 45...60^\circ$   $h = 3...7$  мм.

2. У дисковых фрез, предназначенных для обработки точных (мерных) пазов за один проход,  $\varphi_1$  определяется по формуле  $\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{\Delta B}{2h_1}$ , где  $\Delta B$  – допустимое уменьшение ширины фрезы после переточек;  $h_1$  – высота стачиваемой части зуба.

Направление винтовых зубьев, показанных на рис. 5.4, а, б, при правом вращении фрезы должно быть правое, а при левом – левое. Направление винтовых зубьев фрез, показанных на рис. 5.4, в и г, при левом вращении фрезы должно быть правое, при правом – левое.

При выборе больших величин  $\omega$  необходимо учитывать направление отвода стружки и конфигурацию обрабатываемой поверхности. Например, при фрезе-

ровании закрытых пазов и уступов (рис. 5.4, а, б) фрезой с левым наклоном зубьев при левом направлении стружка направляется к торцу фрезы (рис. 5.4, д, е), заземляется и пакетируется между зубьями, что приводит к поломке инструмента. Для устранения этого явления необходимо, например, при левом вращении фрезы зубья выполнять с правым наклоном. В табл. 5.4 приведены рекомендуемые углы наклона зубьев для различных типов фрез.

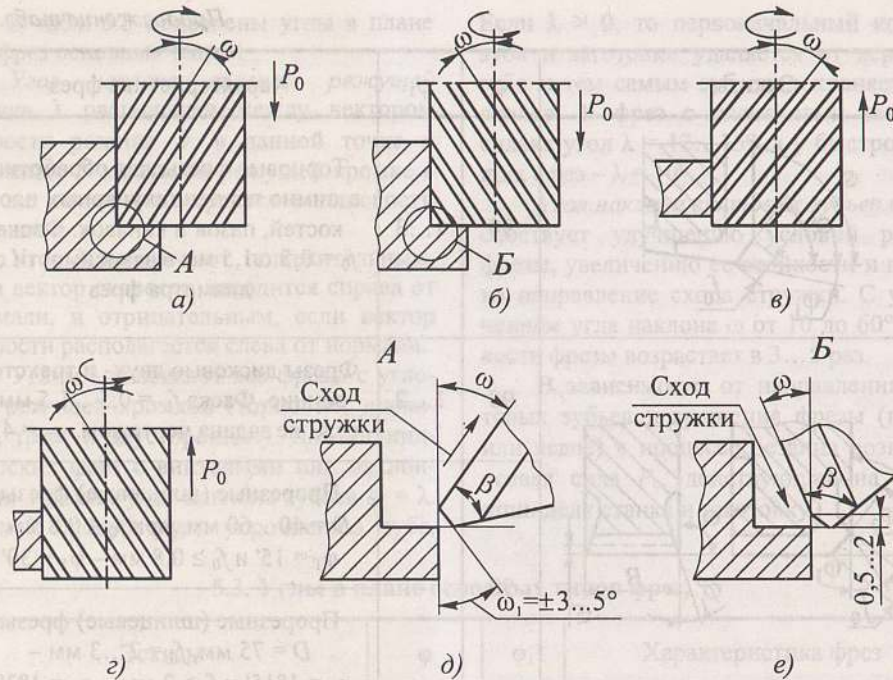


Рис. 5.4. Направления винтовых зубьев

## 5.4. Углы наклона режущих зубьев фрез

Типы фрез	Угол $\omega$ , °
Цилиндрические:	
насадные	45...60
концевые	30...60
мелкозубые	25...30
Дисковые двух- и трехсторонние	15...20
Торцовые мелкозубые	25...30

## 5.2. Фрезы с остrokонечными зубьями из быстрорежущих сталей

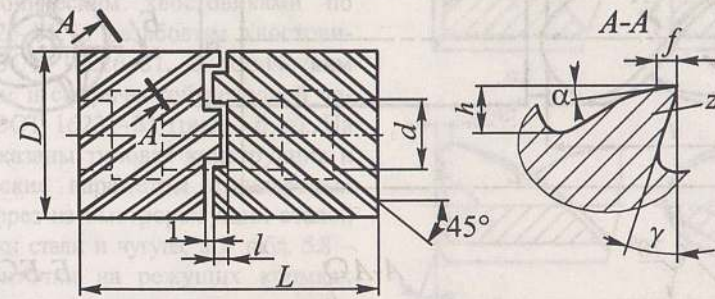
Фрезы с остrokонечными зубьями из быстрорежущих сталей бывают следующих конструкций: цилиндрические, дисковые, угловые, концевые, торцовые, отрезные и пилы по металлу.

**Фрезы цилиндрические и торцовые.** Для легких и отделочных работ применяют цилиндрические и торцовые фрезы с мелкими зубьями и углом наклона

стружечных канавок  $\omega = 30...35^\circ$ . Фрезы с крупными зубьями изготавливают с углом  $\omega = 40^\circ$ . Форму зуба очерчивают по кривой или двумя прямыми с радиусом скругления 2...3 мм (см. рис. 5.3, б, в).

При фрезеровании широких плоскостей целесообразно применять наборы, состоящие из двух фрез (табл. 5.5): одной с правыми, другой с левыми винтовыми зубьями. Такие фрезы предназначены для нормальных условий работы, а для тяжелых

## 5.5. Размеры набора цилиндрических фрез, мм



D	L	d (H7)	$l \pm 0,36$	z	h
63...70	60...120	27	7	10	8
70...85	100...150	32	7	12	9
85...100	150...250	40	7	14	10
100...125	250...300	50	9	16	11

Примечания: 1. Передние и задние углы выбирают в зависимости от обрабатываемого материала. 2. Шаг зубьев неравномерный.

работ используют наборы фрез с уменьшенным числом зубьев криволинейной (параболической) формы.

Торцовые фрезы со вставными ножами из быстрорежущих сталей изготавливают диаметром 80...250 мм.

**Фрезы концевые цилиндрические** (рис. 5.5). Применяют для обработки плоскостей, уступов, прямоугольных пазов, колодцев и т.д.

Для черного фрезерования широких поверхностей и пазов с большими припусками под механическую обработку

предназначены концевые обдирочные (кукурузные) фрезы по ГОСТ 15086-69. Такие фрезы изготавливают с торцовыми зубьями и без них, с конусом Морзе (нормальные и укороченные) и метрическим конусом 80 (фрезы диаметром 80 мм). Зубья снабжают стружкоразделительными канавками, расположенными в шахматном порядке, обеспечивающими разделение стружки по ширине и способствующими гашению вибраций. Размеры концевых обдирочных фрез предусмотрены ГОСТ 15086-69 (табл. 5.6)

## 5.6. Основные габаритные размеры концевых обдирочных фрез, мм (ГОСТ 15086-69)

Диаметр фрезы D	Длина режущей части l	Число режущих зубьев z
25	50; 80	3
32	55; 85; 130	4
40	65; 100; 160	4
50	70; 120; 180	4
63	80; 125; 200	5
80	90; 140; 220	7

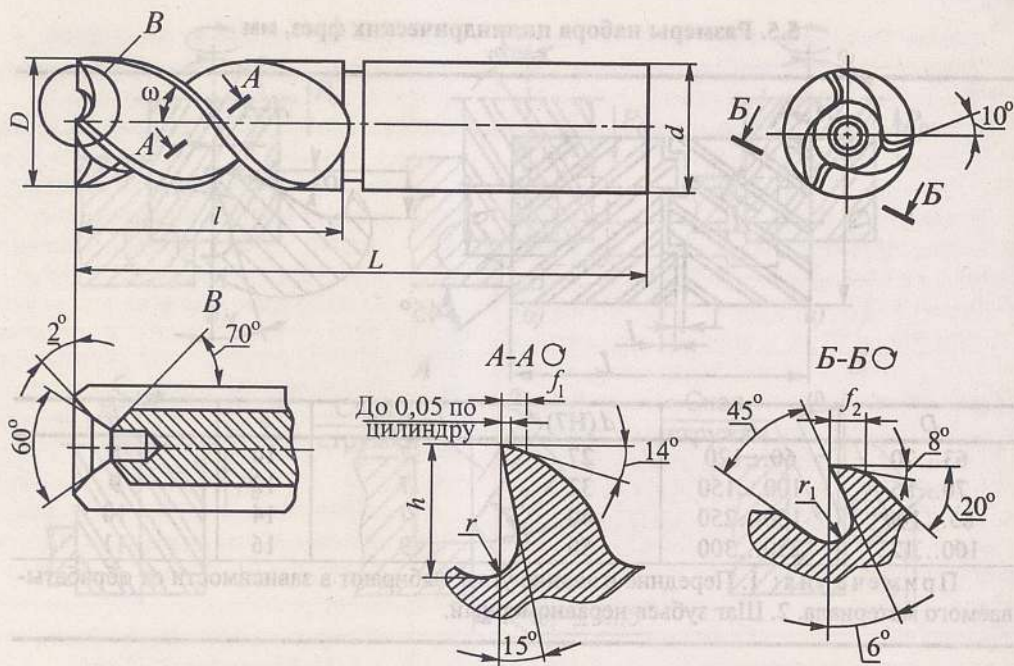


Рис. 5.5. Конструкция и геометрические параметры концевой фрезы

Концевые фрезы из быстрорежущих сталей с цилиндрическим хвостовиком по ГОСТ 17025-71 выпускают диаметром 2...28 мм, с коническим хвостовиком по ГОСТ 17026-71 – диаметром 10...63 мм.

Фрезы выпускают двух типов: тип 1 – с нормальными зубьями, тип 2 – с крупными зубьями. Рекомендации по выбору числа зубьев в зависимости от диаметра фрезы приведены в табл. 5.7.

5.7. Число режущих зубьев фрез по ГОСТ 17025-71 и ГОСТ 17026-71

Диаметр фрезы D, мм	Тип 1	Тип 2	Диаметр фрезы D, мм	Тип 1	Тип 2
Фрезы с цилиндрическим хвостовиком			Фрезы с коническим хвостовиком		
2...2,5	3	2	10...18	4	3
3...11	4	3	20...28	5	3
12...16	5	4	32...50	6	4
18...28	6	–	56...63	8	5

Для обработки легких сплавов используют концевые фрезы с цилиндрическим и коническим хвостовиками по ГОСТ 16225-81, с резьбовым хвостовиком по ГОСТ 16226-81, с коническим хвостовиком и сферической режущей частью по ГОСТ 16231-81 (рис. 5.6, з). На рис. 5.5 показаны типовая конструкция и геометрические параметры стандартных концевых фрез из быстрорежущих сталей для обработки стали и чугуна, а в табл. 5.8 – ширина ленточки на режущих кромках зубьев фрезы.

Все концевые цилиндрические фрезы имеют различные формы торцевой части (см. рис. 5.6). Большое влияние на работоспособность фрез оказывает переходный участок от торцовых к цилиндрическим режущим кромкам.

Не менее важной характеристикой является распределение зубьев по окружности наружного диаметра фрезы, которое бывает: равномерное – с одинаковым угловым шагом и неравномерное – с неодинаковым угловым шагом между

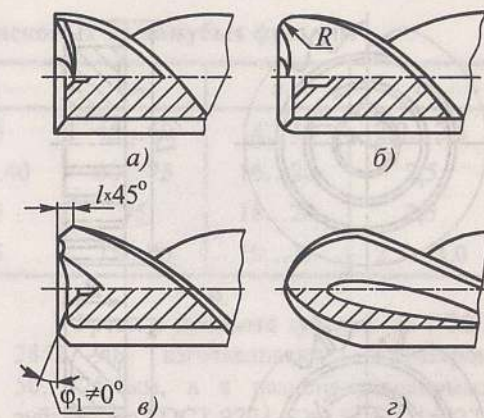


Рис. 5.6. Формы торцевой части концевых быстрорежущих фрез:

- а, в – для обработки прямоугольных уступов;
- б – с радиусной режущей частью;
- з – со сферической режущей частью

соседними зубьями. Последнее рекомендуется для снижения вибраций в процессе резания. Величина угловых шагов зависит от числа зубьев (табл. 5.9).

5.8. Ширина ленточек на режущих кромках зубьев фрез, мм

Диаметр фрезы D	f	f <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	Диаметр фрезы D	f	f <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>
3...9	1,0	0,3...0,7	0,2...0,5	28...42	2,0	1,5...2,0	1,5...1,8
10...26	1,5	1,0...1,5	0,6...1,2	42...63	2,5	2,0...3,0	1,8...2,0

5.9. Величина равномерности окружного шага

Число зубьев	Углы, соответствующие шагу, °							
	φ <sub>1</sub>	φ <sub>2</sub>	φ <sub>3</sub>	φ <sub>4</sub>	φ <sub>5</sub>	φ <sub>6</sub>	φ <sub>7</sub>	φ <sub>8</sub>
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

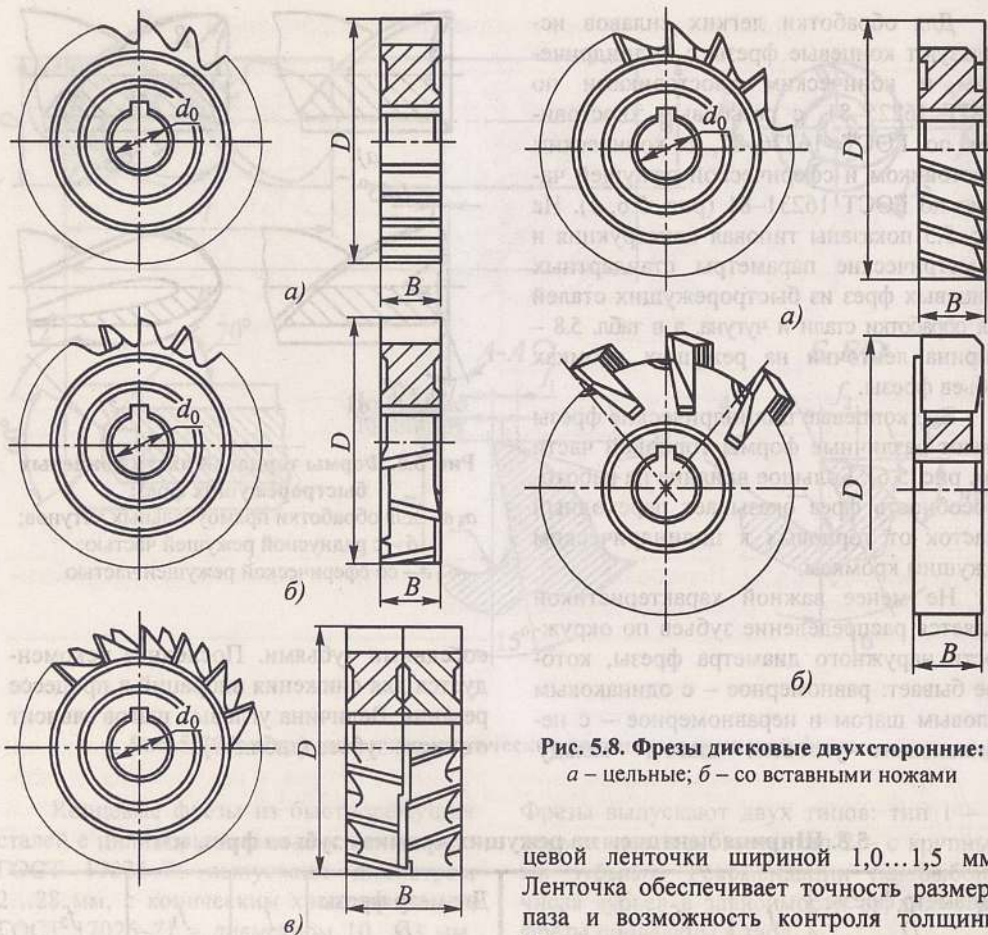


Рис. 5.7. Фрезы пазовые: а – с прямым зубом; б – с разнонаправленными зубьями; в – двоянные

**Фрезы дисковые.** К дисковым фрезам относятся пазовые, трех- и двухсторонние, с зубьями переменного направления, угловые и др. В зависимости от наружного диаметра и ширины зуба эти фрезы изготовляют цельными и сборными (со вставными ножами или сегментами).

Пазовые фрезы (рис. 5.7) по ГОСТ 3964–69 применяют для фрезерования неглубоких пазов. Для уменьшения трения они снабжены углом  $\phi_1 = 1^\circ 30' \dots 2^\circ$  по обоим торцам фрезы с оставлением коль-

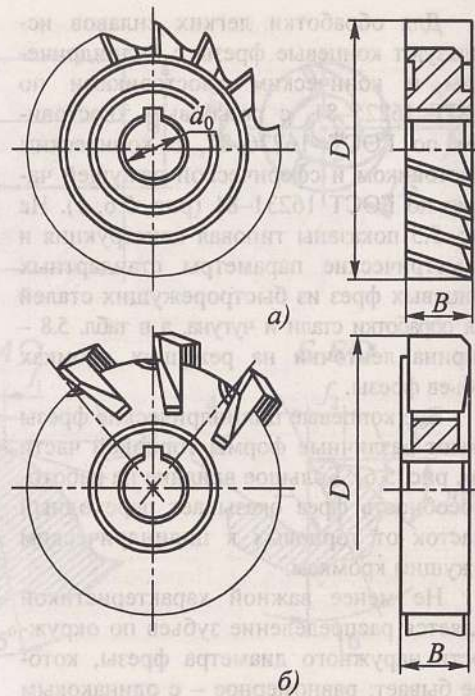


Рис. 5.8. Фрезы дисковые двухсторонние: а – цельные; б – со вставными ножами

цевой ленточки шириной 1,0...1,5 мм. Ленточка обеспечивает точность размера паза и возможность контроля толщины фрезы.

Размеры пазовых фрез составляют: ширина  $B = 3 \dots 16$  мм; наружный диаметр  $D = 50 \dots 100$  мм; диаметр посадочного отверстия  $d_0 = 16 \dots 32$  мм, число режущих зубьев  $z = 14 \dots 20$ .

Фрезы дисковые двухсторонние (рис. 5.8) применяют в основном для обработки взаимно перпендикулярных плоскостей. Наружный диаметр и ширину назначают в зависимости от размеров заготовки или при использовании набора фрез в соответствии с их диаметрами.

В табл. 5.10 приведены основные размеры двухсторонней дисковой мелкозубой фрезы.

Фрезерование широких пазов можно производить наборами двухсторонних

5.10. Размеры двухсторонних дисковых мелкозубых фрез, мм

$D$	$B$	$d_0$ (H7)	$d_1$	$d_2$	$z$	$a$
60...80	8...16	22	35	45...60	14...18	2,0...2,5
80...90	10...20	27	35...40	60...75	16...20	2,5
90...100	15...20	27	45	75	18...20	2,5
100...125	15...25	32	45	75...90	20...22	2,5...3,0

цельных фрез с левым и правым углами наклона зубьев.

Для обработки легких сплавов применяют дисковые двухсторонние фрезы по ГОСТ 16229–81.

Фрезы дисковые трехсторонние (рис. 5.9) предназначены для фрезерования пазов с точностью IT9.

Размерный ряд ширины фрез стандартизован и состоит из следующих значений: 4...10 мм через 1 мм; 10...20 мм через 2 мм и 22, 25, 28 мм.

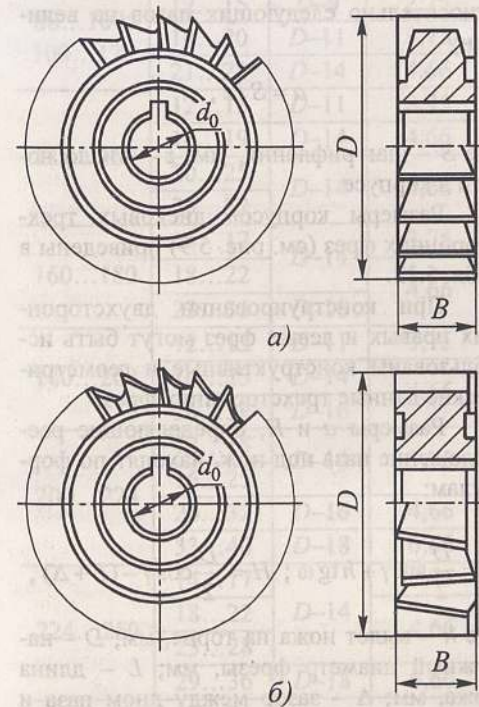


Рис. 5.9. Фрезы дисковые трехсторонние: а – с правыми зубьями, б – с разнонаправленными зубьями

Фрезы с прямыми зубьями по ГОСТ 28527–90 изготавливают диаметром 50...125 мм, а с разнонаправленными зубьями по ГОСТ 9774–81 и ГОСТ 16227–81 (для легких сплавов) – диаметром 63...125 мм, с углом наклона зубьев  $\omega = 15 \dots 20^\circ$ .

Для получения на торцевых зубьях (двух- и трехсторонних) фрез фаски  $f$  одинаковой ширины определяют угол установки  $\rho$  (рис. 5.10) шпинделя делительной головки при обработке угловой фрезой с углом  $\nu$ :

$$\cos \rho = \operatorname{tg} \epsilon \operatorname{ctg} \nu.$$

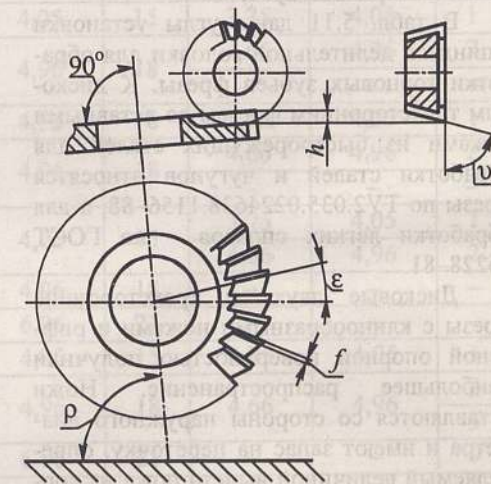


Рис. 5.10. Схема фрезерования торцевых зубьев дисковой фрезой

### 5.11. Углы установки шпинделя делительной головки при фрезеровании торцовых зубьев (см. рис. 5.10)

Число зубьев $z$	Значение угла $\rho$ при угле $\nu$ рабочей фрезы, °					
	85	80	75	70	65	60
6	81°17'	72°18'	62°21'	50°55'	36°08'	—
8	84°59'	79°51'	74°27'	68°39'	62°12'	54°44'
10	86°21'	82°38'	78°59'	74°40'	70°12'	65°12'
12	87°06'	84°09'	81°06'	77°52'	74°23'	70°32'
14	87°35'	85°08'	82°35'	79°54'	77°01'	73°51'
16	87°55'	85°49'	83°38'	81°20'	78°52'	76°10'
18	88°10'	86°19'	84°24'	82°27'	80°14'	77°52'
20	88°22'	86°43'	85°	83°12'	81°17'	79°11'
22	88°32'	87°02'	85°30'	83°52'	82°08'	80°14'
24	88°39'	87°18'	85°53'	84°24'	82°49'	81°06'
26	88°46'	87°30'	86°13'	84°51'	83°24'	81°49'

Глубину фрезерования можно вычислить по формуле:

$$h = \frac{r \sin \varepsilon - f}{\cos \varepsilon \operatorname{tg} \nu \sin \rho},$$

где  $r$  – радиус, на котором определяют глубину фрезерования, мм;  $f$  – ширина фаски на торцовом зубе, мм.

В табл. 5.11 даны углы установки шпинделя делительной головки для обработки торцовых зубьев фрезы. К дисковым трехсторонним фрезам со вставными ножами из быстрорежущих сталей для обработки сталей и чугунов относятся фрезы по ТУ 2.035.0224638.1156–88, а для обработки легких сплавов – по ГОСТ 16228–81.

Дисковые двух- и трехсторонние фрезы с клинообразными ножами и рифленой опорной поверхностью получили наибольшее распространение. Ножи вставляются со стороны наружного диаметра и имеют запас на переточку, определяемый величиной вылета ножа из корпуса. Для получения оптимального запаса на заточку ножей необходимо при конструировании предусмотреть выполнение

рифлений в корпусе фрезы со смещением относительно следующих пазов на величину

$$a = S/z,$$

где  $S$  – шаг рифлений, мм;  $z$  – число ножей в корпусе.

Размеры корпусов дисковых трехсторонних фрез (см. рис. 5.9) приведены в табл. 5.12.

При конструировании двухсторонних правых и левых фрез могут быть использованы конструктивные и геометрические данные трехсторонних фрез.

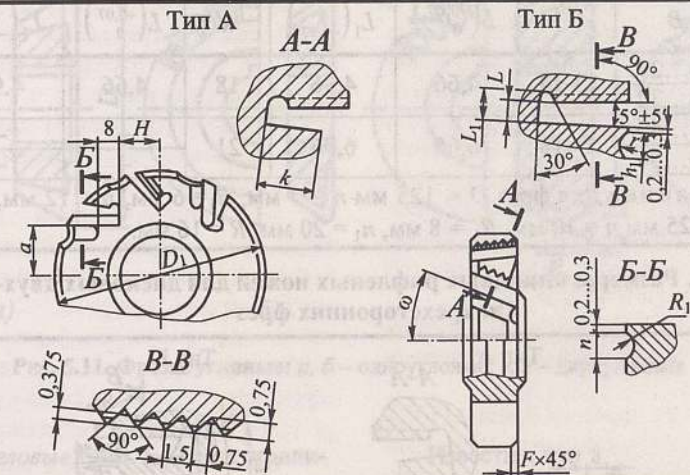
Размеры  $a$  и  $H$ , определяющие расположение паза под нож, находят по формулам:

$$a = \frac{D}{2} \sin \gamma + h \operatorname{tg} \omega; \quad H = \frac{D}{2} \cos \gamma - (L + \Delta),$$

где  $h$  – вылет ножа на торце, мм;  $D$  – наружный диаметр фрезы, мм;  $L$  – длина ножа, мм;  $\Delta$  – зазор между дном паза и торцом ножа ( $\Delta = 2...3$  мм).

Размеры ножей для двух- и трехсторонних дисковых фрез приведены в табл. 5.13.

### 5.12. Размеры корпусов дисковых трехсторонних фрез со вставными ножами, мм



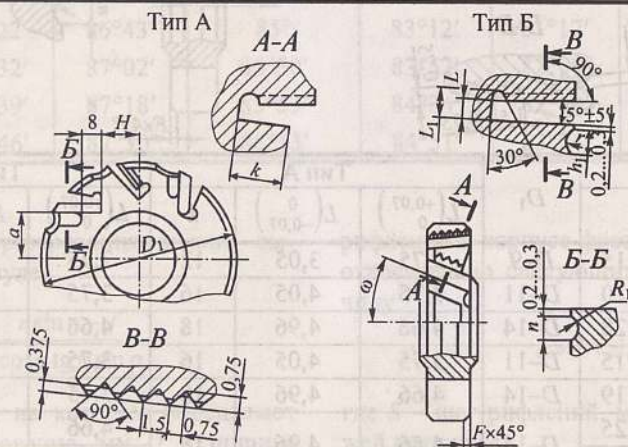
Размеры фрез		$D_1$	Тип А			Тип Б		
$D$	$B$		$L \begin{smallmatrix} +0,07 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$L \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,07 \end{smallmatrix}$	$k$	$L \begin{smallmatrix} +0,07 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$L \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,07 \end{smallmatrix}$	$F$
80...100; 100...125	12...15	$D-9$	2,75	3,05	12	2,75	3,05	1
	14...20	$D-11$	3,75	4,05	16	3,75	4,05	1
	21...28	$D-14$	4,66	4,96	18	4,66	4,96	2
125...160	12...15	$D-11$	3,75	4,05	16	3,75	4,05	1
	16...19	$D-14$	4,66	4,96	18	3,75	4,05	2
	20...25 25...32	$D-14$	4,66	4,96	18	4,66	4,96	3
160...180	14...17	$D-14$	3,75	4,05	15	3,75	4,05	1
	18...22	$D-16$	4,66	4,96	18	4,66	4,96	2
	23...36		—	—	—	—		
180...200	12...15	$D-11$	3,75	4,05	16	3,75	4,05	1
	16...25	$D-14$	4,66	4,96	18	4,66	4,96	2
	26...32	$D-16$				—	—	—
200...224	12...15	$D-14$	3,75	4,05	15	3,75	4,05	1
	16...25		4,66	4,96	18	4,66	4,96	2
	26...32	$D-16$	4,66	4,96	18	—	—	—
	33...40	$D-18$	6,66	6,96	21	—	—	—
224...250	14...17	$D-14$	3,75	4,05	15	3,75	4,05	1
	18...22		4,66	4,96	18	4,66	4,96	2
	23...28	$D-18$	6,66	6,96	21	—	—	3
250...315	18...21	$D-14$	4,66	4,96	18	4,66	4,96	2
	22...28		—	—	—	—	—	3
	29...45	$D-18$	6,66	6,96	21	—	—	—

Продолжение табл. 5.12

Размеры фрез		D <sub>1</sub>	Тип А			Тип Б		
D	B		L <sup>(+0,07)</sup> <sub>0</sub>	L <sub>1</sub> <sup>(0)</sup> <sub>(-0,07)</sub>	k	L <sup>(+0,07)</sup> <sub>0</sub>	L <sub>1</sub> <sup>(0)</sup> <sub>(-0,07)</sub>	F
315...350	20...25	D-14	4,66	4,96	18	4,66	4,96	2
	26...32							3
	33...40	D-18	6,66	6,96	21	-	-	-
	41...50					-	-	-

Примечание. Для фрез D < 125 мм n = 7 мм, R<sub>1</sub> = 6 мм, n<sub>1</sub> = 12 мм, R = 8 мм; для фрез D ≥ 125 мм n = 10 мм, R<sub>1</sub> = 8 мм, n<sub>1</sub> = 20 мм, R = 16 мм.

5.13. Размеры клиновых рифленых ножей для дисковых двух- и трехсторонних фрез



Обозначение ножей		Габаритные размеры, мм					α	Размеры пластин, мм	
правых	левых	L	B	B <sub>1</sub>	L <sub>-0,1</sub>	L <sub>1</sub> <sup>(0)</sup> <sub>(-0,07)</sub>		c	b
2020-0151	2020-0152	16,8	11	12,73	3,72	3,4	7°30'	-	-
0153	0154		13	14,80					
0155	0156		15	16,87					
0157	0158		18,5	20,49					
0159	0160		22,5	24,63					
0161	0162	23,8	11	13,13	4,72	4,4	7°30'	2,5	10
0163	0164		13	15,20					
0165	0166		15	17,27					
0167	0168	28,3	15	17,62	5,72	5,4	7°30'	-	-
0021	0022		18,5	21,24					
0023	0024		22,5	25,38					
0169	0170		26,5	29,53					
0171	0172	33,8	28,5	31,60	7,72	7,4	15°	3,0	12,0
0025	0026		25,5	29,13					
0173	0174		32,5	36,38					
0175	0176	42	46,22				4,0	15	

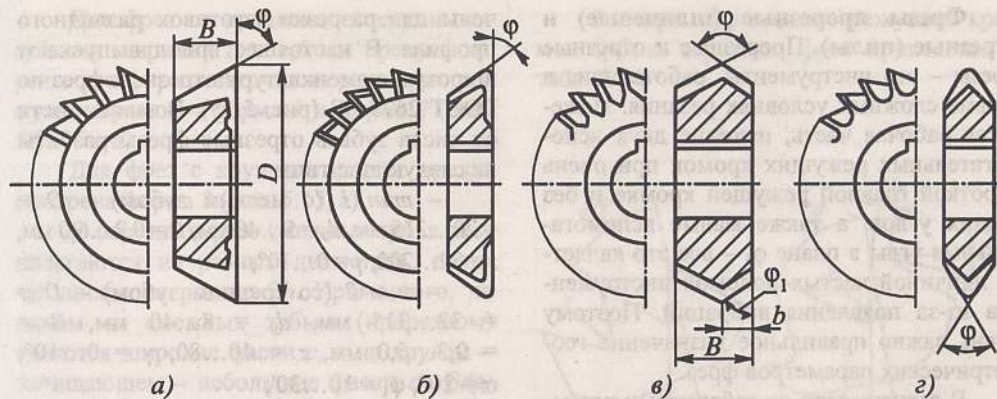


Рис. 5.11. Фрезы угловые: а, б – одноугловые; в, з – двухугловые

Фрезы угловые (рис. 5.11) изготавливают только монолитными и применяют в основном в инструментальном производстве для фрезерования стружечных канавок различных инструментов, а также для фрезерования различных пазов и скосов.

Одноугловые фрезы (рис. 5.11, а) изготавливают с углом конуса φ = 55...90° через каждые 5°.

Двухугловые фрезы (рис. 5.11, в) изготавливают с общим углом конуса φ = 55...100° через каждые 5°, причем меньший угол принимают в пределах 15...25° в зависимости от размера общего угла.

Для фрезерования канавок прямоугольных затылованных фрез применяют одноугловые фрезы (рис. 5.11, б) с углами конуса φ = 18, 22, 25 и 30°, а для фрез с винтовыми затылованными зубьями – фрезы симметричной формы (рис. 5.11, з) с теми же углами φ.

Ширину B, b и угол φ устанавливают в зависимости от обрабатываемого материала. Для фрезерования стружечной канавки на конической поверхности фрезы необходимо знать угол установки ρ шпинделя делительной головки (рис. 5.12).

Известно, что

$$\delta = \frac{360^\circ}{z}$$

Угол установки шпинделя делительной головки (см. рис. 5.12):

$$\rho = \rho_1 - \rho_2$$

Глубина фрезерования

$$h = R \cos(\delta + \rho) / \cos \delta$$

При наличии фаски f глубину h берут несколько меньшей.

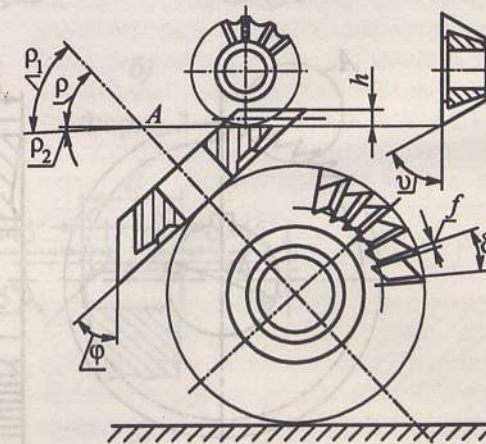


Рис. 5.12. Схема фрезерования зубьев угловой фрезы

**Фрезы прорезные (шлицевые) и отрезные (пилы).** Прорезные и отрезные фрезы – это инструменты, работающие в весьма сложных условиях резания. Нежесткая рабочая часть, наличие двух вспомогательных режущих кромок при очень короткой главной режущей кромке и без задних углов, а также малые вспомогательные углы в плане  $\phi_1$  – все это является причиной частых поломок инструментов из-за появления вибраций. Поэтому очень важно правильное назначение геометрических параметров фрез.

В зависимости от габаритных размеров эти фрезы изготавливают цельными или сборными.

**Прорезные (шлицевые) фрезы** (ГОСТ 2679–93) по конструкции мало чем отличаются от отрезных монолитных фрез. Они предназначены для прорезания неглубоких шлицев, разрезки тонких деталей, тонкостенных трубок и т.д. Число зубьев у прорезных фрез принимается значительно большим, чем у отрезных. Например, для шлицевых фрез диаметром 40...75 мм –  $z = 108...72$ , а для отрезных –  $z = 72...50$ . Для повышения стойкости зубья фрез затачивают без ленточек. При этом угол поднутрения по торцам  $\phi_1 = 5^\circ...1^\circ30'$ .

**Фрезы отрезные (пилы)** предназна-

чены для разрезки заготовок различного профиля. В настоящее время выпускают широкую номенклатуру отрезных фрез по ГОСТ 2679–93 (рис. 5.13). В зависимости от числа зубьев отрезные фрезы разбиты на следующие типы:

– *тип 1* (с мелким зубом) –  $D = 20...315$  мм,  $d_0 = 5...40$  мм,  $B = 0,2...6,0$  мм,  $z = 32...200$ ,  $\gamma = 0...10^\circ$ ;

– *тип 2* (со средним зубом) –  $D = 32...315$  мм,  $d_0 = 8...40$  мм,  $B = 0,3...6,0$  мм,  $z = 40...80$ ,  $\gamma = 0...10^\circ$ ,  $\alpha = 20^\circ$ ,  $\phi_1 = 10...30'$ ;

– *тип 3* (с крупным зубом) –  $D = 50...315$  мм,  $d_0 = 13...40$  мм,  $B = 1,0...6,0$  мм,  $z = 16...48$ ;  $\gamma = 5...10^\circ$ ,  $\alpha = 20^\circ$ ,  $\phi_1 = 30'...1^\circ$ .

Для отрезных фрез предусмотрены следующие формы зубьев: мелкие зубья, с малым радиусом ( $r = 0,1...0,5$  мм) для всего диапазона фрез (рис. 5.14, а); средние зубья с формой, как у фрез с мелким зубом, и с ленточкой по задней поверхности и задним углом  $\alpha = 20^\circ$  (рис. 5.14, б); крупные зубья с увеличенным радиусом впадины и объемом стружечной канавки.

В серийно выпускаемых фрезах всех типов шириной  $B \leq 1,6$  мм режущие зубья не имеют переходных режущих кромок (рис. 5.15, а).

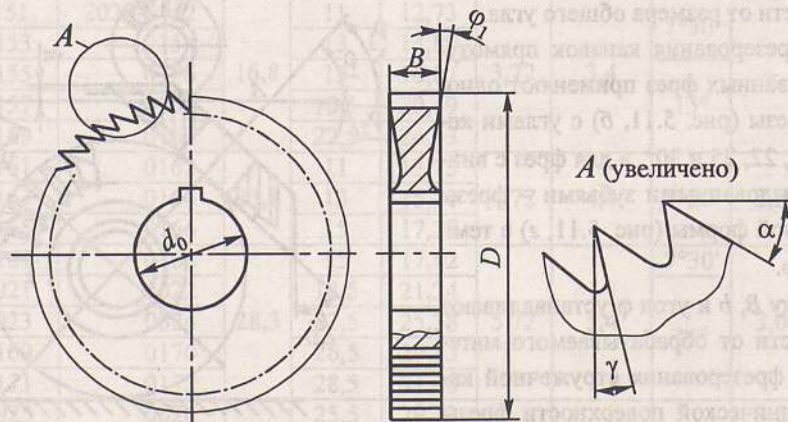


Рис. 5.13. Фреза отрезная

Для фрез со средними и крупными зубьями шириной  $B > 1,6$  мм предусмотрены две формы заточки переходных режущих кромок – форма 1 и форма 2 (рис. 5.15, б и в).

Для фрез с крупным шагом предусмотрена форма 3 (рис. 5.15, з).

У отрезных фрез смежные зубья располагаются на разных диаметрах, отличающихся на размер  $2h$ . Кроме того, на одном из смежных зубьев (прорезном) имеются широкие фаски  $c$ , а на другом – зачищающем – небольшие фаски  $c_1$ . Благодаря этому при фрезеровании обеспечивается деление стружки на три части, шириной  $1/3B$  каждая, что способствует повышению производительности обработки, особенно при отрезке заготовок большой толщины.

Размеры переходных режущих кромок зубьев отрезных фрез приведены в табл. 5.14.

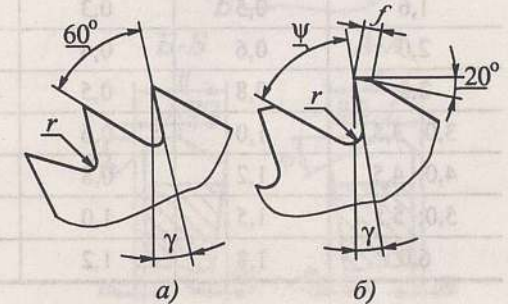
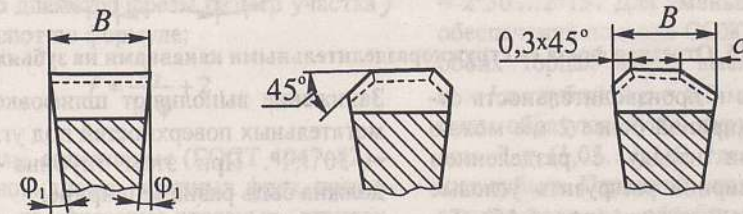


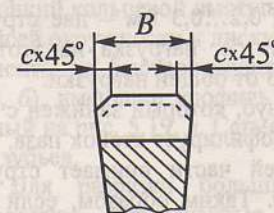
Рис. 5.14. Формы зубьев отрезных фрез

Форма 1  
Смежные зубья



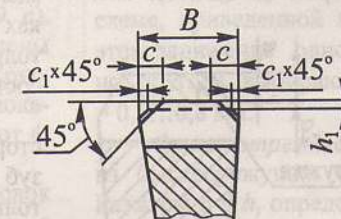
а)

Форма 2



в)

Форма 3



з)

Рис. 5.15. Формы заточки режущих кромок отрезных фрез

### 5.14. Размеры переходных режущих кромок отрезных фрез, мм (ГОСТ 2679-93)

Ширина фрезы $B$	$c$			$c_1$	$h_1$
	Форма 1	Форма 2	Форма 3	Форма 3	
1,6	0,5	0,3	0,5	0,15	0,12
2,0	0,6	0,4	0,6	0,20	0,15
2,5	0,8	0,5	0,8	0,25	0,20
3,0; 3,5	1,0	0,6	1,0	0,30	0,25
4,0; 4,5	1,2	0,8	1,2	0,40	0,30
5,0; 5,5	1,5	1,0	1,5	0,50	0,40
6,0	1,8	1,2	1,8	0,60	0,50

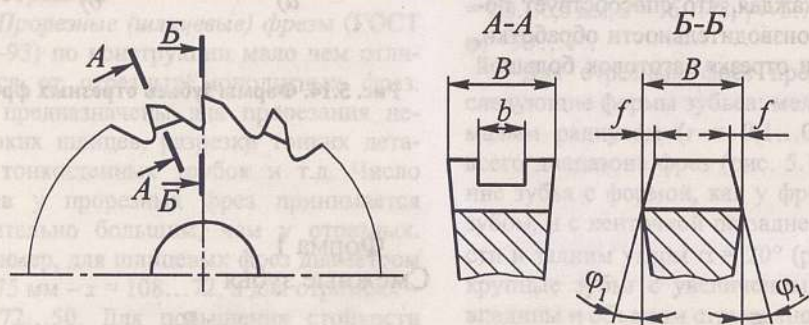


Рис. 5.16. Отрезная фреза со стружкоразделительными канавками на зубьях

Стойкость и производительность отрезных фрез шириной более 2 мм можно повысить, если наряду с разделением стружки по ширине разгрузить угловые участки режущей кромки (рис. 5.16). Такая фреза на одном из каждой пары смежных зубьев имеет канавку шириной  $b = 1/3B$ , а на другом режущая кромка занижена с обеих сторон на 0,2...0,3 мм.

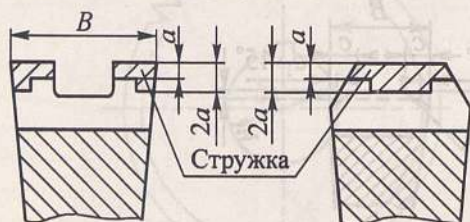


Рис. 5.17. Схема распределения стружки на зубьях фрезы со стружкоразделительными канавками

Занижение выполняют шлифовкой вспомогательных поверхностей под углом  $\varphi_1 = 30' \dots 1^\circ$ . При этом глубина канавки должна быть равна ее ширине.

В процессе фрезерования такой фрезой происходит перераспределение нагрузки на зубья (рис. 5.17). Причем зуб, имеющий канавку, профилирует паз, снимая две стружки толщиной  $a$ , а на участках шириной 0,2...0,3 мм – две стружки толщиной  $2a$ , т.е. нагрузка на этот зуб составляет 1/3 от общей нагрузки.

Второй зуб, который занижен с двух сторон, не профилирует стенку паза. Этот зуб в средней части снимает стружки толщиной  $2a$ . Таким образом, если первый зуб снимает 1/3 объема стружки, то второй – 2/3. При этом ширина стружки меньше ширины паза, и поэтому стружка свободно удаляется из зоны резания.

Более технологичная отрезная фреза, работающая по аналогичной схеме, приведена на рис. 5.18. У нее режущие зубья выполнены двухсторонними, а сочетание право- и леворежущих зубьев превращает инструмент во фрезу трехстороннего резания. Здесь каждый зуб имеет ломаную режущую кромку, центральный участок которой параллелен оси фрезы, а боковые участки расположены к ней под наклоном.

Участок со стороны угла  $\varphi$  выбирают равным половине ширины фрезы. Меньший угол  $\varphi$  назначают конструктивно –  $\varphi \leq 25^\circ$ . Большой угол  $\varphi_2$  является производным от угла  $\varphi$  и определяется по формуле:

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{B \operatorname{tg} \varphi + 2S_z}{B - 2(f + m)},$$

где  $B$  – ширина фрезы, мм;  $f$  – размер цилиндрического участка режущей кромки, мм;  $m$  – величина занижения вспомогательной режущей кромки со стороны угла  $\varphi_2$ , мм;  $S_z$  – подача, мм/зуб.

С целью обеспечения гарантированного разделения стружки и контроля наружного диаметра фрезы размер участка  $f$  определяют по формуле:

$$f = \frac{S_z}{\operatorname{tg} \varphi} + 2.$$

Пилы сегментные (ГОСТ 4047-82) – это разновидность отрезных фрез, применяемых на фрезерно-отрезных станках. При этом пилы диаметром более 250 мм делают сборными. Корпус сборной пилы выполнен в виде диска из конструкционной стали, на периферии которого имеется тонкий кольцевой выступ (рис. 5.19, а). По всей окружности к диску прикреплены сегменты из быстрорежущей стали (рис. 5.19, б), имеющие профиль зубьев, показанный на рис. 5.19, в. Сегменты имеют 4; 6; 8 зубьев.

Для резки больших заготовок применяют четырехзубые сегменты с крупным шагом. Сегмент к диску крепят при помощи заклепок, расположенных симметрично или несимметрично. Последний вариант повышает прочность

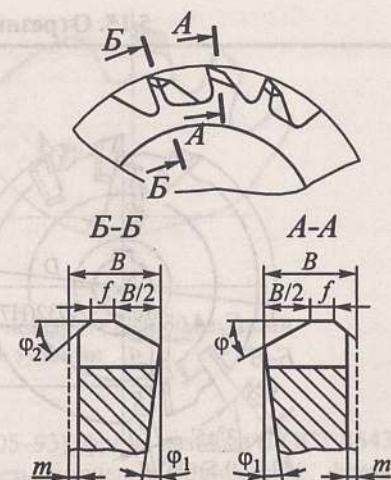


Рис. 5.18. Отрезная фреза с ломаной режущей кромкой

крепления передней части сегмента и облегчает установку сегмента на диске при монтаже.

Угол поднутрения зубьев  $\varphi_1 = 2^\circ 30' \dots 2^\circ 15'$ . Для уменьшения трения и обеспечения подвода СОЖ каждый зуб на обоих торцах имеет выемки размерами  $m \times l$  и глубиной  $p = 0,5$  мм. Спинку зуба пилы образуют дугой окружности радиусом  $R = (1,05 \dots 1,1)S$ , где  $S$  – окружной шаг зубьев. Передний угол  $\gamma$  выбирают в зависимости от обрабатываемого материала в пределах  $\gamma = 0 \dots 25^\circ$ , задний угол  $\alpha = 12 \dots 16^\circ$ ,  $r = 0,6$ , где  $h$  – высота зуба,  $h = 0,4S$ .

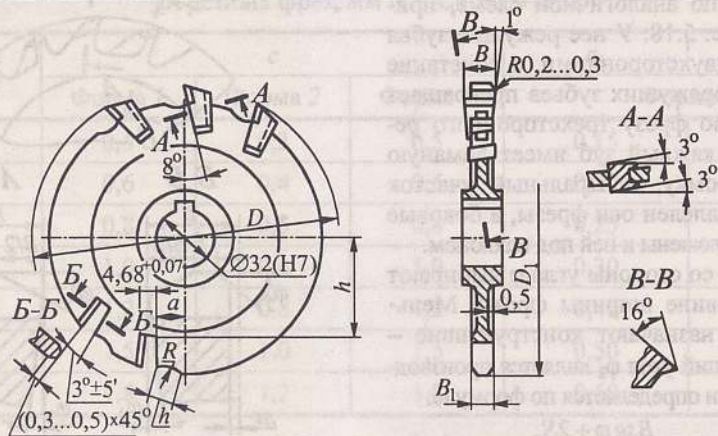
Заточку зубьев пил выполняют по схеме, приведенной на рис. 5.15, г, при этом занижение одного зуба относительно другого выбирают в пределах  $h_1 = 0,5 \dots 0,8$  мм.

Фрезы отрезные сборные с ножами из быстрорежущих сталей (табл. 5.15). Размеры  $a$  и  $h$ , определяющие расположение паза в корпусе фрезы, находят в зависимости от угла  $\gamma = 8^\circ$  по формулам:

$$a = \frac{D}{2} \sin \gamma; \quad h = \frac{D}{2} \cos \gamma.$$



5.15. Отрезные сборные фрезы, мм



D	B	z	Размеры корпусов фрезы					
			D <sub>1</sub>	B <sub>1</sub> (f9)	a ± 0,5	h ± 0,2	n	R
125	5	10	111	3,0	10,5	32,2	7	4
	6			3,5				
160	6	10	146	3,0	13,1	48,8	9	5
	7			3,5				
200	7	12	186	4,0	16,1	68,6	9	5
	8			5,0				

Примечание. Материал корпусов фрез – сталь 40X, твердость 40 HRC; материал ножей – быстрорежущая сталь, твердость 62...65 HRC.

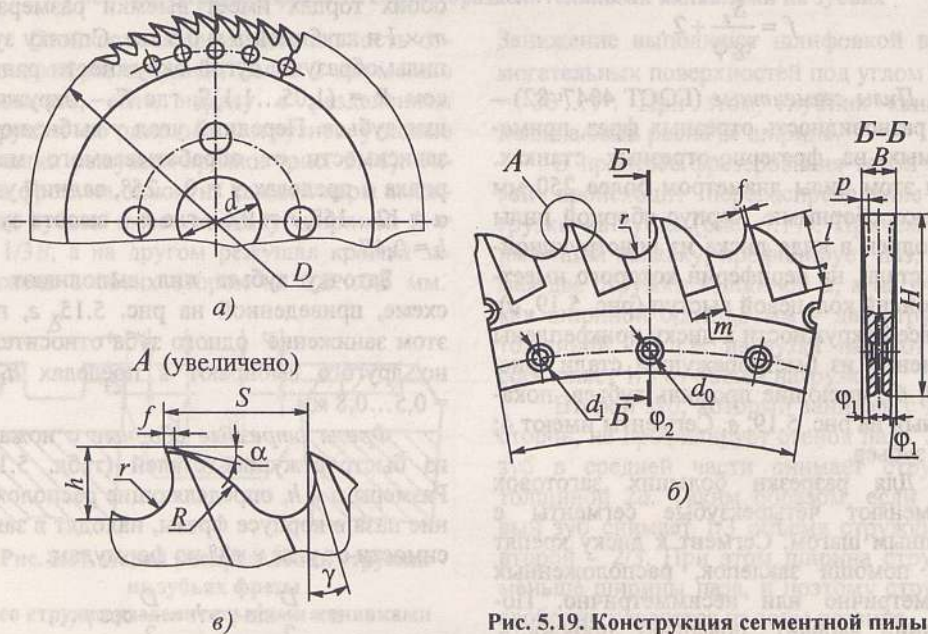


Рис. 5.19. Конструкция сегментной пилы

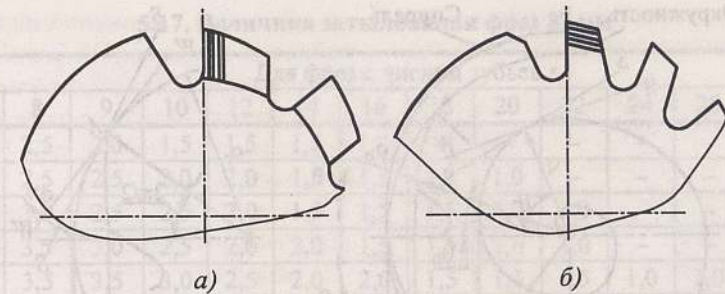


Рис. 5.20. Формы зубьев и схемы заточки фрез с затылованными и острозаточенными зубьями

Исполнительные размеры ножей приведены в табл. 5.16. Для отрезки заготовок из легких сплавов применяют отрезные фрезы по ГОСТ 16230–81.

5.3. Фрезы с затылованными зубьями

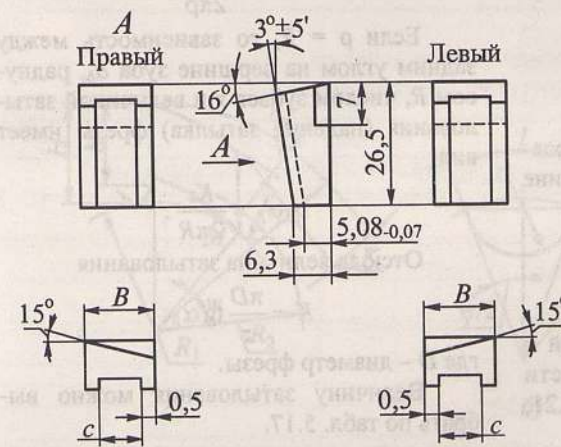
Фрезы с затылованными зубьями получили широкое распространение в промышленности и применяются в основном для обработки деталей с фасонным профилем. Почти все фрезы с затылованными зубьями стандартизованы: фрезы полу-круглые выпуклые и вогнутые (ГОСТ

9305–93), фрезы пазовые (ГОСТ 8543–71), фрезы концевые обдирочные, фрезы для нарезания зубчатых колес (см. гл. 8) и др.

**Особенности конструкции.** Фрезы с затылованными зубьями обеспечивают получение неизменного и идентичного профиля детали в течение всего периода эксплуатации инструмента. Заточка таких фрез осуществляется по передним поверхностям. При этом пространство для размещения стружки по мере переточки у затылованных фрез увеличивается (рис. 5.20, а), а у фрез с остроконечными зубьями – уменьшается (рис. 5.20, б).

5.16. Ножи для отрезных сборных фрез, размеры, мм

Номер ножа		B	c (H8)
01	1	4,5	3,0
02	2	5,0	3,5
03	3	5,5	4,0
04	4	6,5	4,0



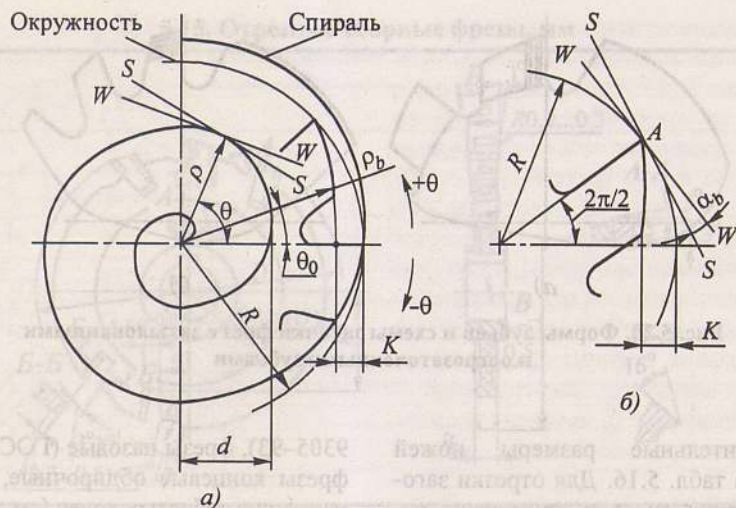


Рис. 5.21. Архимедова спираль

В качестве кривой затылования зубьев в большинстве случаев принимают Архимедову спираль, уравнение которой в полярной системе координат имеет вид (рис. 5.21, а):

$$\rho = b\theta,$$

где  $\rho$  и  $\theta$  – соответственно радиус-вектор и полярный угол в рассматриваемой точке спирали, рад;  $b$  – постоянный коэффициент (пропорциональности), характеризующий размеры спирали.

Если угол  $\theta = 2\pi$ , радиус-вектор  $\rho = a$ , тогда  $b = a/2\pi$  и поэтому уравнение Архимедовой спирали примет вид:

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

Применительно к зубу фрезы уравнение Архимедовой спирали 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. 5.21, б), равен:

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

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

Здесь угол  $\alpha$  получен с использованием формулы из дифференциальной геометрии.

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

Следовательно,

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

Если  $\rho = R$ , то зависимость между задним углом на вершине зуба  $\alpha_b$ , радиусом  $R$ , числом зубьев  $z$  и величиной затылования (падения затылка) фрезы имеет вид:

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

Отсюда величина затылования

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

где  $D$  – диаметр фрезы.

Величину затылования можно выбрать по табл. 5.17.

5.17. Величина затылования фрез  $K$ , мм

D	Для фрез с числом зубьев z													
	6	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
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	1,5	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	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	1,0	1,0	1,0
65	6,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0
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	1,5	1,0
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	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	1,5	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	1,5	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	1,5	1,5
95	8,5	6,5	5,5	5,0	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5
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	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	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	2,5	2,0
130	–	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,5	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	2,5	2,5
150	–	10,0	9,0	8,0	6,5	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,5	3,0	2,5	2,5

**Конструктивные элементы затылованных фрез.** При проектировании затылованных фрез рассчитывают наружный диаметр, диаметр посадочного отверстия, длину фрезы, число зубьев, угол и форму впадины (рис. 5.22).

Наружный диаметр при заданной высоте профиля  $h$  определяют по формуле:

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

где  $d_0$  – диаметр посадочного отверстия, мм;  $h$  – высота профиля, мм (рис. 5.22, а).

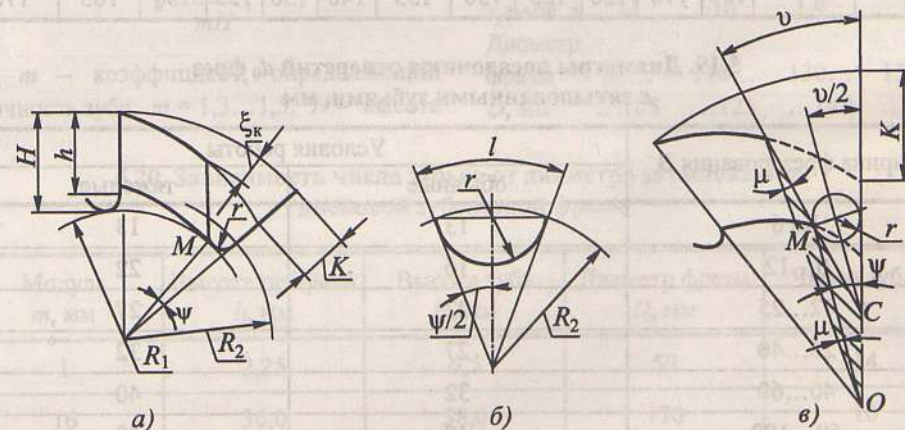


Рис. 5.22. Схема определения конструктивных элементов зуба затылованной фрезы

Меньшие значения коэффициентов при  $d_0$  принимают для фрез больших диаметров.

Полную высоту зуба определяют по формуле

$$H = h + r + K.$$

Затем проверяют толщину ступицы фрезы, которая должна соответствовать

$$a = \frac{D - d_0 - 2H}{2} \geq 0,4d_0.$$

Для предварительных расчетов наружный диаметр фрез можно выбирать из табл. 5.18.

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

5.18. Наружные диаметры фрез с затылованными зубьями, мм

$d_0$	Для высоты профиля $h$														
	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

5.19. Диаметры посадочных отверстий  $d_0$  фрез с затылованными зубьями, мм

Ширина фрезерования $B$	Условия работы	
	обычные	тяжелые
До 6	13	13
6...12	16	22
12...25	22	27
25...40	27	32
40...60	32	40
60...100	40	50

Диаметр посадочного отверстия выбирают на основании расчета оправки на прочность и виброустойчивость. При этом диаметр отверстия зависит в основном от высоты профиля зуба  $h$  и ширины фрезерования  $B$ .

Для обычных условий профильного фрезерования можно использовать данные табл. 5.19.

Радиус скругления дна впадины  $r$  влияет на прочность зубьев и играет большую роль при изготовлении фрез (рис. 5.22, б). Скругление дна впадины (рис. 5.22, в) выполняют от последней точки  $M$  затылования. Центр скругления должен лежать посередине дуги  $l$  или хорды, стягивающей центральный угол  $\psi$ . Радиус скругления  $r$  определяют по следующим формулам:

— по хорде

$$r = R_2 \sin \frac{\psi}{2};$$

— по дуге

$$r = \frac{l}{2} = 0,017 \frac{R_2 \psi}{2},$$

где  $\psi$  — центральный угол, °;  $R_2$  — радиус окружности, проходящей через точку  $M$ ,  $R_2 = 0,5D - h - \xi K$ , где  $\xi$  — коэффициент, учитывающий величину затылования в месте выхода резца из соприкосновения с зубом фрезы (например,  $\xi = 4/5$ ).

В зависимости от размера и типа фрезы, а также от характера обработки ее профиля (шлифованный или нешлифованный), радиус скругления  $r = 1...5$  мм.

Длину затылованной фрезы выбирают в зависимости от ширины профиля детали. Поэтому на практике один и тот же диаметр фрез часто бывает у группы фрез различной длины.

Число зубьев назначают таким, чтобы обеспечивалась необходимая с точки зрения прочности ширина зубьев, достигалось большее число переточек и получались канавки такой ширины, чтобы гарантировался свободный выход затыловочно-го резца и надежный отвод стружки:

$$z = \frac{\pi D}{mH},$$

где  $m$  — коэффициент, определяющий прочность зуба,  $m = 1,3...1,5$ ;  $H$  — высота

зуба, мм;  $H = h + r + K$  или  $H = h + 0,5D + (1...3)$ .

В отличие от остrokонечных фрез, число зубьев затылованных фрез (например, дисковых, зуборезных) уменьшается по мере увеличения диаметра. Это объясняется тем, что высота профиля, а следовательно, и высота зуба растут значительно быстрее, чем диаметр фрезы.

Из табл. 5.20 видно, что высота профиля  $h$  выросла в 16 раз, высота зуба  $H$  — в 5,9 раза, тогда как диаметр фрезы — лишь в 3,4 раза. Если сохранить для диаметра повышение в 5,9 раз, то он будет равен 295 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 также ориентировочными данными для фрез с нешлифованным профилем:

Число зубьев, $z$	18	16	14	12
Диаметр фрезы $D$ , мм	40	40...45	50...55	60...75

Число зубьев, $z$	11	10	9	8
Диаметр фрезы $D$ , мм	80...	110...	130...	150...
	...105	...125	...140	...230

5.20. Зависимость числа зубьев от диаметра затылованной дисковой зуборезной фрезы

Модуль $m$ , мм	Высота профиля $h$ , мм	Высота зуба $H$ , мм	Диаметр фрезы $D$ , мм	Число зубьев $z$
1	2,25	6,5	50	14
16	36,0	38,0	170	10

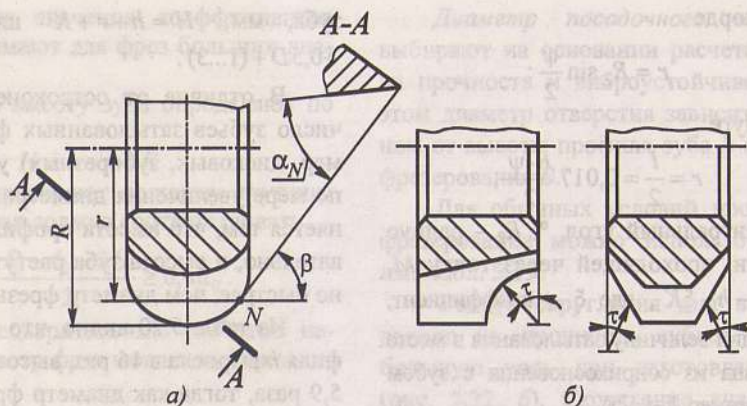


Рис. 5.23. Схема определения задних углов затылованных фрез

Задний угол (рис. 5.23) в любой точке профиля фрезы определяют по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha_N = \frac{R}{r} \operatorname{tg} \alpha_B \cos \beta,$$

где  $r$  – радиус, на котором лежит рассматриваемая точка профиля, мм;  $R$  – радиус фрезы, мм;  $\alpha_B$  – задний угол на вершине зуба фрезы, °;  $\beta$  – угол между касательной к профилю в данной точке и осью фрезы, °.

Значения углов  $\alpha_N$  даны в табл. 5.21.

5.21. Значения задних углов  $\alpha_N$ , °

Угол наклона $\beta$	Угол $\alpha_N$ при угле $\alpha_B$			Угол наклона $\beta$	Угол $\alpha_N$ при угле $\alpha_B$		
	10	12	15		10	12	15
10	9°50'	11°50'	14°50'	50	6°30'	7°30'	10°
15	9°40'	11°40'	14°30'	55	6°	7°	9°
20	9°30'	11°30'	14°	60	5°	6°	7°30'
25	9°	11°	13°30'	65	4°	5°	6°
30	8°30'	10°30'	13°	70	3°30'	4°	5°
35	8°	10°	12°30'	75	2°30'	3°	4°
40	7°30'	9°	12°	80	1°30'	2°	2°30'
45	7°	8°30'	11°	85	1°	1°	1°30'

Примечание. Угол  $\alpha_N < 2^\circ$  применять не рекомендуется.

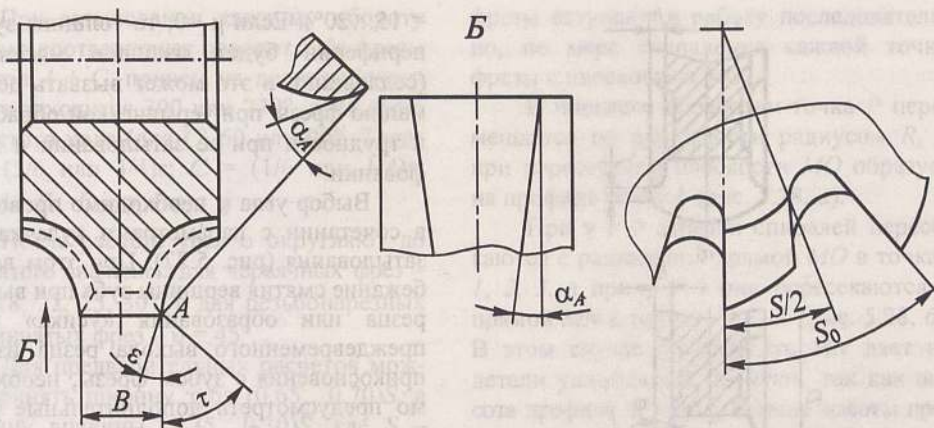


Рис. 5.24. Схема определения задних углов при угловом затыловании

При угловом затыловании угол поворота  $\tau$  суппорта затыловочного станка определяют из условия получения приемлемого заднего угла в неблагоприятной точке  $A$  профиля (рис. 5.24):

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{\operatorname{tg} \alpha_A}{\operatorname{tg} \alpha_B},$$

где  $\alpha_A$  – задний угол в плоскости, перпендикулярный к оси фрезы, °.

При положении касательной к профилю в точке  $A$  под углом  $\epsilon$

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{\operatorname{tg} \alpha_A}{\operatorname{tg} \alpha_B \cos \epsilon},$$

Искажение (сужение) профиля по ширине при переточках для фрез с закрытым профилем определяют из условия допустимого уменьшения ширины  $B$  на длине стачиваемого участка зуба:

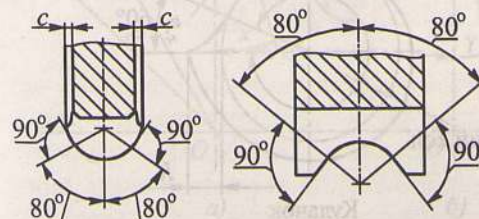


Рис. 5.25. Полуциркулярные профили зубьев фрез

$$l_c = \frac{S}{2} = \frac{\pi D}{2z}.$$

Допустимое значение угла  $\alpha_A$  определяют по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha_A = \frac{\Delta z}{\pi D},$$

где  $\Delta z$  – допустимое уменьшение размера  $B$ , мм.

С учетом значения допустимого угла  $\alpha_A$  угол  $\tau$  в точке  $A$  для случая, показанного на рис. 5.24, определяют по формулам:

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{\Delta z}{\pi D \operatorname{tg} \alpha_B} \quad \text{при } \epsilon = 0;$$

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{\Delta z}{\pi D \operatorname{tg} \alpha_B \cos \epsilon} \quad \text{при } 0 < \epsilon < 90^\circ.$$

При обработке фасонных поверхностей затылованными фрезами необходимо, чтобы угол  $\alpha_N \geq 3^\circ$ .

С целью увеличения угла  $\epsilon$  профиль у торца выпуклых и вогнутых радиусных фрез очерчивают только в пределах угла  $80^\circ$  по обе стороны сил симметрии (рис. 5.25). Торцовые выточки  $c = 0,5$  мм при  $B = 5 \dots 14$  мм,  $c = 0,8$  мм при  $B = 15 \dots 24$  мм и  $c = 1$  мм при  $B = 16 \dots 60$  мм.

У фрез для обработки глубоких пазов (рис. 5.26, а) затылуют наружные выточки глубиной  $h = 0,4 \dots 1,0$  мм и при этом оставляют плоскую ленточку шириной  $f = 1,0 \dots 1,5$  мм, угол  $\phi = 1 \dots 2^\circ$  (рис. 5.26, б).

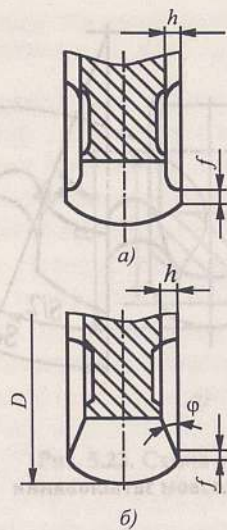


Рис. 5.26. Профиль зубьев фрез для обработки глубоких пазов

Угол впадины между зубьями. Согласно рис. 5.22, в, угол впадины  $\nu$  определяют по формуле:

$$\nu = \mu + \psi.$$

Для достаточной прочности сточенного зуба сторона впадины у спинки зуба должна быть наклонена под углом  $\mu$  к радиальной прямой, проходящей через последнюю точку на вершине зуба ( $\mu =$

$= 15...20^\circ$ ). Если  $\mu = 0$ , то толщина зуба у периферии будет излишне массивной (седловина), и это может вызвать деформацию фрезы при термической обработке и трудности при ее затыловании и шлифовании.

Выбор угла  $\psi$  необходимо проводить в сочетании с параметрами кулачка для затылования (рис. 5.27). При этом во избежание смятия вершины зуба при выходе резца или образования «усика» из-за преждевременного выхода резца из соприкосновения с зубом фрезы, необходимо предусмотреть дополнительные углы  $\phi_1$  и  $\phi_2$  на перебег резца.

Начало рабочего хода резца совпадает с линией  $O - I$ , а конец – с линией  $O - IV$ , отстоящей на угол  $\phi_2$  от линии  $O - III$ , проведенной через последнюю точку  $M$  нижней кривой затылования. Сумма углов  $\phi_1 + \phi_2 = E = 1,5...2,0^\circ$ . Угол  $A$ , равный  $\phi + E$ , соответствует рабочему ходу резца, а угол  $C$  – холостому ходу резца. Отношение  $A/C$  зависит от формы кулачка. На практике встречаются кулачки с углом 60

или  $90^\circ$ , т.е.  $\frac{A+C}{C} = 6$  или 4.

Кулачки с участком холостого хода под углом  $60^\circ$  широко применяют на практике для затылования фрез с обычной формой впадины, а под углом  $90^\circ$  – для фрез со шлифованным профилем.

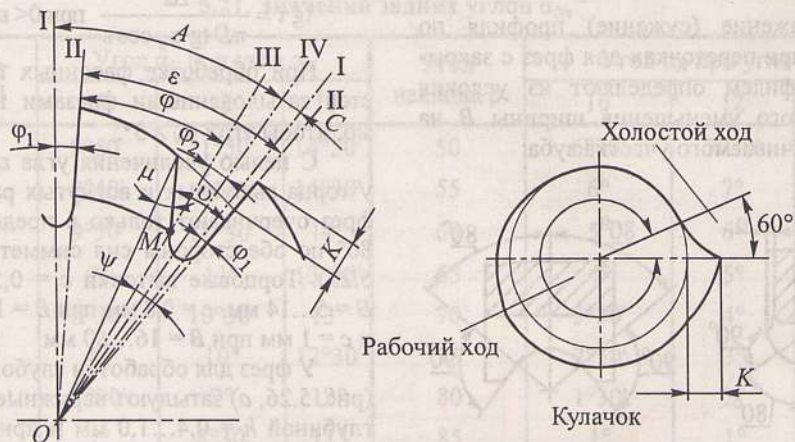


Рис. 5.27. Схема для определения зависимости между параметрами зуба затылованной фрезы и кулачка для затылования

При затыловании каждому обороту кулачка соответствует поворот зуба фрезы на угол  $A + C$ , причем на долю рабочего хода приходится  $300$  или  $270^\circ$ , а на долю холостого хода (для  $C$ )  $60$  или  $90^\circ$ . Тогда  $A = (5/6$  или  $3/4)E$ ;  $C = (1/6$  или  $1/4)E$ ;  $\phi = A - E$ ;  $E = \phi_1 + \phi_2$ ;  $\psi = \varepsilon - \phi$ .

После расчета угол  $\nu$  округляют до принятого значения: для червячных фрез –  $\nu = 18, 22, 25, 30^\circ$ , а для резьбонарезных гребенчатых фрез –  $\nu = 45^\circ$ .

Для предварительных расчетов можно принять ширину зуба  $(0,65...0,70)S$ , а ширину впадины  $(0,35...0,30)S$ , где  $S$  – окружной шаг.

**Фрезы затылованные с передним углом  $\gamma \geq 0$ .** Затылованные фрезы в основном изготавливают с передним углом  $\gamma = 0$ . Однако, если  $\gamma > 0$ , то профиль затылованной фрезы проверяют по передней грани шаблоном и подвергают корректированию.

При угле  $\gamma = 0$  профиль формируется одновременно по всем точкам  $I, 2, 3$  и т.д. (рис. 5.28, б), так как все они расположены в диаметральной плоскости  $MO$ , перпендикулярной к направлению фрезерования.

При  $\gamma > 0$  точки режущей кромки зуба

фрезы вступают в работу последовательно, по мере совпадения каждой точки фрезы с плоскостью  $MO$ .

В процессе обработки точка  $P$  перемещается по окружности радиусом  $R_x$  и при пересечении плоскости  $MO$  образует на профиле точку  $L$  (рис. 5.28, а).

При  $\gamma = 0$  отрезки спиралей пересекаются с радиальной прямой  $MO$  в точках  $I, 2, 3$ , а при  $\gamma > 0$  они пересекаются с прямой  $MN$  в точках  $I', 2', 3'$  (рис. 5.28, б). В этом случае поверхность  $MN$  дает на детали удлиненный профиль, так как высота профиля детали  $h_d$  больше высоты профиля зуба фрезы  $h$ . Для того чтобы  $h_d = h$ , необходимо проводить корректирование профиля фрезы, т.е. уменьшить его на величину  $K_x = h_d - h$ , согласно рис. 5.28, в.

Величину занижения профиля зуба фрезы для рассматриваемой точки  $P$  определяют по формуле:

$$K_x = h_d - h,$$

$$\text{где } K_x = \frac{Kz\theta_x}{360^\circ}; \theta_x = \eta_x - \gamma; \sin \eta_x = \frac{R \sin \gamma}{R_x}; R_x = R - h_d.$$

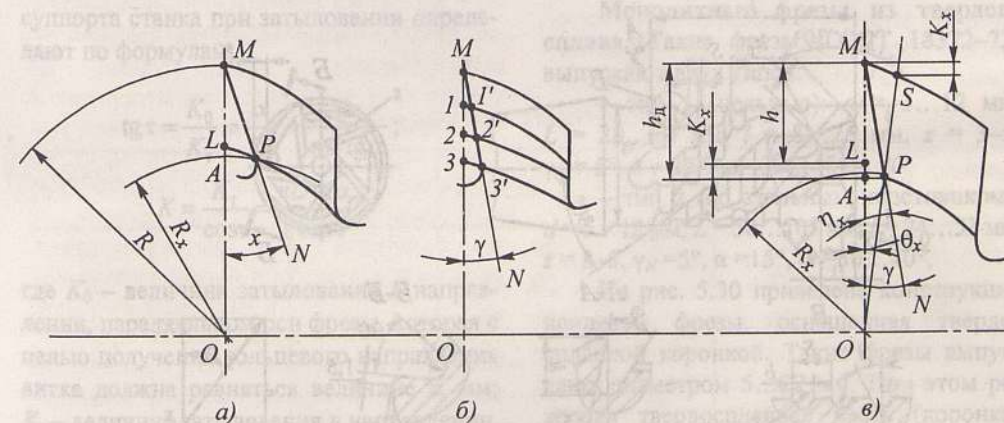


Рис. 5.28. Схема определения профиля зуба фрезы с положительным передним углом

По этим формулам, задаваясь  $R_x$ , можно найти величину занижения высоты для каждой точки профиля фрезы.

Искажение высоты профиля приводит к искажению угла профиля  $\epsilon$ . При заданном угле наклона профиля детали угол профиля  $\epsilon_d$  фрезы определяют по формуле:

$$\operatorname{tg} \epsilon = \operatorname{tg} \epsilon_d \frac{h_d}{h}$$

**Фрезы с двойным затылованием.** Такие фрезы имеют шлифованный профиль зубьев (рис. 5.29), причем шлифованные производят не на всю ширину зуба, а с оставлением некоторой ее нешлифованной части. Последнюю затылуют резцом с помощью кулачка, величина спада которого  $K_1 = (1,5 \dots 1,75)K$ , где  $K$  – величина спада кулачка, используемого для шлифованной части профиля зуба. При этом величина затылования  $K_1$  должна быть отнесена к диаметру  $D_1$  несколько большему, чем диаметр фрезы  $D$ . Если шлифованная часть составляет половину ширины зуба, то  $D_1 = D + 2a$ , где  $a = b = (K_1 - K) / 2$ .

Перед началом затылования резец находится в точке  $A$  и начинает обработку только в точке  $B$ , срезая при этом часть спинки зуба по линии  $BC$ .

### 5.22. Затылованные цилиндрические фрезы, мм

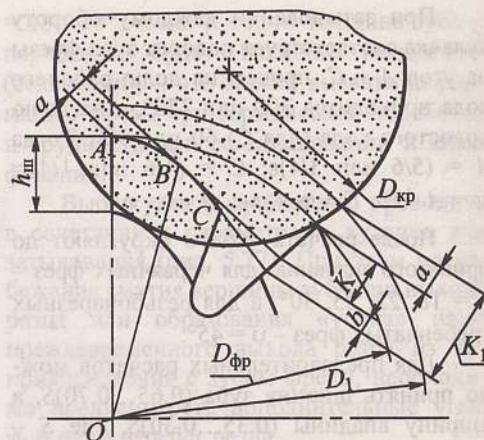
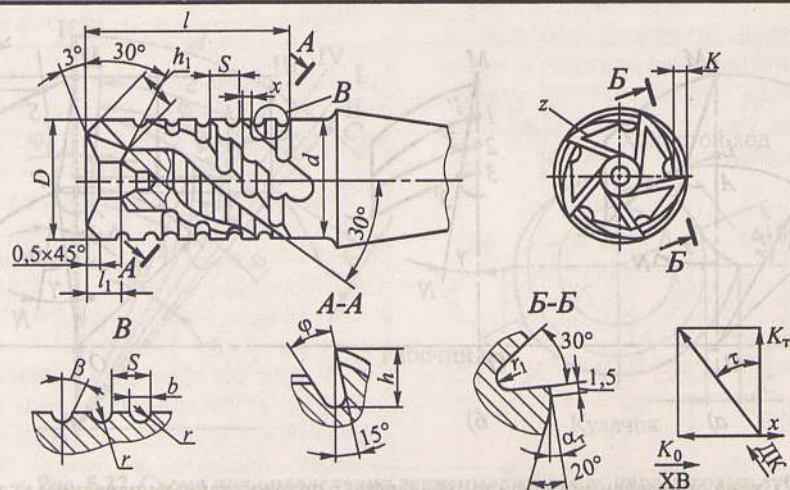


Рис. 5.29. Зуб с двойным затылованием

Наименьший диаметр шлифовального круга зависит от высоты шлифуемого профиля  $h_{ш}$  фрезы, диаметра отверстия  $d_0$  круга и ширины  $L$  зажимных фланцев:

$$D_{кр} = 2h_{ш} + 2L + d_0$$

**Фрезы цилиндрические затылованные.** Фрезы (табл. 5.22) применяют для черновой обработки плоскостей и изготавливают как насадными, так и концевыми. Для одновременной обработки

Продолжение табл. 5.22

D	d	l	$\tau$	Кулачки		S	x	z	h	h <sub>1</sub>	Конус Морзе
				K	K <sub>T</sub>						
25	23,5	50...80	15°28'	4,5	4,3	6	1,20	5	6,5	4,5	3
32	29,0	55...130	16°55'	5,5	5,3	8	1,60		8,0	6,0	4
40	30,5	65...160	14°29'	6,0	5,8	9	1,50	6	9,6	8,0	
50	44,0	70...180	13°48'	7,0	6,3	10	1,67		8	11,5	10,0
63		80...200	10°17'				6,9	1,25			
80	60,0	90...224	12°23'			15	1,50	10	13,5		6

Примечания: 1. При  $D = 25 \dots 32$  мм  $a_T = 6^\circ$ ; при  $D = 40 \dots 80$  мм  $a_T = 8^\circ$ .

2. ХВ – направление подачи по ходовому винту; ДК – направление движения по кулачку.

взаимно перпендикулярных плоскостей фрезы снабжают торцовыми зубьями. Режущие кромки зубьев находятся на кольцевых выступах трапециевидальной формы, которые смещены относительно друг друга на величину  $x$ . Последнюю выбирают такой, чтобы кольцевые выступы каждого следующего друг за другом зубьев перекрывали друг друга. Обычно  $x = 1,2 \dots 1,67$  мм. Вершины режущих кромок располагают по винтовой линии с шагом  $S = xz$ .

Спад  $K$  кулачка и угол установки суппорта станка при затыловании определяют по формулам:

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{K_0}{K_T} = \frac{x}{K_T} = \frac{xz}{\pi D \operatorname{tg} \alpha}$$

$$K = \frac{K_T}{\cos \tau} = \frac{\pi D \operatorname{tg} \alpha}{z \cos \tau}$$

где  $K_0$  – величина затылования в направлении, параллельном оси фрезы, которая с целью получения кольцевого направления витка должна равняться величине  $x$ , мм;  $K_T$  – величина затылования в направлении, перпендикулярном к оси фрезы, мм;  $\alpha$  – задний угол,  $\alpha = 6 \dots 8^\circ$ .

### 5.4. Конструктивные особенности твердосплавных фрез с остроконечными зубьями

Конструктивные особенности таких фрез обусловлены оснащением их режущими пластинами из твердого сплава различной формы: коронки, призматические и винтовые пластины, СМП. По конструктивному исполнению фрезы выпускают монолитными, с напайными пластинами, сборными, оснащенными ножами или СМП.

**Монолитные фрезы из твердого сплава.** Такие фрезы (ГОСТ 18372–73) выпускают двух типов:

– тип 1 (цельные):  $d = 3 \dots 12$  мм,  $L = 28 \dots 60$  мм,  $l = 8 \dots 25$  мм,  $z = 3 \dots 5$ ,  $\gamma_N = 5^\circ$ ,  $\alpha = 15^\circ$ ,  $\omega = 30 \dots 40^\circ$ ;

– тип 2 (со стальным хвостовиком):  $d = 5 \dots 12$  мм,  $L = 58 \dots 103$  мм,  $l = 24 \dots 53$  мм,  $z = 3 \dots 5$ ,  $\gamma_N = 5^\circ$ ,  $\alpha = 15^\circ$ ,  $\omega = 30 \dots 40^\circ$ .

На рис. 5.30 приведена конструкция концевой фрезы, оснащенная твердосплавной коронкой. Такие фрезы выпускают диаметром  $5 \dots 22$  мм. При этом режущая твердосплавная часть (коронка) имеет коническое отверстие и после установки на оправке припаивается.

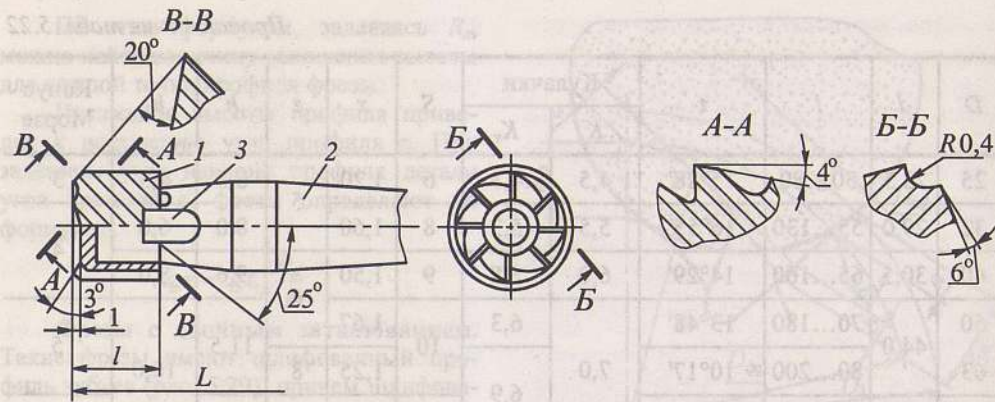


Рис. 5.30. Фреза концевая, оснащенная монолитной коронкой из твердого сплава:  
1 – коронка; 2 – хвостовик; 3 – шпонка

Для более надежного крепления коронки на оправке предусмотрена торцовая шпонка.

В зависимости от диаметра фрезы и обрабатываемого материала число зубьев монолитных фрез  $z = 3-8$ .

**Фрезы с винтовыми твердосплавными пластинами.** Такие фрезы (ГОСТ 20536-75...ГОСТ 20538-75 и ГОСТ 24637-81) применяют для фрезерования широкой номенклатуры обрабатываемых материалов.

Основными преимуществами фрез с винтовыми пластинами являются высокие стойкость и производительность. В зависимости от обрабатываемого материала передний угол в торцовом сечении изменяется в пределах  $\gamma_r = -20...20^\circ$  (и более).

Стыки между напаянными на инструменты пластинами (табл. 5.23) оформляют в виде стружколомателей, которые должны быть размещены в шахматном порядке. Для этой цели выпускаются пластины нормальной и укороченной длины.

В табл. 5.23 приведена номенклатура винтовых пластин.

Угол наклона зубьев  $\omega$  при постоянном шаге на наружном диаметре  $D$  определяют по формуле:

$$\operatorname{ctg} \omega = \operatorname{ctg} \omega_1 \frac{D_1}{D},$$

где  $\omega_1$  – угол наклона винтовой пластины, °;  $D_1$  – наружный диаметр винтовой пластины, мм;  $D$  – наружный диаметр фрезы, мм (рис. 5.31).

5.23. Размеры винтовых пластин, мм (рис. 5.31)

Диаметр фрезы $D$	Диаметры пластины		$\omega, ^\circ$	Высота $b$	Толщина $a$	Длина $l$
	$D_1$	$d$				
15	15	8	20...45	4	2	15
20	20	8	20...45	6	2,5	20
30	30	14	20...60	8	4	28
50	50	32	20...60	9	4,5	28
75	75	55	20...60	10	5	32
100	100	80	20...60	10	5	34
150	150	130	20...60	10	5	34

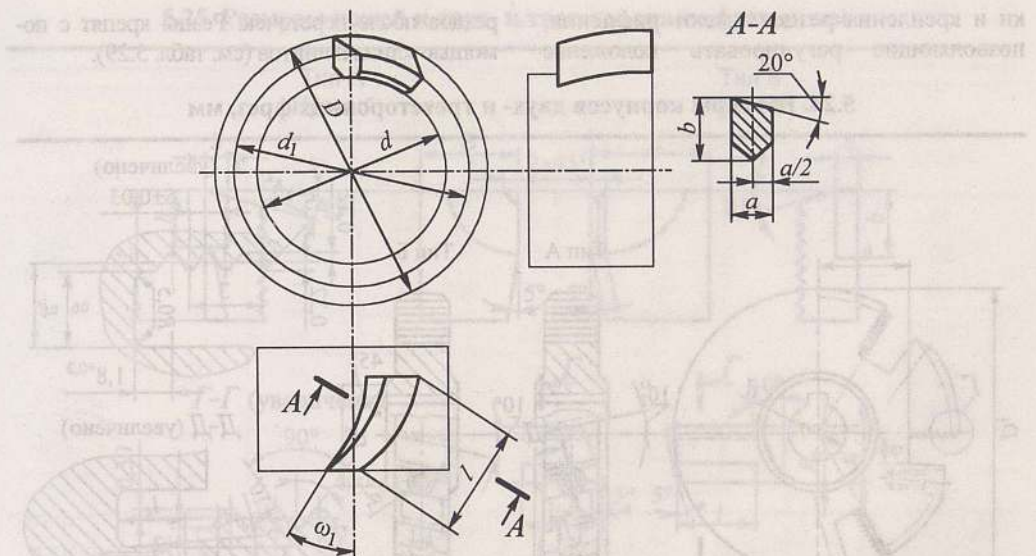


Рис. 5.31. Форма винтовой пластины

Номенклатура выпускаемых винтовых пластин позволяет изготавливать различные типы фрез (концевые, цилиндрические и др.) диаметром 10...200 мм и выше с углами наклона зубьев  $\omega = 20...60^\circ$ , а иногда и до  $70^\circ$  (для обработки труднообрабатываемых сталей и сплавов).

**Фрезы дисковые с ножами, оснащенными пластинами твердого сплава.** Такие фрезы (ГОСТ 5348-69, ГОСТ 5808-77 и ГОСТ 6469-69) изготавливают двух- и трехсторонними.

Фрезы дисковые двухсторонние изготавливают право- и леворезущими. Конструктивное исполнение узла крепления ножа позволяет проводить регулировку по диаметру и ширине фрезы. Конструктивное исполнение и основные размеры корпуса двух- и трехсторонних фрез приведены в табл. 5.24, а размеры и применяемость ножей и клиньев для их крепления – в табл. 5.25–5.27.

**Фрезы торцовые.** Торцовые фрезы, оснащенные твердым сплавом, получили наиболее широкое распространение в металлообработке. По сравнению с цилиндрическими фрезами они имеют значительный угол контакта с обрабатываемой

поверхностью, что приводит к повышению равномерности процесса фрезерования. Фрезы обеспечивают высокую производительность при наименьшем расходе энергии. Равномерность фрезерования обеспечивается в том случае, когда в процессе резания одновременно находится не менее двух зубьев. При симметричном фрезеровании это условие соблюдается в случае, когда

$$B \geq D \sin \frac{360^\circ}{z},$$

где  $B$  – ширина обрабатываемой поверхности, мм;  $D$  – диаметр, мм.

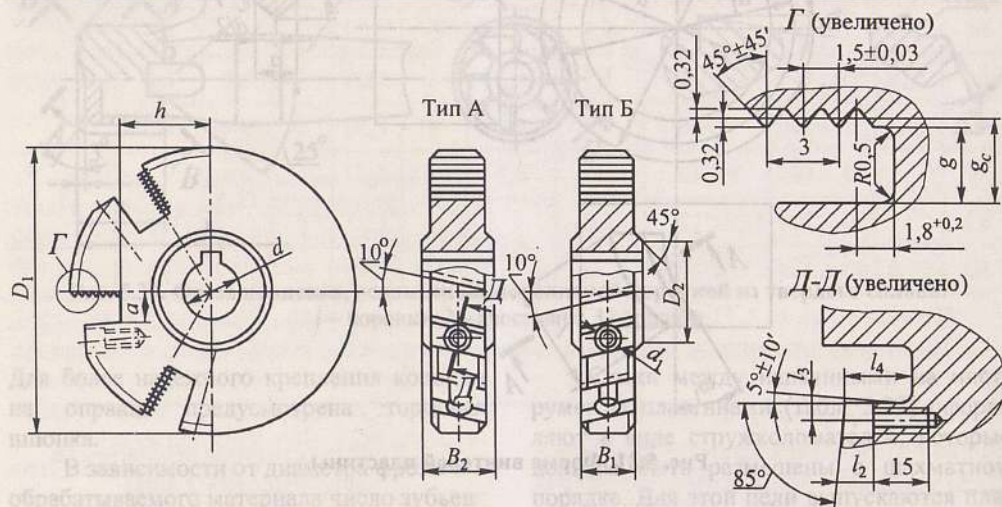
При конструировании фрез наибольшее внимание уделяется фрезам с механическим креплением твердосплавных пластин, в том числе и СМП, узлы крепления которых приведены в табл. 5.28.

Торцовые фрезы подразделяют на концевые и насадные.

**Концевые торцовые фрезы** (табл. 5.29) предназначены для чернового и получистового фрезерования. Передние углы  $\gamma_p$  и  $\gamma_{oc}$  обеспечивают установкой резцов соответствующих номеров. Пазы для установ-

ки и крепления резцов имеют рифления, позволяющие регулировать положение резцов после переточек. Резцы крепят с помощью клина и винтов (см. табл. 5.29).

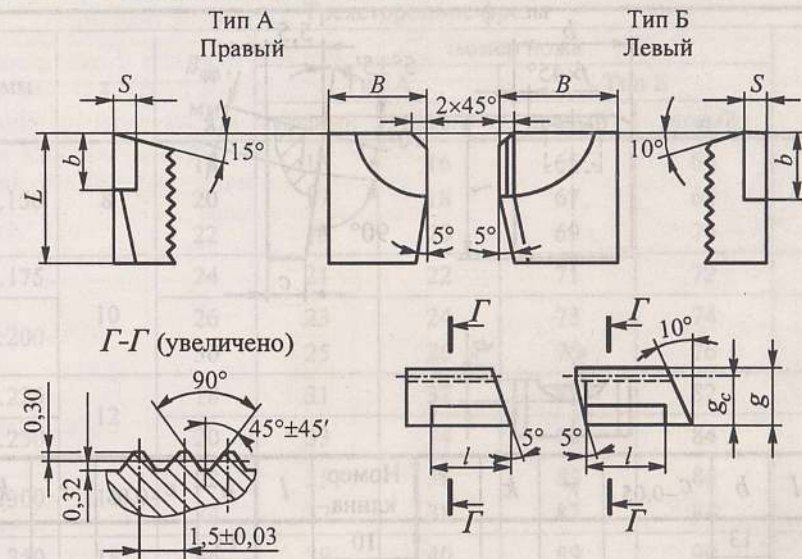
### 5.24. Размеры корпусов двух- и трехсторонних фрез, мм



D	D <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	$g \begin{pmatrix} +0,07 \\ 0 \end{pmatrix}$	$g_c \begin{pmatrix} 0 \\ -0,07 \end{pmatrix}$	d <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>	l <sub>4</sub>	Фрезы типа			
									А		Б	
									a ± 0,5	h ± 0,2	a	h
130...150	D-12	14	15,28	15,6	9,5	10	3,5	16	9,2	39,2	21,3	37,3
		21							13,0	12	4,5	10
150...175	D-13	14	17,83	18,15	9,5	10	3,5	21	11,1	61,6	27,1	59
		21							13,0	12	4,5	14
175...200	D-15	14	17,83	18,15	13	12	4,5	21	16,1	118,9	42,8	114,4
		21							18,3	143,8	49,3	138,5
200...225	D-12	17	15,28	15,6	9,5	10	3,5	16	11,8	69,1	29,9	66,1
		21							12,9	81,5	33,1	78,2
225...250	D-13	17	17,83	18,15	9,5	10	3,5	21	12,9	81,5	33,1	78,2
		25							16,1	118,9	42,8	114,4
250...300	D-15	17	17,83	18,15	13	12	4,5	21	18,3	143,8	49,3	138,5
		21							14	94	36,3	90,2
300...350	D-12	21	15,28	15,6	9,5	10	3,5	16	11,1	61,6	27,1	59
		25							12,9	81,5	33,1	78,2
350...400	D-13	21	17,83	18,15	9,5	10	3,5	21	16,1	118,9	42,8	114,4
		25							18,3	143,8	49,3	138,5

Примечание. Тип А – фрезы для обработки сталей с  $\sigma_b \geq 1400$  Н/мм<sup>2</sup>; тип Б – фрезы для обработки сталей с  $\sigma_b = 1400 \dots 1800$  Н/мм<sup>2</sup>.

### 5.25. Размеры ножей к двух- и трехсторонним фрезам, мм

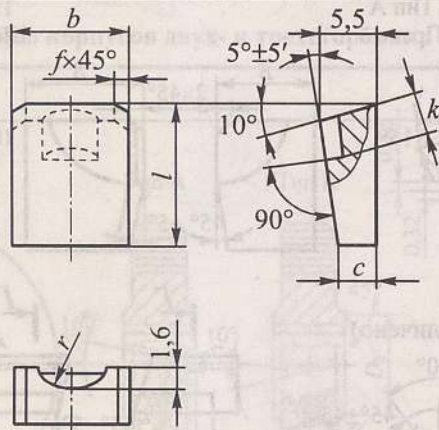


Тип фрез				L	B		$g \begin{pmatrix} 0 \\ -0,1 \end{pmatrix}$	$g_c \begin{pmatrix} 0 \\ -0,07 \end{pmatrix}$
А		Б			Тип А	Тип Б		
Обозначение ножа								
правый	левый	правый	левый					
01	02	51	52	22	10	10,5	10	9,68
03	04	53	54		12	12,5		
05	06	55	56		14	14,5		
07	08	57	58		16	16,5		
09	10	59	60		12	12,5		
11	12	61	62		14	14,5		
13	14	63	64		16	16,5		
15	16	65	66	18	18,5	12	11,68	
17	18	67	68	20	20,5			
19	20	69	70	22	22,5			
21	22	71	72	24	24,5			
23	24	73	74	26	26,5			
25	26	75	76	30	30,0			
27	28	77	78	14	14,5			
29	30	79	80	16	16,5	15	14,68	
31	32	81	82	18	18,5			
33	34	83	84	20	20,5			
35	36	85	86	22	22,5			
37	38	87	88	24	24,5			
39	40	89	90	26	26,5			
41	42	91	92	30	30,5			
43	44	93	94	30	30,5			

Примечание. Режущие пластины по ГОСТ 2209-90.



## 5.26. Размеры клиньев к двух- и трехсторонним фрезам, мм



Номер клина	l	b	c <sub>-0,05</sub>	r	k	f	Номер клина	l	b	c <sub>-0,05</sub>	r	k	f
02	15			5	7	1,5	11	15			5	7	1,5
03	16						12	16					
04	18					3,5	13	18					
05	18	4,3				1,5	14	18	3,85				3,5
06	20			6,5	9	3,5	15	20		6,5	9		1,5
07	20					1,5	16	20					3,5
08	24						17	24					1,5
09	24					3,5	18	24					3,5

## 5.27. Применение ножей и клиньев в двух- и трехсторонних дисковых фрезам

D <sub>фр.</sub> , мм	z	B <sub>фр.</sub> , мм	Номер ножа				Номер клина
			Тип А		Тип Б		
			правый	левый	правый	левый	
130...150	8	18	15	16	65	66	01
150...175	10	26	23	24	73	74	06;07
175...200							
200...225	12	22	35	36	85	86	13
225...250							
250...300	14	30	43	44	93	94	17;18
300...350	18	26	39	40	89	90	15;16
350...400	20	30	43	44	93	94	17;18

Продолжение табл. 5.27

D <sub>фр.</sub> , мм	z	B <sub>фр.</sub> , мм	Номер ножа				Номер клина
			Тип А		Тип Б		
			правый	левый	правый	левый	
130...150	8	18	15	16	65	66	01
			17	18	67	68	02
			19	20	69	70	03
150...175	10	24	21	22	71	72	04;05
175...200		26	23	24	73	74	06;07
200...225	12	18	31	32	81	82	10
		225...250	20	33	34	83	84
250...300	14	22	35	36	85	86	12
300...350		24	37	38	87	88	13;14
350...400	20	30	41	42	91	92	17;18

## 5.28. Углы крепления режущих пластин из твердого сплава

Эскиз	Характеристика фрез
	<p>Двухзубые с пластинами из твердого сплава по ГОСТ 2209-90, форма 50. Пластины (l = 26 мм, b = 11 мм, S = 4 мм) устанавливаются в пазы корпуса и крепятся винтом, сжимающим пружинящую часть корпуса. Диаметр фрез D = 20...30 мм. Заточку производят в сборе.</p>

Продолжение табл. 5.28

Эскиз	Характеристика фрез
	<p>Четырехзубая торцовая с пластинами из твердого сплава по ГОСТ 2209-90, форма 50. Пластины крепят двумя фасонными планками, плотно прилегающими к пластинам с помощью двух винтов. Заточку производят в сборе</p>
	<p>Трехзубые фрезы <math>D = 38...50</math> мм и четырехзубые фрезы <math>D = 50...65</math> мм. Размеры <math>H = 26</math> мм, <math>S = 4</math> мм, <math>h</math> – конструктивный. Твердосплавные пластины крепят двумя конусными сухарями с помощью дифференциального винта</p>
	<p>Фрезы, оснащенные напайными резцами, которые установлены в наклонных пазах корпуса фрезы и прижаты к основанию и боковым сторонам двумя винтами, упирающимися в поверхность каждого резца. Размеры фрез: <math>D = 75...100</math> мм, <math>z = 6</math>; <math>D = 120...150</math> мм, <math>z = 8</math>; <math>D = 200</math> мм, <math>z = 10</math>; <math>D = 250</math> мм, <math>z = 12</math></p>

### 5.29. Торцовые концевые фрезы с ножами, оснащенными напайными твердосплавными пластинами

Обрабатываемые стали, $\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$D$ , мм	$L$ , мм	Номер резца	$\gamma_p$	$\gamma_{oc}$	$\gamma$	Номер клина
600...900	75	222	01	3°25'	-15°30'	-5°	1
	90	232	02				2
	250						
900...1300	75	222	06	-3°40'	-13°30'	-10°	1
	90	232	09				2
	250						
1300...1600	75	222	07	-9°12'	-14°20'	-15°	1
	90	232	10				2
	250						
1600...1800	75	222	08	-14°43'	-14°43'	-20°	1
	90	232	11				2
	250						

Примечание.  $\gamma_p$ ,  $\gamma_{oc}$  – передний угол соответственно в радиальном и осевом направлениях.

Насадные торцовые фрезы (рис. 5.32) по ГОСТ 24359-80 изготавливают диаметром 100...630 мм, а иногда до 1000 мм и более.

Чтобы возникающие при работе торцовых фрез радиальные силы не вырывали из корпуса фрезы ножи, они имеют трапецевидное поперечное сечение. Ножи крепят в клиновидном пазу корпуса

клиньями с углом 5°. Как ножи, так и пазы имеют гладкие контактируемые поверхности, без рифлений. В табл. 5.30 приведены элементы торцовых насадных фрез.

Для фрезерования легких сплавов применяют торцовые насадные фрезы, изготавливаемые по ГОСТ 16222-81 и ГОСТ 16223-81.

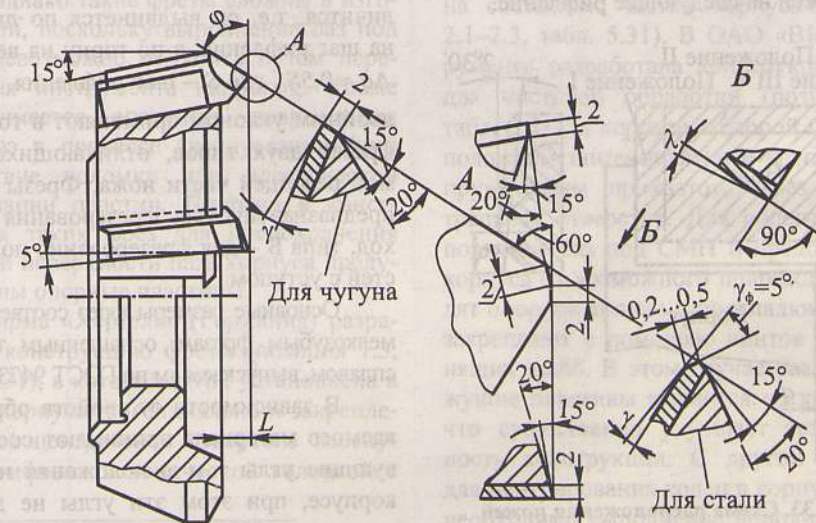


Рис. 5.32. Торцовая насадная фреза

## 5.30. Основные размеры элементов торцовых насадных фрез

Диаметр фрезы $D$ , мм	Число зубьев $z$	Вылет ножа $l$ , мм	Номер пластины	Угол в плане $\phi$ , °	Передний угол $\gamma$ , °	Угол наклона режущей кромки $\lambda$ , °
100	8	10	2003	45	3	9
125	8	12	2005			
160	10	12	2005	60	5	8
200	12	12	2005			
250	14	15	2007	75	7	7
320	18	15	2007			
400	20	17	2009	90	8	5
500	26	17	2009			
630	30	17	2009			

Фрезы торцовые с двойным уклоном (рис. 5.33) отличаются от ранее рассмотренных тем, что клиновидный нож и паз в корпусе имеют два угла: продольный угол  $5^\circ$  и угол  $2^\circ 30'$ , т.е. паз в корпусе фрезы расширяется по направлению ко дну. Угол  $2^\circ 30'$  позволяет дополнительно выдвинуть нож из корпуса при перестановке ножей на следующее рифление.

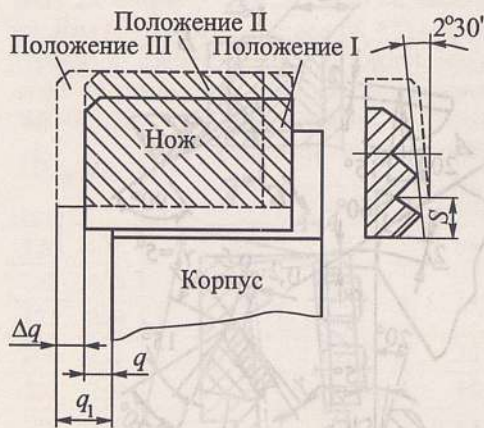


Рис. 5.33. Схема расположения ножей с двойным углом клина

Если нож, имеющий один угол  $5^\circ$ , переставить на одно рифление, то он займет положение II (см. рис. 5.33, заштриховано) и вылет его при этом не изменится. Если нож и паз имеют двойной угол (угол  $5^\circ$  и угол  $2^\circ 30'$ , то при перестановке на одно рифление нож в корпусе займет положение III и вылет его из корпуса увеличится, т.е. он выдвинется по диаметру на шаг рифления, а по торцу на величину  $\Delta q \approx 0,5S$ , где  $S$  – шаг рифления. Ножи с двойным уклоном применяют в торцовых фрезех двух типов, отличающихся формой режущей части ножа. Фрезы типа А предназначены для фрезерования напроход, типа Б – для фрезерования поверхностей с уступом.

Основные размеры фрез соответствуют мелкозубым фрезам, оснащенным твердым сплавом, выпускаемым по ГОСТ 9473–80.

В зависимости от свойств обрабатываемого материала принимают соответствующие углы  $\gamma$  и  $\omega$  положения ножей в корпусе, при этом эти углы не должны превышать  $15^\circ$ .

## 5.5. Фрезы с механическим креплением СМП\*

Торцовые фрезы с механическим креплением СМП. В механообработке применяется широкая номенклатура сборных торцовых фрез с механическим креплением режущих элементов. Существующие конструкции фрез по способу выполнения баз под режущие пластины и установку их в заданное положение можно классифицировать следующим образом (см. табл. 5.31):

- базы под СМП выполнены непосредственно на корпусе фрезы;
- базы выполнены на составных элементах корпуса фрезы;
- использование вкладышей с двумя базами под СМП;
- использование вкладышей с тремя базами под СМП;
- использование механизма регулирования для установки СМП в заданное положение;
- использование автономного механизма регулирования для установки пластин в заданное положение.

Торцовые фрезы, в которых базы под СМП выполнены непосредственно на корпусе, являются наиболее простыми и компактными (позиции 1.1–1.3, табл. 5.31). Однако такие фрезы сложны в изготовлении, поскольку выполнение баз под СМП невозможно получить путем перемещения инструмента напроход. Кроме того, имеется опасность повреждения этих баз в процессе эксплуатации фрез вследствие поломки или пластической деформации пластин. Поэтому в конструкциях таких фрез для предохранения опорной поверхности паза корпуса предусмотрены опорные пластины.

Фирма «Хертель» (Германия) разработала конструкцию фрезы (позиция 1.3, табл. 5.31), в которой СМП установлена в гнезде корпуса тангенциально и закреплена через центральное отверстие изогнутым штифтом с конической головкой с

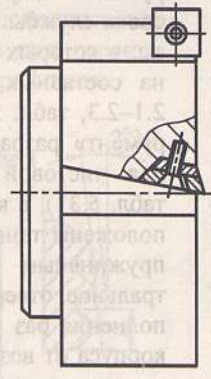
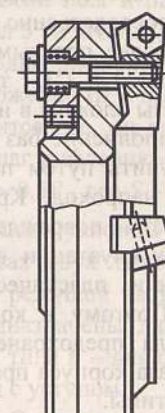
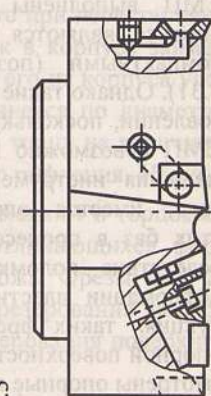
помощью винта. Тангенциальное расположение режущих пластин обеспечивает их повышенную жесткость, а механизм крепления пластин обеспечивает возможность свободного размещения стружки в стружечных канавках, вследствие чего такие фрезы могут применяться для снятия повышенных припусков в заготовках из вязких металлов. Для обеспечения низкой шероховатости обработанной поверхности на торце корпуса фрезы в наклонном пазу закреплена державка, регулируемая винтом, с зачистной пластиной, которую крепят через центральное отверстие с помощью изогнутого штифта с конической головкой.

Торцовые фрезы, в которых базы под режущие пластины выполнены непосредственно на корпусе, рекомендуется применять для относительно легких условий обработки (относительно малые диаметры фрез, обработка заготовок из цветных металлов и т.д.).

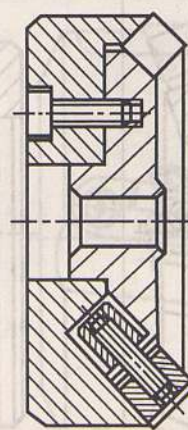
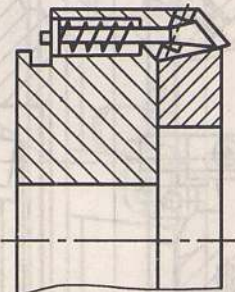
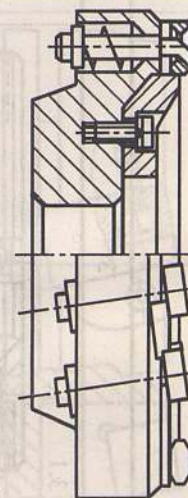
С целью исключения использования мелкогабаритных инструментов при одновременном обеспечении возможности выполнения баз путем перемещения инструмента напроход, а также увеличения срока службы корпусов разработаны фрезы, в которых базы под СМП выполнены на составных частях корпуса (позиции 2.1–2.3, табл. 5.31). В ОАО «ВНИИинструмент» разработана конструкция фрезы для чистовой обработки (позиция 2.3, табл. 5.31), в корпусе которой СМП расположены тангенциально и крепятся подпружиненным прихватом через их центральное отверстие. Для облегчения выполнения баз под СМП и предохранения корпуса от возможного повреждения вводят опорное кольцо и подкладки, которые закрепляют с помощью винтов и пружинящих шайб. В этом случае базы под режущие пластины являются «открытыми», что существенно улучшает технологичность конструкции. С другой стороны, для центрирования колец в корпусе фрезы необходимо выполнение дополнительных баз, что снижает жесткость конструкции.

\* Автор параграфа С.В. Лукина.

5.31. Сборные торцовые фрезы с механическим креплением СМП

Номер группы	Наименование группы	Варианты конструкций сборных торцевых фрез	Элементы фрезы, на которых выполнены базы под СМП	Элементы крепления СМП	Достоинства фрез	Требования к изготовлению фрез
1	2	3	4	5	6	7
1	Базы под СМП выполнены на корпусе	1.1 	Осевые или радиальные базовые поверхности выполнены на корпусе фрезы	Винт с конической головкой, эксцентрик, клин, винт	Свободный отвод стружки	Требуется высокая точность выполнения баз и расположения оси резбового отверстия относительно баз
		1.2 	Осевые или радиальные базовые поверхности выполнены на корпусе фрезы	Винт с конической головкой	Возможность использования СМП различных форм	Требуется высокая точность выполнения баз, высокая точность СМП
		1.3 	Осевые или радиальные базовые поверхности выполнены на корпусе фрезы	Изогнутый винт с конической головкой	Повышенная прочность СМП, свободное размещение стружки в канавках	Ограничения по минимальной длине режущих кромок СМП

Продолжение табл. 5.31

1	2	3	4	5	6	7
2	Базы под СМП выполнены на составных элементах корпуса фрезы	2.1 	Корпус, опорное кольцо	Клин	Увеличенное число зубьев	Расширенный допуск на изготовление клиньев и корпуса фрезы
		2.2 	Корпус, опорное кольцо	Клин	Быстрая смена СМП	Требования к точности положения профилирующих кромок
		2.3 	Опорное кольцо, подкладка	Прихват	«Открытые» базы под СМП, тангенциальное расположение СМП	Необходимость выполнения дополнительных баз в корпусе фрезы для центрирования опорных колец

Продолжение табл. 5.31

1	2	3	4	5	6	7
		3.1	Корпус, вкладыш	Клин, винт	Минимальное биение режущих кромок в сборе	Расширенный допуск на изготовление клиньев и корпуса фрезы
		3.2	Корпус, вкладыш	Клин, винт	Минимальная возможность повреждения баз на корпусе под СМП в случае их поломки	Высокая точность изготовления всех элементов конструкции фрезы
		3.3	Корпус, вкладыш	Клин, винт	Высокая жесткость и надежность крепления СМП	Расширенный допуск на изготовление крепежных элементов

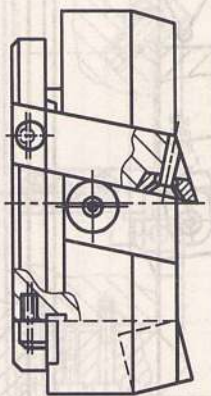
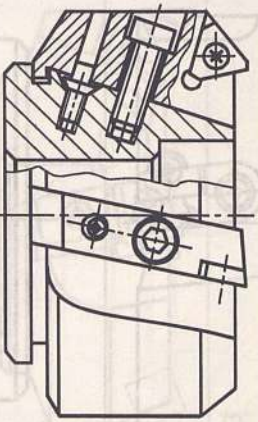
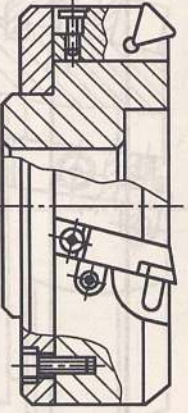
С вкладышами, имеющими две базы под СМП

Продолжение табл. 5.31

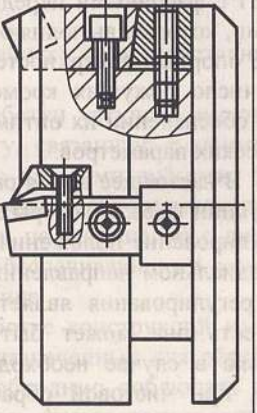
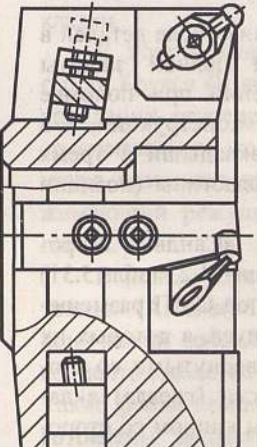
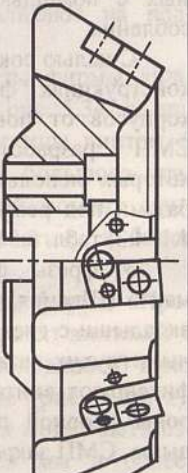
1	2	3	4	5	6	7
		4.1	Вкладыш	Клин	Устранена возможность повреждения вкладыша в случае поломки СМП	Точное выполнение пазов в корпусе по ширине и длине клиньев, баз вкладышей под СМП
		4.2	Вкладыш	Клин	Расположение клина со стороны передней поверхности СМП снижает трудоемкость изготовления фрезы	Расширенный допуск на ширину пазов в корпусе и клиньев
		4.3	Вкладыш	Прихват	«Открытые» базы под СМП	Необходимость выполнения дополнительных фрез для центрирования опорных колес

С вкладышами, имеющими три базы СМП

Продолжение табл. 5.31

1	2	3	4	5	6	7	
5	С механизмом регулирования для установки СМП в заданное положение	5.1		Вкладыш	Винт с конической головкой	Возможность использования для черновой и чистовой обработки	Регулирование положения вершин режущих кромок обеспечивается поворотом эксцентрика
		5.2		Вкладыш	Винт с конической головкой	Возможность использования для черновой и чистовой обработки	Регулирование положения вершин режущих кромок обеспечивается поворотом винта
		5.3		Вкладыш	Клин, дифференциальный винт	Повышенная прочность регулировочного элемента	Регулировочный элемент не воспринимает действия составляющих сил резания

Продолжение табл. 5.31

1	2	3	4	5	6	7	
6	С автономным механизмом регулирования для установки СМП в заданное положение	6.1		Вкладыш	Прихват, винт	Использование СМП из сверхтвердых материалов на основе кубического нитрида бора	Высокая точность базирования вкладышей в осевом направлении
		6.2		Вкладыш	T-образный прихват	Использование СМП из сверхтвердых материалов на основе кубического нитрида бора, возможность настройки фрезы на ступенчатую схему резания	Торцовое биение режущих кромок в пределах 2...5 мкм
		6.3		Два вкладыша	Изогнутый штифт с конической головкой	Использование режущих пластин с фасонной передней поверхностью, тангенциальное расположение СМП	Высокая точность базирования вкладышей в осевом направлении

Для увеличения сроков службы корпусов разработаны конструкции фрез, в которых использованы вкладыши с двумя или тремя базами под СМП. Точную установку вкладышей в пазах осуществляют путем их регулирования или за счет точного выполнения опорных поверхностей вкладышей и корпусов. Вкладыши, на которые устанавливаются СМП, могут быть изготовлены с «открытыми» или «закрытыми» базами (позиции 3.1–3.3, табл. 5.31).

У фрезы фирмы «Ричард Ллойд» (Англия) (позиция 3.1, табл. 5.31) в пазах корпуса размещены тонкие планки (вкладыши) с пазом для базирования пластин по двум граням. Вкладыши, имеющие непараллельные широкие стороны, закрепляют в пазу корпуса клином с помощью двух винтов. Третий промежуточный винт служит для выталкивания клина из корпуса фрезы. Клин является одновременно и опорой для СМП. Режущую пластину закрепляют с одной стороны передней поверхности клином и винтом. Биение режущих кромок зубьев фрезы в сборе может быть установлено минимальным благодаря наличию вкладышей, регулируемых с помощью специального приспособления.

С целью сокращения числа деталей в конструкциях фрез и полной защиты корпусов от повреждений при поломке СМП разработаны конструкции, в которых используют вкладыши с тремя базами под режущие пластины (позиции 4.1–4.3, табл. 5.31).

У фрезы фирмы «Сандвик Коромант» (Швеция) (позиция 4.2, табл. 5.31) вкладыши с гнездами под СМП размещены в глухих пазах корпуса, в которых их фиксируют винтами, ввернутыми со стороны опорной плоскости (гнезда) вкладыша. СМП закреплены клином со стороны передних поверхностей. В осевом и радиальном направлениях вкладыши упираются своими выступами в поверхности глухих пазов. Расположение клиньев со стороны передних поверхностей пластин снижает трудоемкость изготовления фре-

зы (расширяются допуски на ширину пазов в корпусе и клиньев), но в этой конструкции возможно повреждение вкладышей в случае поломки режущих пластин.

В настоящее время разработаны конструкции фрез, в которых использование регулировочных элементов является обязательным при эксплуатации фрез независимо от условий обработки (позиции 5.1–5.3, табл. 5.31).

Фирма «Хертель» (Германия) разработала конструкцию фрезы (позиция 5.3, табл. 5.31) с тангенциальным расположением СМП, в которой используют два вкладыша, имеющие по одной базе под пластину. Первый фиксируют в гнезде корпуса штифтом, а второй вкладыш, в котором размещен винт для регулирования положения вкладыша в осевом направлении, фиксируют винтом. Вкладыш в осевом направлении регулируют при повороте винта за счет контакта его конического участка с коническим углублением на корпусе (при этом оси конусов смещены относительно друг друга). СМП крепят через их центральные отверстия изогнутыми штифтами с коническими головками с помощью винтов. Применение вкладышей позволило использовать СМП с фасонными передними поверхностями, которые выполняют также и функцию опорных поверхностей, что увеличило число режущих кромок на пластине при обеспечении их оптимальных геометрических параметров.

В настоящее время разработаны конструкции фрез, в которых предусмотрено регулирование положения СМП в осевом и радиальном направлениях. Причем схема регулирования является автономной, то есть она может быть использована только в случае необходимости, например, при чистовой обработке (позиции 6.1–6.3, табл. 5.31). Регулирование положения пластин производится за счет эксцентрика, клина или дифференциального винта. Данный способ крепления режущих элементов наиболее целесообразно использовать у фрез с большим числом

зубьев и работающих на высоких скоростях резания, что позволяет снизить вибрацию инструмента. Основной задачей при проектировании таких фрез является обеспечение жесткой связи между элементами конструкции при одновременном обеспечении возможности регулирования.

Фирмой «Вальтер» (Германия) разработана конструкция фрезы (позиция 6.2, табл. 5.31), в пазах корпуса которой вкладыши закрепляют винтами. В осевом направлении вкладыши упираются в стенки пазов, пересекающих продольные пазы корпуса. СМП закрепляют на вкладышах винтами через центральные отверстия. В случае применения фрез для чистовой обработки используют регулировочные винты, оси которых смещены относительно осей конических отверстий в корпусе. При повороте винтов вследствие контакта конических участков на корпусе и винтах, последние изгибаются за счет зазоров в резьбовых соединениях и упругого деформирования и, контактируя со стенками пазов на вкладышах, перемещают его вдоль пазов корпуса.

**Концевые фрезы.** Конструкции сборных концевых фрез группируют по типам обрабатываемых поверхностей:

- для обработки уступов, имеющих малую высоту;
- для обработки пространственных поверхностей;
- для обработки уступов, имеющих большую высоту, связанную с применением фрез: а) с прямыми зубьями; б) с прямыми зубьями, обеспечивающими деление стружки по ширине; в) с винтовыми зубьями, обеспечивающими деление стружки по ширине.

При разработке конструкций концевых фрез, предназначенных для обработки уступов, необходимо соблюдать следующие условия: фрезы должны иметь минимальный диаметр и главный угол в плане  $\varphi = 90^\circ$ . При этом элементы крепления не должны выходить за пределы диаметра режущей части фрезы.

Вследствие ограниченных конструк-

тивных возможностей из-за малых габаритных размеров концевых фрез базы под СМП выполняют непосредственно в их корпусах. Конструкции концевых фрез различаются только методами крепления СМП.

В концевой фрезе фирмы «Джанин» (Франция), показанной на рис. 5.34, а, режущие твердосплавные пластины 2, установленные в гнезде корпуса 1, затягиваются специальными клиньями 3, которые своей цилиндрической резьбовой частью пропущены через отверстия корпуса в осевом направлении. В специально выполненных углублениях корпуса вставлены гайки 4, навинченные на резьбовую часть клина. При вращении гайки клин, перемещаясь, закрепляет СМП. Однако данная конструкция не обеспечивает получения концевых фрез диаметром меньше 25...30 мм.

Конструкция концевой фрезы фирмы «Сандвик Коромант» является более удачной (рис. 5.34, б). Здесь трехгранные СМП 2, установленные в гнездах корпуса 1, крепят подпружиненным прихватом 5 и винтом 6. Для устранения механических повреждений корпусов фрез больших диаметров СМП устанавливают на подкладки.

В конструкции фрезы фирмы «Фалгерста Брукс» (Швеция) (рис. 5.34, в) при креплении режущей пластины винтом 8 со специальной головкой большого диаметра возникает крутящий момент, прижимающий режущую пластину к базам гнезда.

В конструкции фрезы фирмы «Протолит» (Англия) СМП крепят винтом 8 с конической головкой, проходящим через ее центральное отверстие (рис. 5.34, г). Такие фрезы компактны и могут быть изготовлены диаметром 20 мм и более. Причем фрезы меньшего диаметра изготавливают однозубыми.

Следует отметить, что в описанных конструкциях концевых фрез выполнение баз в «закрытых» гнездах под СМП представляет

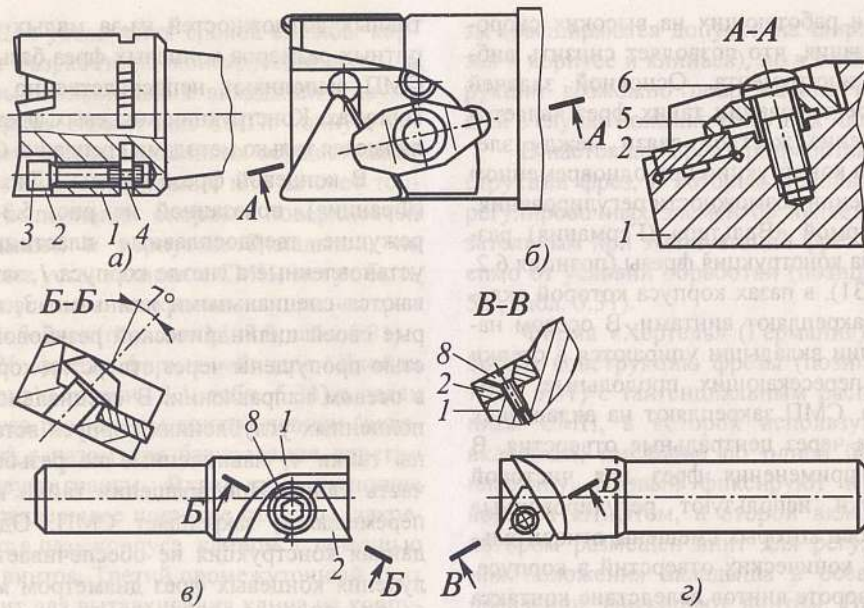


Рис. 5.34. Концевые фрезы с механическим креплением СМП:

а – фирмы «Джанин»; б – фирмы «Сандвик Коромант»;

в – фирмы «Фагерста Брукс»; г – фирмы «Протолитэ»

значительные технологические трудности.

Для обработки высоких уступов разработаны специальные фрезы с механическим креплением СМП. Так, например, фирмой «Вессон» (США) разработана конструкция концевой фрезы (рис. 5.35, а), предназначенной для обработки усту-

пов, высота которых не превышает 30 мм. Две режущие пластины 2 закреплены в гнездах корпуса 1 прижимной планкой 3 и винтами 4. При работе такими фрезами вследствие малого числа зубьев и относительно малого диаметра фрезы (до 30 мм) автоколебания не возникают.

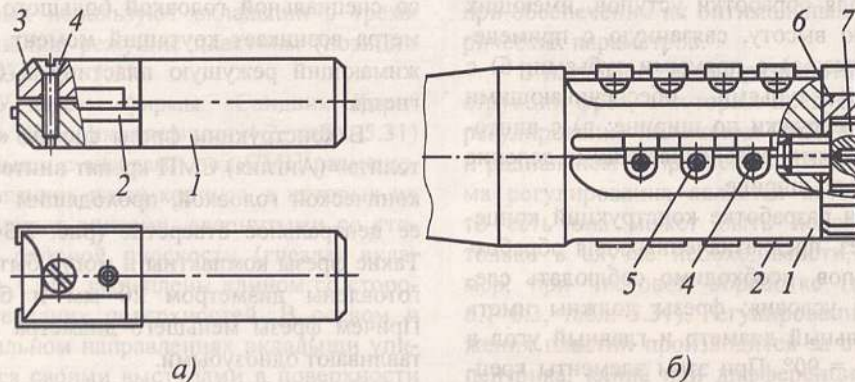


Рис. 5.35. Концевые фрезы для обработки высоких уступов: а – фирмы «Вессон»; б – фирмы «Хайнляйн»

При относительно большой ширине срезаемой стружки и малом числе зубьев в случае недостаточной жесткости технологической системы возникают вынужденные колебания (динамические удары, рывки узлов системы). С целью устранения этих недостатков фирмой «Хайнляйн» (Германия) разработана конструкция концевой фрезы с механическим креплением многогранных пластин (рис. 5.35, б). Четырехгранные пластины 2 закреплены на некотором расстоянии друг от друга круглыми клиньями 5 и винтами 4 в прямых пазах корпуса 1. Торцовые СМП закреплены клиньями 5 на сменном диске 6, который закрепляют на корпусе винтом 7. При этом базами для торцовых пластин в осевом направлении служит торец корпуса. Пластины, расположенные на основном цилиндре, не требуют баз в осевом направлении, так как они установлены с перекрытием относительно друг друга и практически не воспринимают осевых нагрузок. В этой конструкции выполнение баз несложное, так как они являются «открытыми», вследствие этого точность их выполнения повышается. В случае выкрашивания одной СМП не требуется снятия фрезы со станка для переточки. Необходимо только заменить пластину новой, что можно осуществить непосредственно на станке. Этими фрезами можно обрабатывать уступы высотой 100 мм и выше без возникновения колебаний. Однако в случае большой высоты уступа и относительно малого припуска при работе прямозубой фрезой в момент входа зуба в заготовку возникают рывки узлов технологической системы. Кроме того, появляется возможность повреждения корпуса фрезы в случае поломки режущей пластины.

Для устранения этих недостатков в нашей стране разработана фреза (рис. 5.36, а), в корпусе 1 которой круглые вкладыши 3 с СМП 2 размещены по винтовой линии и закреплены с помощью дифференциальных винтов 5 круглыми клиньями 4 с лысками. Форма вкладышей и клиньев позволяет расположить по диаметру большое число пластин (зубьев) без ослабления перемишки в корпусе фрезы. Такая фреза требует достаточно точного исполнения вкладышей (особенно по глубине), а также несквозных отверстий под них в корпусе или индивидуальной подгонки вкладышей под каждое отверстие, что в этом случае существенно усложняет эксплуатацию фрезы.

Серьезным недостатком этой фрезы так же, как и фрезы фирмы «Хайнляйн», является то, что при обработке заготовок из вязких материалов с относительно большими припусками будет иметь место «пакетирование» стружки из-за небольших размеров стружкоотводящих каналов, ограниченных размерами СМП и крепежных элементов.

Концевая фреза фирмы «Видиа Крупп» (Германия), в корпусе 1 которой выполнены базы под четырехгранные СМП 2, расположенные относительно друг друга в пазах по винтовой линии (рис. 5.36, б). СМП крепят через их центральные отверстия винтами 6 с коническими головками. Торцовые СМП располагают на вкладыше 7, который закрепляют в корпусе винтом 8. Для устранения смещения торцовых пластин в осевом направлении вкладыши имеют дополнительную базу под пластины. Такая фреза отличается сложностью изготовления. В частности, необходимо точное расположение резьбовых отверстий в корпусе относительно баз под пластины. Выполнение вкладыша наряду с увеличением трудоемкости изготовления фрезы снижает жесткость ее конструкции.

Конструкция фрезы фирмы «Вальтер», в которой исключен торцовый вкладыш, показана на рис. 5.36, в. Для устранения смещения торцовых пластин в осевом направлении в корпусе фрезы 1 запрессованы штифты 9, в которые упираются торцовые пластины. Эта фреза менее трудоемка в изготовлении и отличается большей жесткостью.

Фирмой «Сандвик Коромант» разработана концевая фреза с тангенциальным



расположением СМП по винтовой линии (рис. 5.36, з). Такое расположение пластин повышает их эксплуатационную прочность. При этом пластины на задних поверхностях имеют рифления, которые способствуют дополнительному дроблению стружки по ширине, а, следовательно, устраняют возникновение вибраций. Режущие пластины 2 на корпусе 1 крепят через отверстия в них винтами 6. Пластины в двух смежных пазах смещены относительно друг друга на шаг рифления. Для уменьшения сил резания пластины имеют положительные передние углы. Эти фрезы изготавливают диаметром  $d = 50 \dots 80$  мм с длиной рабочей части, равной  $(1,1 \dots 1,3)d$ . Они отличаются высокой трудоемкостью изготовления (сложность выполнения баз на корпусе под СМП, высокая точность расположения резьбовых отверстий относительно баз и др.). В процессе эксплуатации этих фрез возможно повреждение их корпусов в случае поломки СМП.

С целью повышения долговечности корпуса фирмой «Хертель» разработана концевая фреза с тангенциальным расположением СМП с использованием подкладок (рис. 5.36, д). Здесь режущие пластины 2 на корпусе 1 крепят через отверстие в них изогнутыми штифтами с коническими головками 10 с помощью винтов 11. Г-образные подкладки 12 под СМП закрепляют на корпусе винтами.

Анализ конструкций концевых фрез с механическим креплением СМП показывает, что в этих фрезах основными способами крепления режущих пластин являются крепление прихватом и крепление пластин винтами через их центральные отверстия.

**Дисковые фрезы.** Двух- и трехсторонние дисковые фрезы предназначены для обработки заготовок с уступами и пазами. До настоящего времени с целью повышения производительности обработки в основном применяли сборные дисковые фрезы с механическим креплением ножей, на которые напаяны твердсплав-

ные режущие пластины. Такие фрезы компактны и обеспечивают удовлетворительный стружкоотвод.

Конструкции дисковых фрез группируют по способам выполнения баз под СМП и установке их в заданное положение:

- базы выполнены непосредственно в корпусе фрезы;

- используются вкладыши, которые устанавливают с помощью специального приспособления;

- используются вкладыши, которые устанавливают с помощью регулирующего механизма, введенного в конструкцию фрезы.

Дисковые двухсторонние фрезы с механическим креплением СМП в основном аналогичны торцевым фрезам. Исключением являются лишь фрезы для обработки двух взаимно перпендикулярных поверхностей в относительно узких пазах или комплекты фрез. Дисковая фреза конструкции ОАО «ВНИИинструмент» с механическим креплением круглых твердосплавных режущих пластин, предназначенная для обработки заготовок с радиусными уступами (в частности, на лапках сверл, зенкеров и т.д.), показана на рис. 5.37, а. Здесь круглая пластина 2 притягивается к базам корпуса 1 винтом 5 и державкой 4 с запрессованным в ней штифтом 3. Для обеспечения надежного прилегания пластины к базам корпуса, в последнем выполнены наклонные пазы, по которым скользят державки при завертывании винта. Базы под режущие пластины на корпусе в случае их повреждения легко восстанавливают точением.

При конструировании дисковых трехсторонних фрез необходимо предусмотреть открытые режущие кромки инструмента, а также обеспечить заданные геометрические параметры с обеих сторон фрезы, так как процесс резания такими инструментами, имеющими малую ширину, характеризуется стесненными условиями стружкоотвода.

Необходимость соблюдения одинаковых геометрических параметров с обеих

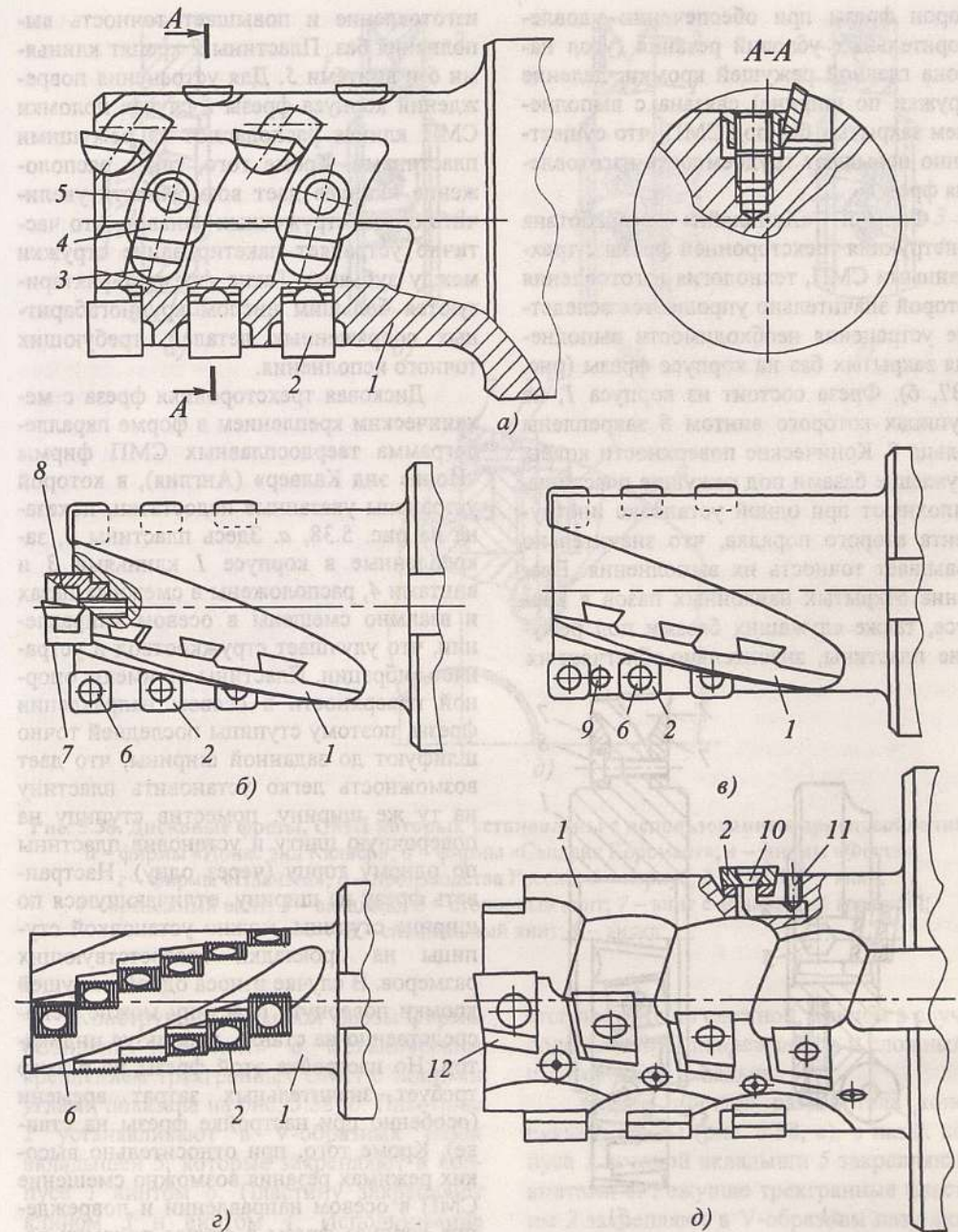


Рис. 5.36. Концевые фрезы с винтовыми зубьями:

а – производства России; б – фирмы «Видиа Крупп»; в – фирмы «Вальтер»; г – фирмы «Сандвик Кормант»; д – фирмы «Хертель»; 1 – корпус; 2 – СМП; 3 – круглый вкладыш; 4 – клин; 5 – крепежный винт; 6 – винт с конической головкой; 7 – вкладыш; 8 – стопорный винт; 9 – штифт; 10 – изогнутый штифт; 11 – винт; 12 – подкладка

сторон фрезы при обеспечении удовлетворительных условий резания (угол наклона главной режущей кромки, деление стружки по ширине) связана с выполнением закрытых баз под СМП, что существенно повышает трудоемкость изготовления фрез.

Фирмой «Хайнлайн» разработана конструкция трехсторонней фрезы с трехгранными СМП, технология изготовления которой значительно упрощается вследствие устранения необходимости выполнения закрытых баз на корпусе фрезы (рис. 5.37, б). Фреза состоит из корпуса 1, на ступицах которого винтом 8 закреплены кольца 7. Конические поверхности колец, служащие базами под режущие пластины, выполняют при одной установке инструмента второго порядка, что значительно повышает точность их выполнения. Введение открытых наклонных пазов в корпусе, также служащих базами под режущие пластины, значительно облегчает их

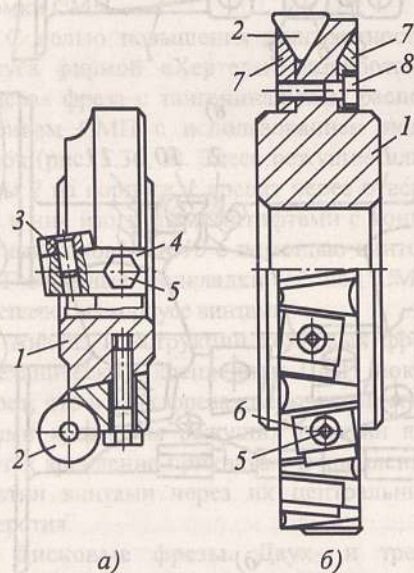


Рис. 5.37. Дисковые фрезы с «открытыми» базами под СМП:

а – производства России; б – фирмы «Хайнлайн»; 1 – корпус; 2 – СМП; 3 – штифт; 4 – державка; 5 – винт; 6 – клин; 7 – кольцо; 8 – стопорный винт

изготовление и повышает точность выполнения баз. Пластины 2 крепят клиньями 6 и винтами 5. Для устранения повреждений корпуса фрезы в случае поломки СМП клинья располагают за режущими пластинами. Кроме того, такое расположение клиньев дает возможность увеличить объем стружечных канавок, что частично устраняет пакетирование стружки между зубьями. Такие фрезы характеризуются большим числом крупногабаритных сопряженных деталей, требующих точного исполнения.

Дисковая трехсторонняя фреза с механическим креплением в форме параллелограмма твердосплавных СМП фирмы «Йонас энд Калвер» (Англия), в которой устранены указанные недостатки, показана на рис. 5.38, а. Здесь пластины 2, закрепленные в корпусе 1 клиньями 3 и винтами 4, расположены в смежных пазах и взаимно смещены в осевом направлении, что улучшает стружкоотвод и устраняет вибрации. Пластины не имеют опорной поверхности в осевом направлении фрезы, поэтому ступицы последней точно шлифуют до заданной ширины, что дает возможность легко установить пластину на ту же ширину, поместив ступицу на поверочную плиту и установив пластины по одному торцу (через одну). Настроить фрезу на ширину, отличающуюся по ширине ступицы, можно установкой ступицы на прокладки соответствующих размеров. В случае износа одной режущей кромки повернуть пластину можно непосредственно на станке, используя индикатор. Но настройка этой фрезы на размер требует значительных затрат времени (особенно при настройке фрезы на станке). Кроме того, при относительно высоких режимах резания возможно смещение СМП в осевом направлении и повреждение корпуса фрезы в случае поломки режущей пластины. Поэтому с целью повышения срока службы корпуса фрезы и надежности крепления СМП, в дисковых фрезах предусмотрено использование вкладышей с двумя или тремя базами под пластины.

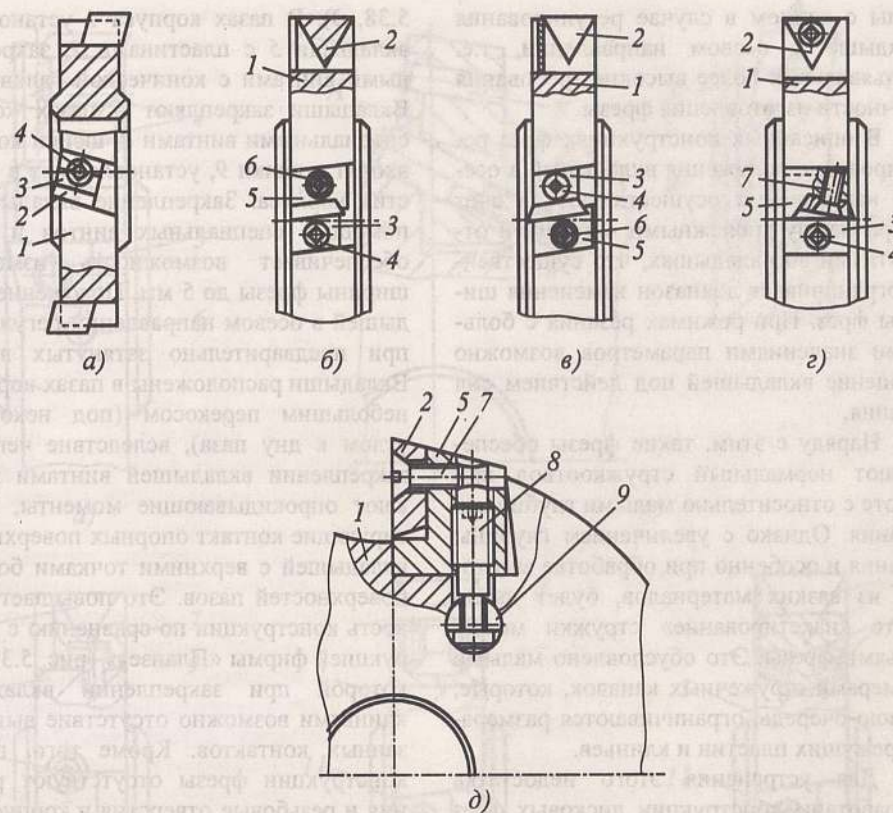


Рис. 5.38. Дисковые фрезы, СМП которых установлены с использованием приспособлений:

а – фирмы «Йонас энд Калвер»; б – фирмы «Сандвик Коромант»; в – фирмы «Феттэ»; г – фирмы «Планзея»; д – производства России; 1 – корпус; 2 – СМП; 3 – клин; 4 – крепежный винт; 5 – вкладыш; 6 – стопорный винт; 7 – винт с конической головкой; 8 – специальный винт; 9 – вилка

Конструкция дисковой фрезы фирмы «Сандвик Коромант» с механическим креплением трехгранных СМП с задними углами показана на рис. 5.38, б. Пластины 2 устанавливаются в V-образных пазах вкладышей 5, которые закрепляют в корпусе 1 винтом 6. Пластины закрепляют клином 3 и винтом 4. Использование сменных вкладышей существенно снижает трудоемкость выполнения баз на корпусе фрезы, а также повышает срок его службы. Угол наклона пластин разнонаправленный, способствующий устранению вибраций. Но в технологическом отношении такая конструкция фрезы явля-

ется достаточно сложной, причем в случае поломки СМП повреждается и сложный в изготовлении вкладыш.

Фирма «Феттэ» разработала конструкцию фрезы (рис. 5.38, в), в пазах корпуса 1 которой вкладыши 5 закрепляются винтами 6. Режущие трехгранные пластины 2 закрепляют в V-образном пазу вкладышей со стороны их опорных поверхностей клиньями 3 с помощью дифференциальных винтов 4.

В этой конструкции устранена опасность повреждения вкладыша при поломке пластины, но возникает возможность несовпадения опорной поверхности пла-

стины с клином в случае регулирования вкладыша в осевом направлении, т.е. предъявляются более высокие требования к точности изготовления фрезы.

В описанных конструкциях фрез регулирование положения вкладышей в осевом направлении осуществляют за счет зазора между крепежными винтами и отверстиями во вкладышах, что существенно ограничивает диапазон изменения ширины фрез. При режимах резания с большими значениями параметров возможно смещение вкладышей под действием сил резания.

Наряду с этим, такие фрезы обеспечивают нормальный стружкоотвод при работе с относительно малыми глубинами резания. Однако с увеличением глубины резания и особенно при обработке заготовок из вязких материалов, будет иметь место «пакетирование» стружки между зубьями фрезы. Это обусловлено малыми размерами стружечных канавок, которые, в свою очередь, ограничиваются размерами режущих пластин и клиньев.

Для устранения этого недостатка разработаны конструкции дисковых фрез с использованием вкладышей, которые выходят за пределы корпуса фрезы, а передняя поверхность режущих пластин не закрыта элементами крепления, например, дисковая фреза фирмы «Планзея» (Австрия). В пазах корпуса 1 этой фрезы установлены вкладыши 5 (рис. 5.38, з), которые закреплены в корпусе фрезы клиньями 3 с помощью дифференциальных винтов 4. Режущие пластины 2 закреплены на вкладышах через центральные отверстия винтами 7 с коническими головками. На опорных поверхностях вкладыша и боковых поверхностях пазов корпуса выполнены рифления. Наличие рифлений предотвращает поворот вкладышей или их осевое смещение под действием сил резания. При этом изменение ширины фрезы не может быть более 3 мм.

В нашей стране также разработаны подобные дисковые фрезы, отличающиеся повышенной технологичностью (рис.

5.38, д). В пазах корпуса 1 установлены вкладыши 5 с пластинами 2, закрепленными винтами с конической головкой 7. Вкладыши закрепляют в пазах корпуса специальными винтами 8, шейки которых входят в вилки 9, установленные в отверстия корпуса. Закрепление вкладышей с помощью специальных винтов и вилок обеспечивает возможность изменения ширины фрезы до 5 мм. Положение вкладышей в осевом направлении регулируют при предварительно затянутых винтах. Вкладыши расположены в пазах корпуса с небольшим перекосом (под некоторым углом к дну паза), вследствие чего при закреплении вкладышей винтами возникают опрокидывающие моменты, гарантирующие контакт опорных поверхностей вкладышей с верхними точками боковых поверхностей пазов. Это повышает жесткость конструкции по сравнению с конструкцией фирмы «Планзея» (рис. 5.38, з), в которой при закреплении вкладышей клиньями возможно отсутствие вышеуказанных контактов. Кроме того, в этой конструкции фрезы отсутствуют рифления и резьбовые отверстия в корпусе, что улучшает ее технологичность. Наряду с этим, существенно упрощается выполнение гнезд под пластины во вкладышах относительно их опорных поверхностей, так как требуется выдерживать размер только в радиальном направлении.

С целью облегчения условий регулирования за счет исключения специальных приспособлений, а также повышения надежности крепления вкладышей, разработаны конструкции дисковых фрез с использованием регулирующих элементов.

Фирма «Хертель» разработала конструкцию дисковой фрезы с тангенциальным расположением режущих пластин (рис. 5.39, а). Здесь режущие пластины 2 крепят на корпусе 1 изогнутыми штифтами 5 с коническими головками с помощью винтов 6. Положение пластин в осевом направлении регулируют штифтами 3 с лысками с помощью винтов 4. Тангенциальное расположение режущих пла-

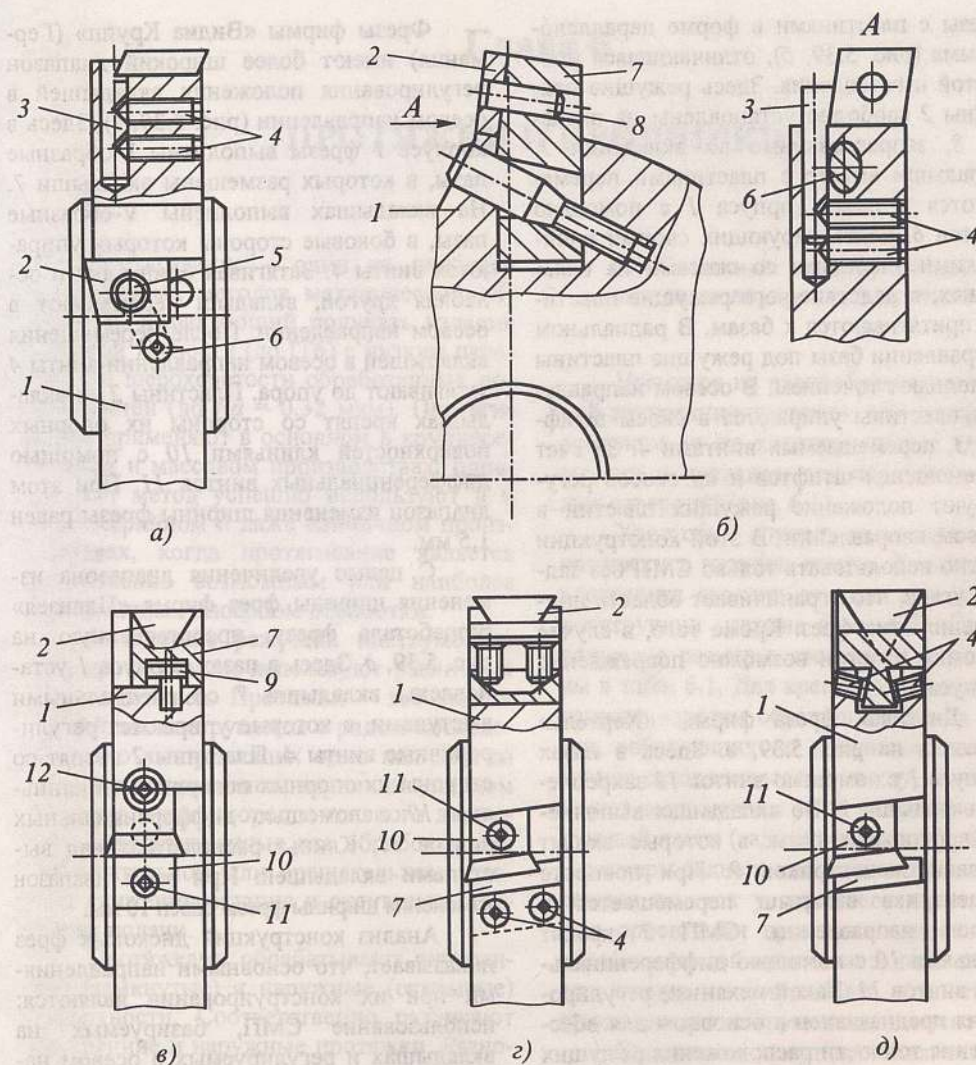


Рис. 5.39. Регулируемые дисковые фрезы:

а, в – фирмы «Хертель»; б – производства России; з – фирмы «Видиа Крупп»;

д – фирмы «Планзея»; 1 – корпус; 2 – СМП; 3 – регулировочный штифт;

4 – регулировочные винты; 5 – изогнутый штифт; 6 – крепежный винт; 7 – вкладыш; 8 – штифт;

9 – эксцентрик; 10 – клин; 11 – винт; 12 – стопорный винт

стин обеспечивает их высокую эксплуатационную прочность. При этом пластины имеют положительные передние углы, обеспечивающие снижение сил резания в процессе обработки. Однако в случае поломки СМП возможно повреждение тру-

доемкого в изготовлении корпуса фрезы. Кроме того, эти фрезы отличаются относительно большой шириной фрезерования – 18,5...24,0 мм.

В нашей стране также разработана конструкция трехсторонней дисковой

фрезы с пластинами в форме параллелограмма (рис. 5.39, б), отличающаяся простотой изготовления. Здесь режущие пластины 2 свободно установлены на штифты 8, запрессованные во вкладыши 7. Вкладыши вместе с пластинами перемещаются в пазах корпуса 1 с помощью винтов 6, контактирующих своими коническими участками со скосами на вкладышах, вследствие чего режущие пластины притягиваются к базам. В радиальном направлении базы под режущие пластины выполняются точением. В осевом направлении пластины упираются в скосы штифтов 3, перемещаемых винтами 4. За счет перемещения штифтов и их скосов регулируют положение режущих пластин в осевом направлении. В этой конструкции можно использовать только СМП без задних углов, что ограничивает область применения этих фрез. Кроме того, в случае поломки пластин возможно повреждение корпуса.

Дисковая фреза фирмы «Хертель» показана на рис. 5.39, в. Здесь в пазах корпуса 1 с помощью винтов 12 закреплены вкладыши 7. Во вкладышах выполнены продольные пазы, в которые входят головки эксцентриков 9. При повороте эксцентрика вкладыш перемещается в осевом направлении. СМП 2 крепят клиньями 10 с помощью дифференциальных винтов 11. Такой механизм регулирования предназначен в основном для обеспечения точности расположения режущих кромок пластин в осевом направлении, так как диапазон регулирования ширины фрезы достаточно мал.

Фрезы фирмы «Видиа Крупп» (Германия) имеют более широкий диапазон регулирования положения вкладышей в осевом направлении (рис. 5.39, г). Здесь в корпусе 1 фрезы выполнены Г-образные пазы, в которых размещены вкладыши 7. На вкладышах выполнены V-образные пазы, в боковые стороны которых упираются винты 4. Затягивая один винт и ослабляя другой, вкладыш перемещают в осевом направлении. После перемещения вкладышей в осевом направлении винты 4 затягивают до упора. Пластины 2 во вкладышах крепят со стороны их опорных поверхностей клиньями 10 с помощью дифференциальных винтов 11. При этом диапазон изменения ширины фрезы равен 1,5 мм.

С целью увеличения диапазона изменения ширины фрез фирма «Планзея» разработала фрезу, представленную на рис. 5.39, д. Здесь в пазах корпуса 1 установлены вкладыши 7 со специальными выступами, в которые упираются регулировочные винты 4. Пластины 2 крепят со стороны их опорных поверхностей клиньями 10 с помощью дифференциальных винтов 11. Клинья располагают над выступами вкладышей. При этом диапазон изменения ширины фрезы равен 10 мм.

Анализ конструкций дисковых фрез показывает, что основными направлениями при их конструировании являются: использование СМП, базируемых на вкладышах и регулируемых в осевом направлении с помощью специальных приспособлений или с помощью регулировочных элементов фрез.

## Глава 6

### ПРОТЯЖКИ И ПРОШИВКИ

#### 6.1. Основные конструктивные элементы внутренних протяжек

Несмотря на разнообразие конструкций внутренних протяжек, они содержат в основном те же конструктивные элементы, что и протяжки для обработки круглых отверстий (рис. 6.1).

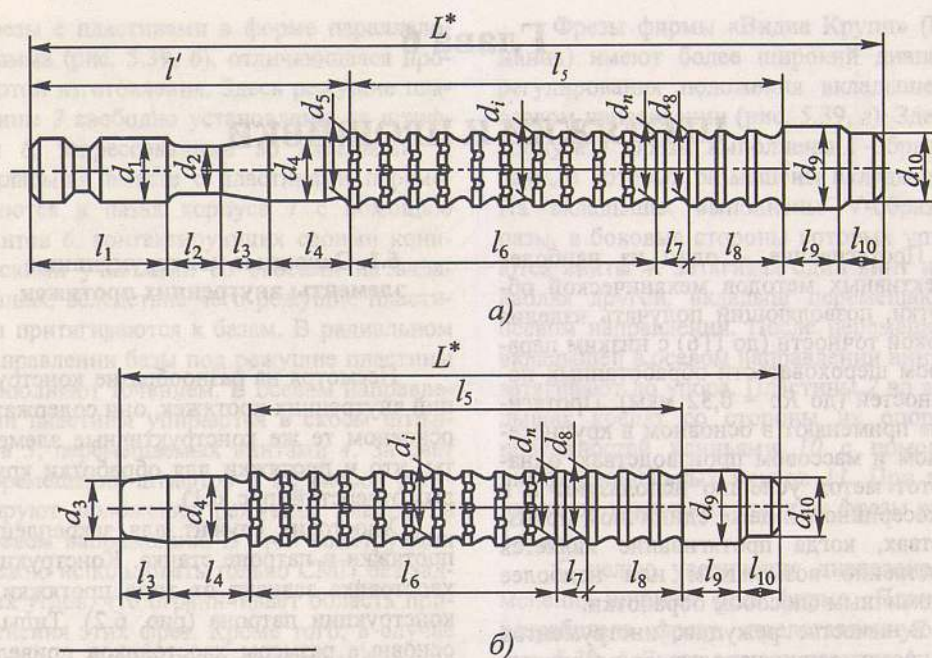
Хвостовик служит для закрепления протяжки в патроне станка. Конструкция хвостовика зависит от типа протяжки и конструкции патрона (рис. 6.2). Типы и основные размеры хвостовиков приведены в табл. 6.1. Для крепления протяжки в патроне каретки обратного хода на станках, работающих по полуавтоматическому или автоматическому циклу, хвостовик может выполняться и со стороны калибрующей части (задний хвостовик). Форму и размеры заднего хвостовика принимают такими же, как у переднего хвостовика. Для ориентации протяжки относительно обрабатываемой заготовки задний хвостовик иногда изготавливают с соответствующими ориентирующими элементами.

Хвостовики могут изготавливать как единое целое с протяжкой (цельные протяжки), сварными или крепить к протяжке при помощи резьбовых соединений или механических устройств. Преимуществом съемных хвостовиков является экономия быстрорежущей стали и меньшая трудоемкость изготовления протяжек. Материал сварных хвостовиков и хвостовиков с механическим креплением — сталь 40Х, либо другая конструкционная или инструментальная сталь по ГОСТ 4543–71 или ГОСТ 5950–2000. После термообработки твердость переднего хвостовика из быстрорежущей стали 42...56 HRC.

Протягивание — один из наиболее эффективных методов механической обработки, позволяющий получать изделия высокой точности (до IT6) с низким параметром шероховатости обработанных поверхностей (до  $Ra = 0,32$  мкм). Протягивание применяют в основном в крупносерийном и массовом производствах, однако этот метод успешно используют и в мелкосерийном и даже единичном производствах, когда протягивание является единственно возможным или наиболее экономичным способом обработки.

В качестве режущих инструментов при протягивании используют различные типы протяжек. Протяжки — это многолезвийные инструменты с рядом последовательно выступающих одно над другим лезвий в направлении, перпендикулярном к направлению скорости главного движения, предназначенные для обработки при поступательном или вращательном главном движении резания и отсутствии движения подачи.

Протяжками обрабатывают внутренние (замкнутые) и наружные (открытые) поверхности. Соответственно различают внутренние и наружные протяжки. Разновидностью протяжек являются прошивки, конструкции которых принципиально не отличаются от конструкций протяжек, однако в процессе резания прошивки подвергаются в основном сжимающим усилиям, в то время как протяжки работают на растяжение. Области применения протягивания весьма разнообразны. Внутреннее протягивание применяют для обработки отверстий различной формы, в том числе круглых, квадратных, многогранных, шлицевых со шлицами различного профиля. Наружными протяжками в основном обрабатывают плоские и фасонные поверхности, пазы, уступы, рифления и т.д.



\*Размеры для справок.

Рис. 6.1. Протяжка (а) и прошивка (б) для обработки круглого отверстия:

$l_1$  – длина хвостовика;  $l_2$  – длина шейки;  $l_3$  – длина переходного направляющего конуса;  
 $l_4$  – длина передней направляющей;  $l_5$  – длина рабочей части, состоящей из участков:  
 $l_6$  – с черновыми зубьями,  $l_7$  – с переходными и чистовыми зубьями,  $l_8$  – с калибрующими  
зубьями;  $l_9$  – длина задней направляющей;  $l_{10}$  – длина заднего хвостовика

### 6.1. Основные размеры хвостовиков протяжек, мм (см. рис. 6.2)

Хвостовики плоские, тип 1 (ГОСТ 4043–70)

$B$	$b$	$H$	$l$	$l_1$	$l_2$	$B$	$b$	$H$	$l$	$l_1$	$l_2$
4	2,4	7	14	20	16	20	15	45	17	25	22
5	3,5	11				22	16,5				
6	4	15				24	18				
7	4,5	16				25	19	50			
8	5	18				28	21				
10	7	22				32	24	60			
12	8	28				36	28				
14	10	30	40	32							
16	12	36	17	25	22	45	36	28	40	36	
18	13	40				50	40				

Продолжение табл. 6.1

Хвостовики плоские, тип 2 (ГОСТ 4043–70)

$H$	$B$	$B_1$	$b$	$l$	$l_1$	$l_2$	$H$	$B$	$B_1$	$b$	$l$	$l_1$	$l_2$
4	2	3	1,5	14	20	16	11	5	8	5	14	20	16
5	2,5	4	2,5				15	6	6				
6	3						16	7	10	7			
7	4	6	4				18	8	12	8			
				22	10	15	10						

Хвостовики круглые, тип 1 (ГОСТ 4044–70)

$D$	$D_2$	$a$	$h$	$l_1$	$F, \text{мм}^2$	$D$	$D_2$	$a$	$h$	$l_1$	$F, \text{мм}^2$
4	3,8	2	3,7	16	6,6	10	9,8	6	9,5	20	61,5
5	4,8	3	4,6		13,2	12	11,7	8	11,5		85,2
5,5	5,3	3,3	5,1		15,8	14	13,7	8	13,5		96,1
6	5,8	4	5,6		20,9	16	15,7	10	15,5		145
7	6,8	4,2	6,5		23,8	18	17,7	12	17,5		193
8	7,8	5	7,5		35,4						

Хвостовики круглые, тип 2 (ГОСТ 4044–70)

$D$	$D_1$	$l$	$l_1$	$l_2$	$h$	$F, \text{мм}^2$	$D$	$D_1$	$l$	$l_1$	$l_2$	$h$	$F, \text{мм}^2$
12	8	12	20	20	10,5	50,3	45	34	20	32	32	39,0	907,9
14	9,5				12,5	70,9	50	38				43,5	1134,1
16	11				14,0	95,0	55	42				48,5	1385,4
18	13				16,0	132,7	56	42				48,5	1385,4
20	15	16	25	25	17,0	176,7	60	45	25	40	40	55,0	1590,4
22	17				19,0	227,0	63	48				55,0	1809,6
25	19				21,5	283,5	70	53				61,0	2206,2
28	22				24,0	380,1	80	60				69,5	2827,4
32	25	20	32	32	27,5	490,9	90	70	32	50	50	78,5	3848,4
36	28				31,0	615,7	100	75				87,0	4417,9
40	32				34,5	804,2							

Примечание.  $F$  – площадь поперечного сечения хвостовика в сечении А-А.

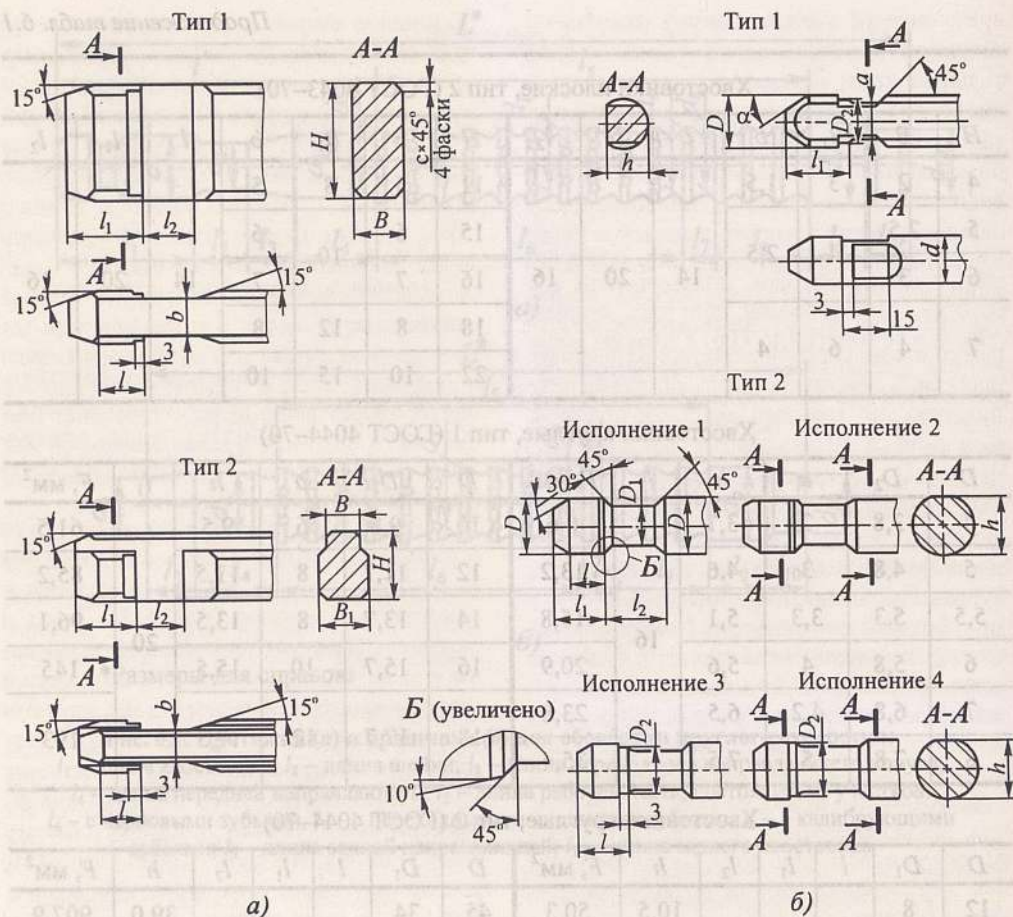


Рис. 6.2. Формы хвостиков протяжек  
а – по ГОСТ 4043-70; б – по ГОСТ 4044-70

Шейка и переходный конус являются связующими звеньями между хвостовиком и передней направляющей. На шейку обычно наносят маркировку протяжки, здесь же у сварных протяжек располагается сварной шов. Диаметр шейки принимают на 0,5...1,0 мм меньше диаметра хвостовика, а ее длина зависит от конструкции станка, в частности от толщины опорного стола протяжного станка, а также от размеров приспособления для крепления заготовки. В ряде случаев, например у шпоночных протяжек, шейку специально не выделяют, а выполняют заодно с хвостовиком.

Передняя направляющая служит для ориентации протяжки относительно оси обрабатываемой заготовки в начальный момент резания. Форму поперечного сечения и размеры передней направляющей выбирают в соответствии с формой и размерами обрабатываемой поверхности. Диаметр передней цилиндрической направляющей выполняют по посадке H7/f7, а длину берут в пределах 0,7...1,0 от длины протягивания.

Задняя направляющая обеспечивает направление и центрирование детали в момент окончания обработки, а также предотвращает перекося протяжки и по-

вреждению обработанной поверхности. В тех случаях, когда протяжка имеет значительную массу, для поддержания протяжки во время рабочего и холостого хода заднюю направляющую изготавливают с опорной цапфой, которую располагают в специальном люнете. Заднюю направляющую выполняют по посадке H7/f7, а ее длину принимают равной 0,5...1,0 от длины протягиваемого отверстия.

Рабочая часть протяжки состоит из режущей и калибрующей частей. Режущая часть протяжки осуществляет срезание основного припуска с обрабатываемой поверхности заготовки и включает черновые, полустачные и чистовые зубья. Калибрующие зубья окончательно формируют обработанную поверхность и используются в качестве резерва режущих зубьев с целью увеличения срока работы протяжки.

## 6.2. Схемы резания, применяемые при протягивании

Схема резания при протягивании определяет последовательность удаления срезаемого слоя отдельными зубьями протяжки. Схему резания выбирают в зависимости от формы, размеров и состояния обрабатываемой поверхности. От рационального выбора схемы резания зависят конструкция протяжки, ее длина, работоспособность, качество обработанной поверхности, производительность и экономичность процесса. При проектировании протяжек применяют профильную (одинарную), генераторную и прогрессивную (групповую) схемы резания (рис. 6.3).

Протяжки, работающие по *профильной схеме резания*, имеют в поперечном сечении профиль зубьев, подобный профилю обрабатываемой поверхности. При этом за счет превышения высоты предыдущего зуба по отношению к высоте последующего срезаются относительно тонкие и широкие слои металла по всему периметру обработанной поверхности.

Изготовление точного профиля на всех зубьях протяжки и особенно на рабочих зубьях, имеющих различные размеры, а также заточка протяжки связаны со значительными трудностями, поэтому профильную схему резания применяют в основном для протяжек, предназначенных для обработки поверхностей простых форм, например цилиндрических.

Особенностью *генераторной схемы резания* является то, что срезание припуска производится режущими зубьями, имеющими переменный профиль, постепенно переходящий от прямолинейной или круглой формы к заданному профилю. Окончательное формирование поверхности изделия производится зубьями, имеющими в поперечном сечении профиль, совпадающий с заданным. Существенным преимуществом генераторных протяжек является их технологичность; недостатком – трудность получения задних углов на вспомогательных поверхностях режущих лезвий и более низкая по сравнению с профильной схемой геометрическая точность профиля.

*Прогрессивная (групповая) схема резания* характеризуется тем, что удаляемый слой металла разделяется на части между отдельными зубьями, образующими секцию (группу), состоящую из 2–5 зубьев одинакового диаметра или высоты.

В зависимости от вида принятых разделительных устройств (шлицы, лыски, выкружки, фаски и др.) различают ряд вариантов прогрессивной схемы резания: шахматный, многогранный, переменного резания и др.

Наряду с указанными схемами резания получило распространение также *комбинированное протягивание*, когда обработка производится по двум или трем схемам резания. Комбинированное протягивание применяют как при работе одной протяжкой, так и при использовании комплектов протяжек. Например, при протягивании прямоугольных треугольных и эвольвентных шлицев могут использоваться протяжки, у которых часть зубьев работает по генераторной схеме резания, а

часть – по профильной схеме. При протягивании соединения лопатки газовой турбины с диском первая секция первой про-

тяжки и вторая протяжка работают по профильной схеме, а вторая секция первой протяжки – по генераторной.

Операция протягивания	Схема резания		
	Профильная	Генераторная	Групповая (прогрессивная)
Плоскости			
Фасонной поверхности			
Шлицевого отверстия			
Квадратного отверстия			

Рис. 6.3. Схемы резания при протягивании:  
I – протяжка; II – заготовка

### 6.3. Методика выбора и расчета конструктивных элементов круглых протяжек

Основными параметрами протяжек являются подача на зуб или группу зубьев  $S_z$ , шаг  $t$ , высота  $h$  зубьев и число зубьев в группе  $z_c$ . Эти параметры зависят от многих факторов и поэтому обычно первоначально учитывают 1–2 фактора, а на последующих этапах расчета полученные значения указанных параметров корректируют с учетом всех ограничивающих факторов.

Более целесообразным в данном случае является использование методов линейного программирования, позволяющих на основе анализа оптимизационной математической модели конструкции протяжки учесть одновременно практически все основные факторы, определяющие эффективность процесса протягивания.

Ниже приведена последовательность выбора и расчета основных конструктивных элементов круглых протяжек, работающих по одинарной и групповой схемам резания. В качестве базовой конструкции групповых протяжек приняты протяжки переменного резания, обладающие рядом существенных преимуществ перед другими конструкциями. Методика расчета указанных протяжек подробно рассмотрена в работе [30].

Расчет круглых протяжек ведется в следующей последовательности:

1. Определяют припуск под протягивание согласно данным табл. 6.2.

2. Выбирают материал режущей части протяжки в зависимости от группы обрабатываемости заготовки и типа производства. При этом протяжки из быстрорежущих сталей диаметром менее 15 мм и протяжки из стали ХВГ всех диаметров изготавливают цельными, диаметром 15...40 мм – сварными, а диаметром более 40 мм – сварными или сборными. Материал хвостовика – сталь 45Х или 40Х. Тип и основные размеры хвостовиков выбирают по табл. 6.1. При этом диаметр хво-

стовика должен быть максимальным из диаметров хвостовиков, проходящих через предварительное отверстие в заготовке.

3. Определяют допустимую силу протягивания по прочности опасного сечения хвостовика:

$$P_{хв} = [\sigma_p] F_{о.х.}, \quad (6.1)$$

где  $[\sigma_p]$  – допускаемое напряжение при растяжении (для хвостовиков из быстрорежущих сталей  $[\sigma_p] = 400 \text{ Н/мм}^2$ ; сталей ХВГ и 40Х  $[\sigma_p] = 300 \text{ Н/мм}^2$ ;  $F_{о.х.}$  – площадь опасного сечения хвостовика (см. табл. 6.1,  $F_{о.х.} = F$ ).

Сила резания ограничивается также прочностью протяжки по впадине перед первым зубом. В этом случае наибольшую силу, допускаемую протяжкой, определяют по формуле:

$$P_{о.п.} = F_{о.п.} [\sigma_p], \quad (6.2)$$

где  $F_{о.п.}$  – площадь опасного сечения протяжки перед первым зубом,  $F_{о.п.} = 0,785(D_0 - 2h)^2$ .

Средние значения  $[\sigma_p]$  для протяжек из быстрорежущих и легированных сталей соответствуют приведенным выше. Наименьшее из  $P_{хв}$  и  $P_{о.п.}$  принимается в качестве максимально допускаемой силы резания  $P_d$ . Принятое значение необходимо сопоставить с тяговым усилием станка  $P_c$ :  $P_d = (0,8...0,9) P_c$ .

В общем случае осевую силу резания при протягивании определяют согласно зависимости

$$P_z = q_0 \sum l_p K_p, \quad (6.3)$$

где  $q_0$  – осевая сила резания, приходящаяся на 1 мм длины режущего лезвия;  $l_p$  – суммарная длина режущих лезвий зубьев, одновременно участвующих в работе;  $K_p$  – поправочный коэффициент на измененные условия обработки. Значения  $q_0$  и  $K_p$  приведены в табл. 6.3 и 6.4,  $K_p = K_{pm} K_{po} K_{pp}$ .

6.2. Припуски под протягивание круглыми и шлицевыми протяжками, мм

Номинальный диаметр, $d_n$	ПТ			Н7-Н9			Н7-Н9			Н12					
	$d_{пр}$	$d_0$	сверла	$d$		$A$	$d_0$	сверла	$d$		$d_0$	сверла	$d$		
				зенкера, расточки	зенкера, расточки				зенкера, расточки	зенкера, расточки					
Под круглые протяжки													Под шлицевые протяжки		
10	9,76	9,1	9,2	—	0,66	9,4	9,5	—	—	—	—	—	—	—	
11	10,76	10,1	10,2	—	0,66	10,4	10,5	—	—	0,6	10,6	10,7	11	0,3	
12	11,76	11,1	11,2	—	0,66	11,4	11,5	—	—	—	—	—	—	—	
13	12,76	12,1	—	12,2	0,66	12,4	12,5	—	—	0,6	12,6	12,7	13	0,3	
14	13,76	13,1	13,2	—	0,66	13,4	13,5	—	—	0,6	—	—	—	—	
15	14,76	14,1	14,25	—	0,66	14,5	14,5	—	—	0,6	—	—	—	—	
16	15,76	15,1	15,25	—	0,66	15,4	15,5	—	—	0,6	15,4	15,5	—	0,8	
17	16,76	16,1	16,25	—	0,66	16,4	16,5	—	—	0,6	—	—	—	—	
18	17,76	17,1	17,25	—	0,66	17,4	17,5	—	—	0,6	17,4	17,5	—	0,8	
19	18,72	17,8	—	17,9	0,92	18,1	18,25	—	—	0,9	—	—	—	—	
20	19,72	18,8	—	18,9	1,12	19,1	19,25	—	—	0,9	—	—	—	—	
21	20,72	19,6	—	19,7	1,12	19,9	20	—	—	1,1	20,2	17,5	20,75	—	
22	21,72	20,6	—	20,7	1,12	20,9	21	—	—	1,1	—	—	—	—	
23	22,72	21,6	—	21,7	1,12	21,9	22	—	—	1,1	22,2	—	22,75	—	
24	23,72	22,6	—	22,7	1,12	22,9	23	—	—	1,1	—	—	—	—	
25	24,72	23,6	—	23,7	1,12	23,9	24	—	—	1,1	—	—	—	—	
26	25,72	24,6	—	24,7	1,12	24,9	25	—	—	1,1	25,2	—	25,5	—	
27	26,72	25,6	—	25,7	1,12	25,9	26	—	—	1,1	—	—	—	—	
28	27,72	26,6	—	26,7	1,12	26,9	27	—	—	1,1	27,2	—	27,5	—	
30	29,72	28,6	—	28,7	1,12	28,9	29	—	—	1,1	—	—	—	—	
32	31,66	30,5	—	30,6	1,12	30,8	—	30,9	1,2	31,1	—	—	31,5	0,9	
34	33,66	32,5	—	32,6	1,12	32,8	32,9	32,9	1,2	—	—	—	—	—	
35	34,66	33,5	—	33,6	1,16	33,8	—	33,9	1,2	—	—	—	—	—	
36	35,66	34,5	—	34,6	1,16	34,8	34,9	34,9	1,2	35,1	—	—	35,75	0,65	

Продолжение табл. 6.2

Номинальный диаметр, $d_n$	ПТ			Н7-Н9			Н7-Н9			Н12					
	$d_{пр}$	$d_0$	сверла	$d$		$A$	$d_0$	сверла	$d$		$d_0$	сверла	$d$		
				зенкера, расточки	зенкера, расточки				зенкера, расточки	зенкера, расточки					
Под круглые протяжки													Под шлицевые протяжки		
38	37,66	36,5	—	36,6	1,16	36,8	36,9	36,9	1,2	—	—	—	—	—	
40	39,66	38,5	—	38,6	1,16	38,8	38,9	38,9	1,2	—	—	—	—	—	
42	41,66	40,4	40,5	40,5	1,26	40,7	—	40,8	1,3	41,1	—	41,4	41,5	0,9	
45	44,66	43,4	43,5	43,5	1,26	43,7	—	43,8	1,3	—	—	—	—	—	
46	45,66	44,4	44,5	44,5	1,26	44,7	—	44,8	1,3	45,1	—	45,5	45,6	0,8	
48	47,66	46,4	46,5	46,5	1,26	46,7	—	46,8	1,3	—	—	—	—	—	
50	49,65	48,4	48,5	48,5	1,26	48,7	—	48,8	1,3	—	—	—	—	—	
52	51,6	50,2	—	50,3	1,4	50,6	—	50,7	1,4	51	—	51,5	51,6	0,85	
55	54,6	53,2	—	53,3	1,4	53,6	—	53,7	1,4	—	—	—	—	—	
56	55,6	54,2	—	54,3	1,4	54,6	—	54,7	1,4	55	—	55,4	—	0,95	
58	57,6	56,2	—	56,3	1,4	56,6	—	56,7	1,4	—	—	—	—	—	
60	59,6	58,2	—	58,3	1,4	58,6	—	58,7	1,4	—	—	—	—	—	
62	61,6	60,2	—	60,3	1,4	60,6	—	60,7	1,4	61	—	61,4	—	—	
63	62,6	61,2	—	61,3	1,4	61,6	—	61,7	1,4	—	—	—	—	—	
65	64,6	63,2	—	63,3	1,4	63,6	—	63,7	1,4	—	—	—	—	—	
70	69,6	68,2	—	68,3	1,4	68,6	—	68,6	1,4	—	—	—	—	—	
72	71,6	70,1	—	70,2	1,5	70,5	—	70,6	1,4	71	—	71,4	—	0,95	
75	74,6	73,1	—	73,2	1,5	73,5	—	73,6	1,4	—	—	—	—	—	
80	79,6	78,1	—	78,2	1,5	78,5	—	78,6	1,4	—	—	—	—	—	
82	81,54	80,0	—	80,1	1,54	80,5	—	80,6	1,5	81	—	81,4	—	1	
85	84,54	83,0	—	83,1	1,54	83,5	—	83,6	1,5	—	—	—	—	—	
90	89,54	88,0	—	88,1	1,54	88,5	—	88,6	1,5	—	—	—	—	—	

Примечание. ПТ — припуск технологический под шлифование;  $d_{пр}$  — диаметр отверстия после протягивания с ПТ;  $A$  — полный припуск под протягивание;  $d_0$  — наименьший диаметр отверстия до протягивания;  $d$  — номинальный диаметр инструмента.



**6.3. Осевая сила резания  $q_0$ , приходящаяся на 1 мм длины режущей кромки при протягивании конструкционных углеродистых и легированных сталей в нормализованном, отожженном и горячекатаном состоянии, Н**

Подача на зуб $S_z$ , мм	Передний угол $\gamma$ , °					Подача на зуб $S_z$ , мм	Передний угол $\gamma$ , °				
	5	10	15	20	25		5	10	15	20	25
0,01	78	48	37	30	26	0,19	492	419	385	362	342
0,015	91	60	47	39	34	0,20	513	433	404	380	364
0,02	100	70	56	48	43	0,21	533	462	423	398	381
0,025	113	80	66	57	51	0,22	558	483	443	416	398
0,03	124	91	76	67	60	0,23	578	504	462	434	416
0,035	136	101	85	75	69	0,24	602	525	481	453	433
0,04	148	112	95	84	77	0,25	626	541	501	471	451
0,045	160	122	105	93	86	0,26	645	562	520	494	468
0,05	171	132	114	103	95	0,27	669	583	539	512	491
0,06	195	153	134	121	112	0,28	693	604	559	531	508
0,07	218	174	153	139	130	0,29	711	624	579	549	526
0,08	241	195	172	157	146	0,30	735	645	597	567	544
0,09	264	216	191	176	165	0,31	752	666	617	586	561
0,10	289	236	212	194	181	0,32	776	687	628	604	579
0,11	311	258	230	212	200	0,33	800	708	655	623	596
0,12	334	277	249	232	217	0,34	823	722	675	641	614
0,13	358	298	269	250	237	0,35	840	743	694	659	631
0,14	380	320	288	268	253	0,36	863	763	713	678	649
0,15	403	338	312	286	271	0,37	887	784	733	696	667
0,16	425	360	327	304	291	0,38	910	805	752	714	684
0,17	446	381	346	325	308	0,39	933	825	771	733	702
0,18	468	402	365	343	325	0,40	957	846	791	751	719

**6.4. Поправочный коэффициент для осевой силы резания для различных условий работы**

В зависимости от состояния и твердости обрабатываемого материала			
Обрабатываемые материалы		Твердость НВ	Коэффициент $K_{pm}$
Стали I–V групп обрабатываемости	После закалки и отпуска	<285	1,3
		285...336	1,3
		336...375	1,4
	В отожженном, нормализованном и горячекатаном состоянии	130...321	1,0
Инструментальные, легированные и быстрорежущие стали		204...229	1,4
Чугуны серые, ковкие, антифрикционные VI и VII групп обрабатываемости		<229	0,5
		≥229	0,7
Бронзы, латуни VIII и IX групп обрабатываемости		≤110	0,4
Алюминиевые сплавы X группы обрабатываемости		≤110	0,4

Продолжение табл. 6.4

В зависимости от вида СОЖ

Обрабатываемые материалы	СОЖ	$K_{po}$
Сталь	Б, В	0,8
	А, Д, Е, Ж	1,0
	Б, В, Г	1,1
Чугун	Без охлаждения	1,0
	Д, Е, Ж	0,8

В зависимости от способа разделения стружки

Способ разделения стружки	Коэффициент $K_{pp}$
Выкружками	1,0
Узкими канавками	1,2
Без разделения	1,3

Примечание. А – 3...10 % эмульсия из эмульсола «Укринол-1»; Б – 5 % эмульсия из эмульсола Э-2, ЭТ-2, ЭГТ; В – 10 % эмульсия из эмульсола Э-2; Г – 5...7 % эмульсия из эмульсола Т; Д – СОЖ ОСМ-3; Е – масло И-12А, ГИ-20А; Ж – СОЖ типа МР-7

4. Определяют предварительное значение шага режущих зубьев согласно зависимости  $t'_p = m\sqrt{l}$ , где  $m = 1,25...1,5$  для одинарных протяжек,  $m = 1,5...1,9$  для групповых протяжек,  $l$  – длина обрабатываемой поверхности.

5. Определяют число одновременно работающих зубьев:

$$z_0 = \frac{l}{t'_p} + 1. \quad (6.4)$$

Минимальное количество одновременно работающих зубьев должно быть не менее трех. При небольшой длине протягиваемого отверстия допускается  $z_0 = 2$ , хотя обычно принимают  $z_0 = 4$  или 5. Окончательный размер шага и число одновременно работающих зубьев принимают с учетом выбранной подачи и возможности свободного размещения стружки в стружечной канавке.

6. Определяют по табл. 6.5 подачу  $S_z$

для одинарных протяжек. Для протяжек переменного резания подачу черновых зубьев выбирают по средней наработке между отказами из условия равной стойкости черновых и чистовых частей, а также в соответствии с требованиями к качеству обработанной поверхности. Соответствующие рекомендации для материалов различных групп обрабатываемости приведены в табл. 6.6.

7. Определяют глубину стружечной канавки, необходимую для нормального формирования и размещения стружки:

– для сливной стружки

$$h = 1,128\sqrt{KIS_z}; \quad (6.5)$$

– для стружки надлома

$$h = 0,891\sqrt{KIS_z}, \quad (6.6)$$

где  $K$  – коэффициент заполнения стружечной канавки.

### 6.5. Поддачи на зуб для внутренних протяжек, работающих по профильной и генераторной схемам резания, $S_z$ , мм/зуб

Тип протяжки	Обрабатываемый материал			
	Сталь	Чугун	Алюминий	Бронза, латунь
Круглые	0,02...0,04	0,03...0,10	0,02...0,05	0,05...0,12
Шлицевые с прямоугольными шлицами	0,05...0,08	0,06...0,10	0,04...0,10	0,06...0,12
Острошлицевые и эвольвентные	0,03...0,06	—	—	—
Шпоночные	0,08...0,15	0,08...0,20	0,05...0,08	0,08...0,20
Квадратные и шестигранные	0,02...0,15	0,05...0,15	0,03...0,15	0,05...0,20

### 6.6. Рекомендуемые поддачи на зуб черновых зубьев, $S_z$ , мм/зуб

Скорость резания $v$ , м/мин	Группа обрабатываемости													
	I		II		III		IV		VII, VIII		IX		X	
	Группа качества протягиваемой поверхности													
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
До 3	0,18	0,23	0,14	0,18	0,12	0,15	0,16	0,20	0,14	0,18	0,12	0,16	0,15	0,20
Св. 3 до 6	0,14	0,19	0,12	0,15	0,10	0,12	0,13	0,17	0,11	0,15	0,10	0,13	0,12	0,17
» 6 » 10	0,12	0,15	0,10	0,12	0,08	0,10	0,10	0,14	0,09	0,12	0,08	0,10	0,10	0,14
» 10 » 15	0,10	0,12	0,08	0,10	0,06	0,08	0,08	0,12	0,07	0,10	0,06	0,08	0,08	0,12

Коэффициенты заполнения стружечной канавки  $K$  для одинарных и групповых протяжек приведены в табл. 6.7. По полученному значению  $h$  из табл. 6.8 выбирают ближайшее большее значение указанного параметра, а также остальные размеры стружечной канавки:  $b$ ,  $R$ ,  $r$ . По этой же таблице принимают уточненное значение шага черновых зубьев  $t$ .

8. Определяют число зубьев в группе

$$z_c = \frac{\pi D q_0 z_0 K_p}{P_n}, \quad (6.7)$$

где  $K_p$  – произведение поправочных коэффициентов, см. табл. 6.4.

Обычно  $z_c = 2...5$ . Если  $z_c < 2$ , то принимают  $z_c = 2$ . Дробное значение  $z_c$ ,

большее двух, округляют до ближайшего большего целого числа (3, 4 или 5).

9. Определяют число групп черновых зубьев

$$n = \frac{A_0}{2S_z}, \quad (6.8)$$

где  $A_0$  – припуск на черновые зубья,  $A_0 = A - (A_n + A_c)$ . Размер припуска на переходные  $A_n$  и чистовые зубья  $A_c$  выбирают по табл. 6.9 и 6.10. Число черновых зубьев  $z_0 = nz_c$ .

Число переходных, чистовых и калибрующих зубьев выбирают по табл. 6.9 и 6.10, а их шаг – по табл. 6.11. Геометрические параметры зубьев протяжек приведены в табл. 6.12.

### 6.7. Коэффициент заполнения стружечных канавок $K$

#### Протяжки с профильной схемой резания

Поддача на зуб $S_z$ , мм/зуб	Обрабатываемый материал				
	Сталь $\sigma_v$ , Н/мм <sup>2</sup>			Чугун, бронза, латунь	Медь, латунь, алюминий
	до 400	400...600	св. 600		
До 0,03	3,0	2,5	3,0	2,5	2,5
Св. 0,03 до 0,10	4,0	3,0	3,5	2,5	3,0
Св. 0,10	4,5	3,5	4,0	2,0	3,5

#### Протяжки с групповой схемой резания

Шаг зубьев $t$ , мм	Поддача $S_z$ , мм/зуб		
	до 0,05	0,05...0,1	св. 0,1
4,5...8	3,3	3,0	2,5
10...14	3,0	2,7	2,2
16...25	2,8	2,5	2,0

### 6.8. Профиль и размеры зубьев



Номер профиля	Размеры, мм					Активная площадь $F_a$ , мм <sup>2</sup>
	$t$	$h$	$r$	$b$	$R$	
1		1,6	0,8	1,5	2,5	1,77
2	4,0	1,8	0,9	1,2	2,8	2,54
1		1,6	0,8	2,0	2,5	1,77
2	4,5	1,8	0,9	1,7	2,8	2,54
3		2,0	1,0	1,5	3,0	3,14
1Y		1,6	0,8	2,2	2,5	1,77
2	5,0	1,8	0,9	2,0	2,8	2,54
3		2,0	1,0	2,0	3,0	3,14
1Y		1,6	0,8	2,5	2,5	1,77
2	5,5	1,8	0,9	2,7	2,8	2,54
3		2,0	1,0	2,5	3,0	3,14
2Y		1,8	0,9	2,7	2,8	2,54
3	6,0	2,0	1,0	3,0	3,0	3,14
4		2,5	1,3	2,0	4,0	4,90
3Y		2,0	1,0	3,5	3,0	3,14
4	7,0	2,5	1,3	3,0	4,0	4,90
5		3,0	1,5	2,3	5,0	7,10

Продолжение табл. 6.8

Номер профиля	Размеры, мм					Активная площадь $F_a$ , мм <sup>2</sup>
	$t$	$h$	$r$	$b$	$R$	
4		2,5	1,3	4,0	4,0	4,90
5	8,0	3,0	1,5	3,3	5,0	7,10
6		3,6	1,8	2,5	5,5	9,60
4У		2,5	1,3	4,0	4,0	4,9
5	9,0	3,0	1,5	4,3	5,0	7,1
6		3,6	1,8	3,5	5,5	6,6
5У		3,0	1,5	4,3	5,0	7,1
6	10	3,6	1,8	4,5	5,5	9,6
7		4,0	2,0	3,5	6,0	12,6
6У		3,6	1,8	4,5	5,5	9,6
7	11	4,0	2,0	4,5	6,0	12,6
8		4,5	2,3	4,0	7,0	15,9
7		4,0	2,0	5,5	6,0	12,6
8	12	4,5	2,3	5,0	7,0	15,9
9		5,0	2,5	4,0	8,0	19,6
7У		4,0	2,0	5,5	6,0	12,6
8	13	4,5	2,3	6,0	7,0	15,9
9		5,0	2,5	5,0	8,0	19,6
8У		4,5	2,3	6,0	7,0	15,9
9	14	5,0	2,5	6,0	8,0	19,6
10		6,0	3,0	4,5	10,0	28,3
8У		4,5	2,3	6,0	7,0	15,9
9	15	5,0	2,5	7,0	8,0	19,6
10		6,0	3,0	5,5	10,0	28,3
9У		5,0	2,5	7,0	8,0	19,6
10	16	6,0	3,0	6,5	10,0	28,3
11		7,0	3,5	5,0	11,0	38,5
9У		5,0	2,5	7,0	8,0	19,6
10	17	6,0	3,0	7,5	10,0	28,3
11		7,0	3,5	6,0	11,0	38,5
10		6,0	3,0	8,5	10,0	28,3
11	18	7,0	3,5	7,0	11,0	38,5
12		8,0	4,0	6,0	12,0	50,3
10У		6,0	3,0	8,5	10,0	28,3
11	19	7,0	3,5	8,0	11,0	38,5
12		8,0	4,0	7,0	12,0	50,3
11		7,0	3,5	9,0	11,0	38,5
12	20	8,0	4,0	8,0	12,0	50,3
13		9,0	4,5	6,0	14,0	63,6
11У		7,0	3,5	9,0	11,0	38,5
12	21	8,0	4,0	9,0	12,0	50,3
13		9,0	4,5	7,0	14,0	63,6

Продолжение табл. 6.8

Номер профиля	Размеры, мм					Активная площадь $F_a$ , мм <sup>2</sup>
	$t$	$h$	$r$	$b$	$R$	
11У		7,0	3,5	9,0	11,0	38,5
12	22	8,0	4,0	9,0	12,0	50,3
13		9,0	4,5	8,0	14,0	63,6
12У		8,0	4,0	9,0	12,0	50,3
13	24	9,0	4,5	10,0	14,0	63,6
14		10,0	5,0	8,5	16,0	78,5
12У		8,0	4,0	10,0	12,0	50,3
13У	25	9,0	4,5	10,0	14,0	63,6
14		10,0	5,0	9,5	16,0	78,5
12У		8,0	4,0	10,5	12,0	50,3
13У	26	9,0	4,5	10,0	14,0	63,6
14		10,0	5,0	10,5	16,0	78,5
13У		9,0	4,5	10,5	14,0	63,6
14У	28	10,0	5,0	10,5	16,0	78,5
15		12,0	6,0	9,5	20,0	113,1
13У		9,0	4,5	12	14,0	63,6
14У	30	10,0	5,0	12	16,0	78,5
15		12,0	6,0	11,5	20,0	113,1
13У		9,0	4,5	12,0	14,0	63,6
14У	32	10,0	5,0	12,0	16,0	78,5
15У		12,0	6,0	12,0	20,0	113,1

Примечания: 1. Удлиненная форма профиля У выполняется тем же резцом при его продольном перемещении.

2. Шаги чистовых и калибрующих зубьев ( $t_1, t_2, t_3$ ) неравномерные и устанавливаются в соответствии с данными табл. 6.8.

### 6.9. Подъемы, припуски на диаметр и число переходных зубьев

#### Круглые протяжки

Подъем на черновых зубьях на сторону $S_{z0}$ , мм	Число черновых зубьев	Подъем $S_{zn}$ на сторону на переходных зубьях, мм				Припуск на диаметр $A_{к.п.}$ , мм	Число переходных зубьев $z_{к.п.}$
		первую	вторую	третью	четвертую		
До 0,03	2; 3	—	—	—	—	—	—
	4; 5	—	—	—	—	—	—
0,04...0,06	2; 3	0,02	—	—	—	0,04	2
	4; 5	—	—	—	—	—	—
0,07...0,10	2; 3	0,04	0,03	—	—	0,14	4
	4; 5	0,02	—	—	—	0,04	2
0,11...0,15	2; 3	0,05	0,03	—	—	0,16	4
	4; 5	0,03	—	—	—	0,06	2

Продолжение табл. 6.9

Подъем на черновых зубьях на сторону $S_{z0}$ , мм	Число черновых зубьев	Подъем $S_{zn}$ на сторону на переходных зубьях, мм				Припуск на диаметр $A_{к.п.}$ , мм	Число переходных зубьев $z_{к.п.}$
		первую	вторую	третью	четвертую		
0,16...0,20	2; 3	0,08	0,06	0,03	—	0,34	6
	4; 5	0,05	0,03	—	—	0,16	4
0,21...0,25	2; 3	0,11	0,09	0,06	0,03	0,58	8
	4; 5	0,07	0,05	0,03	—	0,30	6
0,25...0,30	2; 3	0,14	0,09	0,06	0,03	0,64	8
	4; 5	0,09	0,06	0,03	—	0,36	6
0,30...0,40	2; 3	0,17	0,12	0,06	0,03	0,76	8
	4; 5	0,11	0,06	0,03	—	0,40	6

## Шлицевые протяжки

Подъем на черновых зубьях на сторону $S_{z0}$ , мм	Подъем на сторону на переходные зубья, мм		Припуск на диаметр $A_{ш.п.}$ , мм	Число переходных зубьев шлицевых $z_{ш.п.}$	Число переходных зубьев круглых $z_{к.п.}$
	$S_{n1}$	$S_{n2}$			
0,045	—	—	—	—	—
0,08	0,03	—	0,06	2	1
0,14	0,06	0,03	0,18	4	2
0,14	0,08	0,04	0,24	4	2

6.10. Подъемы, припуски, число чистовых и калибрующих зубьев

## Круглые и плоские протяжки

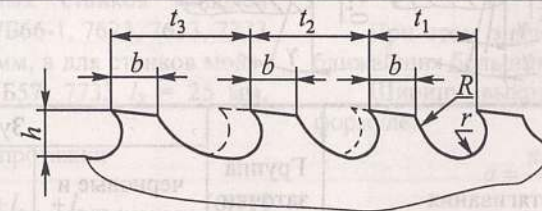
Группа качества	Число секций из двух зубьев при подаче $S_{zч}$ , мм			Общее число чистовых зубьев $z_{к.ч.}$	Припуск на чистовую часть на диаметр $A_{к.ч.}$ , мм	Число калибрующих зубьев $z_{к.к.}$
	0,02	0,01	0,005			
1	2	2	2	12	0,14	7
2	1	2	2	10	0,10	6
3	1	2	—	6	0,08	5
4	1	1	—	4	0,06	4

Продолжение табл. 6.10

## Шлицевые протяжки

Зубья	Группа качества	Число зубьев или число групп из двух зубьев при подъеме $S_{z4}$ , мм		Общее число зубьев или число групп из двух зубьев $z_{ш.ч.}$	Припуск на диаметр $A_{ш.ч.}$ , мм	Число калибрующих зубьев $z_{ш.к.}$
		0,02	0,01			
Шлицевые	1	2	3	5	0,14	5
	2	1	2	3	0,08	4
	3	2	—	2	0,08	3
Круглые	1; 2	2	2	4	0,12	4
	3	2	1	3	0,10	3

6.11. Шаги чистовых и калибрующих зубьев, мм



$t$	$t_3$	$t_2$	$t_1$	$t$	$t_3$	$t_2$	$t_1$
4,0	$t_1 + 1$	$t_1 + 0,5$	4,0	15	$t_1 + 2$	$t_1 + 1$	11
4,5			4,0	16			11
5,0			4,0	17			12
5,5			4,0	18			13
6,0			4,5	19			14
6,5			5,0	20			14
7,0	$t_1 + 2$	$t_1 + 1$	5,5	21	$t_1 + 4$	$t_1 + 2$	15
8,0			6,0	22			16
9,0			6,0	24			17
10,0			7,0	25			18
11,0			7,0	26			19
12,0			8,0	28			20
13,0	$t_1 + 4$	$t_1 + 2$	9,0	30	$t_1 + 4$	$t_1 + 2$	20
14,0			10,0	32			22

Примечание. Размеры профиля чистовых и калибрующих зубьев  $h$ ,  $b$ ,  $r$  устанавливаются для всех трех шагов одинаковыми в зависимости от шага черновых зубьев  $t$ .

## 6.12. Геометрические параметры режущих частей протяжек



Условия протягивания	Группа заточки зубьев	Зубья				
		черновые и переходные		чистовые и калибрующие		
		форма	$\gamma, ^\circ$	форма	$\gamma, ^\circ$	$\gamma_1, ^\circ$
Сталь I группы обрабатываемости и материалы X группы обрабатываемости	I	A	20	A	20	
Сталь II и III групп обрабатываемости	II		15		18	
Сталь IV и V групп обрабатываемости	III		10	B	10	
Чугун ковкий VI и VII групп обрабатываемости	IV		10		10	0...5
Чугун серый VI и VII групп обрабатываемости, бронза, латунь VIII и IX групп обрабатываемости	V		10	B	10	-5...0

Примечания: 1. Для протяжек диаметром до 20 мм допускается передний угол  $\gamma = 10^\circ$ .

2. Задний угол для черновых и переходных зубьев  $\alpha = 3^\circ$ , чистовых  $\alpha = 2^\circ$ , калибрующих  $\alpha = 1^\circ$ .

Общая длина рабочей части протяжки

$$l_p = l(z_1 + z_2) + \Sigma t_{\text{ч}} + \Sigma t_{\text{к}}, \quad (6.9)$$

где  $\Sigma t_{\text{ч}}$  и  $\Sigma t_{\text{к}}$  – суммы переменных шагов соответственно чистовых и калибрующих зубьев.

Расстояние от переднего торца протяжки до первого зуба определяют по формуле:

$$l' = l_1 + l_2 + l_3 + l + 25. \quad (6.10)$$

Размер  $l_1$  принимают в зависимости от диаметра  $D$  хвостовика:

$D \times b, \text{ мм}^2$	12 × 20	22 × 28	32 × 50	55 × 70
$l, \text{ мм}$	115	150	160	205

Для протяжных станков моделей 7Б64, 7Б65, 7Б66, 7Б66-1, 7623, 7633, 7723  $l_2 = 15 \text{ мм}$ ,  $l_3 = 50 \text{ мм}$ , а для станков моделей 7Б55, 7Б56, 7Б57, 7733  $l_2 = 25 \text{ мм}$ ,  $l_3 = 40 \text{ мм}$ .

Общая длина протяжки

$$L = l' + l_p + l_{3.н.} + l_{3.хв.} \quad (6.11)$$

Общая длина протяжки не должна превышать хода протяжного станка и наибольшего расстояния между центрами шлифовального и заточного станков. Следует также учитывать размеры ванн и устройств для термообработки. В случае необходимости обработку следует вести комплектом из двух протяжек.

10. Для облегчения формирования и удаления стружки на режущих зубьях одинарных протяжек изготавливают стружкоразделительные канавки. Число и размеры стружкоразделительных канавок приведены в табл. 6.13, 6.14.

11. Припуск, срезаемый каждым зубом протяжки переменного резания, равномерно распределяется между расположенными на равном расстоянии друг от друга режущими секторами, число которых, а следовательно, и число выкружек  $N$

определяют по формуле:

$$i = \frac{l_z}{b}, \quad (6.12)$$

где  $l_z = \frac{\pi D}{z_c}$  – часть периметра, приходя-

щегося на каждый зуб секции;  $b$  – ширина режущего сектора;  $b = (1,1 \dots 1,3)\sqrt{D}$  при  $D < 100 \text{ мм}$  и  $b = 10 \dots 12 \text{ мм}$  при  $D > 100 \text{ мм}$ . Подставив в формулу (6.12) значения  $l_z$  и  $b$ , получим:

для  $D < 100 \text{ мм}$

$$N = \frac{(2,4 \dots 3,1)\sqrt{D}}{z_c}; \quad (6.13)$$

для  $> 100 \text{ мм}$

$$N = \frac{(0,25 \dots 0,3)\sqrt{D}}{z_c}. \quad (6.14)$$

При этом значения  $N$  округляют до ближайших больших четных чисел.

Ширину выкружки определяют по формуле:

$$a = \frac{\pi D(z_c - 1)}{N z_c}. \quad (6.15)$$

Число выкружек и ширина черновых и чистовых зубьев приведены соответственно в табл. 6.15, 6.16; а радиусы выкружек и наибольшие допустимые радиусы шлифовальных кругов – в табл. 6.17.

Повышение качества обработанных поверхностей может быть достигнуто путем использования комбинированных протяжек, в которых после режущих и калибрующих зубьев размещаются выглаживающие элементы. Комбинированные протяжки изготавливают сборными. В зависимости от конструкции и точности обработки рабочие элементы устанавливают на базовые поверхности по посадкам Н7/н6, Н6/н5, Н6/г5. Возможны два варианта конструктивного выполнения таких протяжек: с жестким (резьбовым) и подпружиненным креплением выглаживающей части (рис. 6.4). Режущая часть таких протяжек может быть выполнена из быстрорежущей стали или твердого сплава.

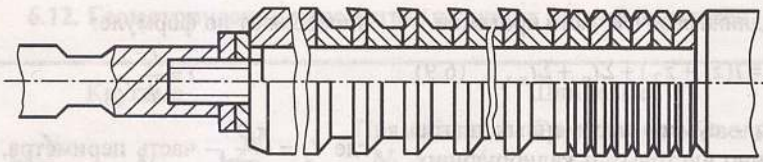
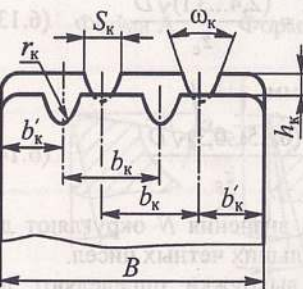


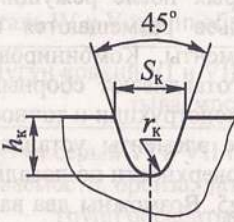
Рис. 6.4. Сборная комбинированная протяжка

6.13. Число и размеры стружкоразделительных канавок для шпоночных, шлицевых и многогранных протяжек [38]



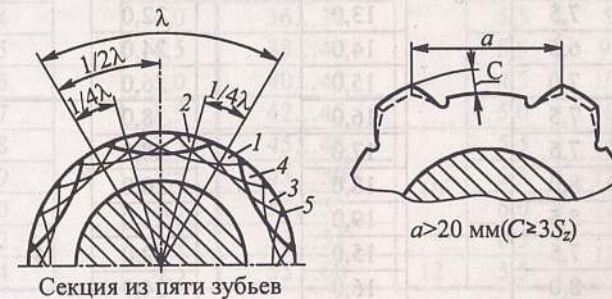
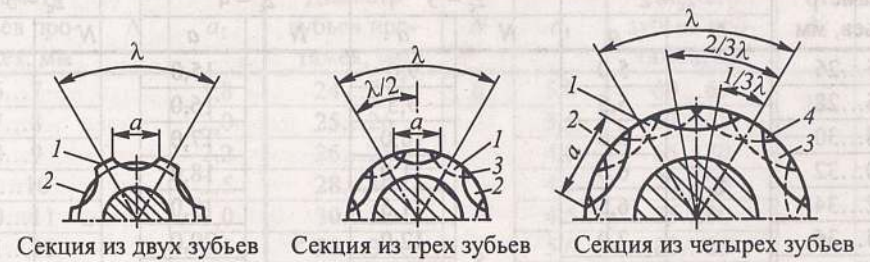
	Ширина зубьев протяжек $B$ , мм	Число канавок $n$	Размеры канавок, мм		
			$S_k$	$h_k$	$r_k$
	6...7,9	1	1,0...1,2	0,5...0,7	0,2...0,3
	8...10	1			
	10...20	2			
	20...30	3			
	30...45	4			
	45...60	6			
	60...75	8			
	75...100	10			
	100...125	12			
	125...150	14			

6.14. Число и размеры стружкоразделительных канавок для круглых протяжек



Диаметр протяжек, мм	Число канавок $n$	Размеры канавок, мм					
		$S_k$	$h_k$	$r_k$			
10...13	6	0,8...1,0	0,5...0,7	0,2...0,3			
13...16	8						
16...20	10						
20...25	12						
25...30	14						
30...35	16						
35...40	18				1,0...1,2	0,7...0,8	0,3...0,4
40...45	20						
45...50	22						
50...55	24						
55...60	28						
60...65	30						
65...70	32						
70...75	34						
75...80	36						

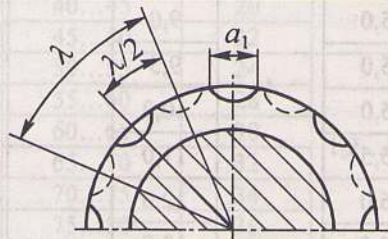
6.15. Число и размеры выкружек на черновых зубьях круглых протяжек



Диаметр зубьев, мм	$z_c = 2$		$z_c = 3$		$z_c = 4$		$z_c = 5$		
	$N$	$a$	$N$	$a$	$N$	$a$	$N$	$a$	
6...7		2,5							
7...8		3,0							
8...9		3,5							
9...10	4	4,0	-	-	-	-	-	-	
10...11		4,5							
11...12		5,0							
12...13		5,5							
14...15		6,0							
15...16	6	4,0	4	8,0	-	-	-	-	
16...17		4,5							8,5
17...18		5,0							9,0
18...19		5,0							9,5
19...20		5,0							10,0
20...22		5,5							11,0
22...24		6,0							12,0
24...25		6,5							13,0

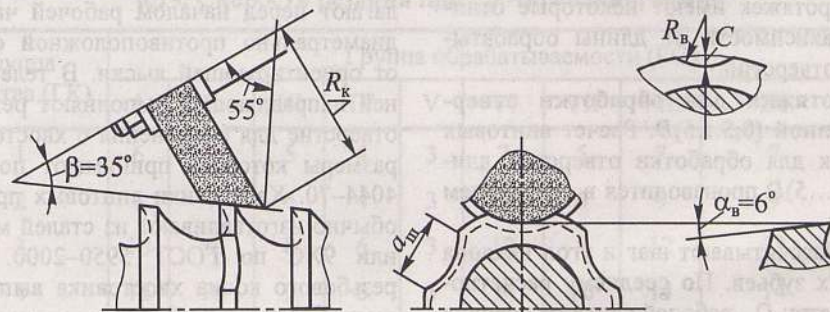
Продолжение табл. 6.15

Диаметр зубьев, мм	$z_c = 2$		$z_c = 3$		$z_c = 4$		$z_c = 5$		
	$N$	$a$	$N$	$a$	$N$	$a$	$N$	$a$	
25...26	8	5,0	6	9,0	4	15,0	-	-	
26...28		5,5		9,5		16,0			
28...30		6,0		10,0		17,0			
30...32		6,0		11,0		18,0			
32...34		6,5		11,5		19,0			
34...36		7,0		12,0		20,0			
36...38		7,5		13,0		21,0			
38...40		7,5		13,0		22,0			
40...42	10	6,5	8	14,0	6	24,0	4	30,0	
42...45		7,0		15,0		26,0			
45...48		7,5		16,0		28,0			
48...50		7,5		17,0		28,0			
50...52		8,0		18,0		20,0			32,0
52...55		8,5		19,0		21,0			34,0
55...60		7,5		15,0		22,0			36,0
60...63		12		8,0		10			16,0
63...65	8,5		17,0	25,0					
65...70	9,0		18,0	26,0					
70...75	9,5		19,0	28,0					
75...80	9,0		20,0	30,0	32,0				
80...85	9,5		21,0	32,0	34,0				
85...90	10,0		22,0	34,0	36,0				
90...95	10,5		24,0	36,0	38,0				
95...100	14	11,0	12	25,0	10	36,0	8	40,0	
100...105		10,0		21,0		30,0			42,0
105...110		11,0		22,0		32,0			45,0
110...120		11,5		24,0		34,0			48,0
120...125		12,0		26,0		36,0			52,0
125...130		12,0		26,0		38,0			55,0
130...140		13,0		28,0		40,0			55,0

6.16. Число и размеры выкружек на чистовых зубьях круглых протяжек ( $z_c = 2$ )

Продолжение табл. 6.16

Диаметр зубьев про- тяжек, мм	$N$	$a_1$	Диаметр зубьев про- тяжек, мм	$N$	$a_1$	Диаметр зубьев про- тяжек, мм	$N$	$a_1$
6...7	4	1,8	24...25	8	5,0	60...63	12	6,0
7...8		2,0	25...26		3,5	63...65		6,5
8...9		2,2	26...28		4,0	65...70		6,5
9...10		2,5	28...30		4,5	70...75		7,5
10...11		3,0	30...32		4,5	75...80		7,0
11...12		3,5	32...34		5,0	80...85		7,5
12...13		4,0	34...36		5,0	85...90		8,0
13...14		4,0	36...38		5,5	90...95		8,5
14...15	6	4,5	38...40	10	5,5	95...100	16	9,0
15...16		3,0	40...42		4,5	100...105		7,0
16...17		3,5	42...45		5,0	105...110		8,0
17...18		3,5	45...48		5,5	110...120		8,5
18...19		3,5	45...50		5,5	120...125		9,0
19...20		3,5	50...52		6,0	125...130		9,0
20...22		4,0	52...55		6,5	130...140		10,0
22...24		4,5	55...60		12			

6.17. Максимальные радиусы выкружек  $R_B$  и радиусы шлифовальных кругов  $R_K$  в зависимости от диаметров протяжек и ширины выкружек

Ширина выкружки $a_{ш}$ , мм	Диаметр протяжки, мм													
	До 10		10...18		18...30		30...50		50...80		80...120		120...180	
	$R_K$	$R_B$	$R_K$	$R_B$	$R_K$	$R_B$	$R_K$	$R_B$	$R_K$	$R_B$	$R_K$	$R_B$	$R_K$	$R_B$
До 3														
3...4	22,5	27	22,5	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4...6					25	30	25	30						
6...8									25	30				
8...10											30	36		
10...12	-	-	-	-	-	-	30	36	30	36				
12...15									35	42	35	42	40	48
15...20											40	48	45	54

### 6.4. Винтовые протяжки

Винтовые протяжки применяют для обработки круглых отверстий диаметром 4...32 мм практически любой длины с точностью Н7–Н9 и шероховатостью обработанных отверстий  $Ra \leq 2,5$  мкм. Ограничения по диаметру обрабатываемых отверстий связаны с трудностью борьбы с винтовой волнистостью, появляющейся на обработанных поверхностях отверстий. Винтовые протяжки изготавливают сборными, когда рабочие части и хвостовики соединяют с помощью резьбы. Исходные данные для проектирования винтовых протяжек те же, что и для проектирования обычных протяжек с кольцевыми зубьями. Различие заключается лишь в том, что при обработке глубоких ( $L > 5D$ ) и сверхглубоких ( $L > (30...60)D$ ) отверстий протяжки имеют хвостовики, длина которых соответствует длине обрабатываемых отверстий, и для обработки применяют, как правило, комплекты протяжек. Исходя из этих особенностей, методики расчета винтовых протяжек имеют некоторые отличия в зависимости от длины обрабатываемых отверстий.

**Протяжки для обработки отверстий длиной  $(0,5...5)D$ .** Расчет винтовых протяжек для обработки отверстий длиной  $(0,5...5)D$  производится в следующем порядке:

1. Рассчитывают шаг и угол наклона винтовых зубьев. По среднему расчетному диаметру  $D_{cp}$  рабочей части из условия обеспечения угла наклона винтовых зубьев  $\omega = 42^\circ$  определяют требуемый шаг  $H$  винтовых зубьев. Полученное значение  $H$  округляют до ближайшего большего значения, которое может быть обеспечено

6.18. Шаги винтовых канавок, мм

25,00	35,00	43,60	51,00	54,00	58,20
64,00	70,00	73,50	76,20	81,00	86,40
88,90	90,00	98,00	103,00	108,00	112,00
117,90	120,00	122,50	123,75	125,00	128,00

при фрезеровании винтовых стружечных канавок (табл. 6.18). После этого уточняют средний расчетный угол  $\omega$  наклона винтовых зубьев.

2. Выбирают размеры передней направляющей и сопрягаемые размеры хвостовика. Диаметр передней направляющей принимают равным минимальному диаметру предварительно обработанного отверстия. Длина передней направляющей должна быть не менее 95 мм. Причем этот размер может быть скорректирован в любую сторону в зависимости от размеров устройств крепления и ориентации протяжки при фрезеровании винтовых канавок и заточке винтовых зубьев по передней поверхности. В начале передней направляющей делают небольшой заборный конус длиной 3 мм под углом  $15^\circ$ . По всей длине передней направляющей выполняют лыску для однозначной ориентации заготовки при фрезеровании винтовых канавок и заточки винтовых зубьев. Для свинчивания и разборки с хвостовиком делают лыску под ключ, которую располагают перед началом рабочей части на диаметрально противоположной стороне от ориентирующей лыски. В теле передней направляющей выполняют резьбовое отверстие для соединения с хвостовиком, размеры которого принимают по ГОСТ 4044–70. Хвостовики винтовых протяжек обычно изготавливают из сталей марок X или 9XC по ГОСТ 5950–2000. Около резьбового конца хвостовика выполняют лыску под ключ. Длину соединительной части хвостовика определяют после расчета оптимального варианта рабочей части винтовой протяжки [7].

3. Определяют максимально допустимую силу резания при протягивании.

На теле хвостовика имеется два опасных сечения: 1) проточка на замковой части хвостовика и 2) внутренний диаметр резьбы. По минимальной площади одного из этих сечений рассчитывают максимально допустимую силу резания:

$$[P_z] = \frac{650}{\sqrt{F_{оп}^2 + 0,0124 \frac{H^2}{W_p^2}}}, \quad (6.16)$$

где  $F_{оп}$  – площадь опасного сечения хвостовика;  $W_p$  – момент сопротивления кручению по опасному сечению хвостовика.

Если эта сила меньше тягового усилия станка, то ее используют в дальнейших расчетах. В противном случае максимально допустимую силу резания определяют исходя из возможностей протяжного станка.

4. Устанавливают группы обрабатываемости и качества детали [30].

5. Рассчитывают максимально допус-

тимую подачу для черновой части протяжки. Для этого допустимую подачу предварительно выбирают в зависимости от группы обрабатываемости материала заготовки и качества обработанного отверстия (табл. 6.19 и 6.20), а затем рассчитывают подачу с учетом максимально допустимой силы резания:

$$S_z = \frac{HP_z}{LzDK_m K_{po}} 1,83305 \cdot 10^{-3} - 0,0178232, \quad (6.17)$$

где  $L$  – длина отверстия (обрабатываемой поверхности);  $z$  – число винтовых зубьев;  $K_m$  – коэффициент, учитывающий влияние группы обрабатываемости и марки обрабатываемого материала (табл. 6.21);  $K_{po}$  – коэффициент, учитывающий наличие стружкоразделительных канавок,  $K_{po} = 0,8$  – при наличии стружкоразделительных канавок и  $K_{po} = 1$  – при их отсутствии.

6.19. Скорость резания при протягивании, м/мин

Группа качества (ГК)	Группа обрабатываемости (ГО)									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1	6	6	5	4	3	7	5	7	7	3
2	8	7	6	4	3	9	6	9	9	5
3	10	9	8	6	3	12	8	12	12	7
4	12	10	9	6	3	14	10	14	14	9

6.20. Максимально допустимая подача, мм

Скорость резания, м/мин	Группа обрабатываемости (ГО)									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
До 3	–	–	–	0,10	0,04	–	–	–	–	–
» 6	0,25	0,20	0,16	0,06	0,04	–	0,20	–	–	0,20
» 10	0,20	0,18	0,14	–	–	0,20	0,20	0,20	0,18	0,20
» 15	0,20	–	–	–	–	0,20	–	0,20	0,16	–



6.21. Поправочный коэффициент  $K_M$  на удельную силу резания

Обрабатываемый материал		Твердость НВ	Коэффициент $K_M$
Сталь I–V групп обрабатываемости	после закалки и отпуска	285	0,92
		285...336 336...375	1,00 1,08
	в отожженном, нормализованном и горячекатаном состоянии	130...321	0,77
Инструментальные, легированные и быстрорежущие стали		204...229	1,08
Чугуны VI и VII групп обрабатываемости		<229	0,39
		>229	0,54
Бронзы, латуни VIII и IX групп обрабатываемости		<110	0,31
Алюминиевые сплавы X группы обрабатываемости		<110	0,31

Сила резания при принятых подаче и числе зубьев:

$$P_z = Lz(3,095 + 173,65S_z)K_M K_{p0} \operatorname{tg} \omega. \quad (6.18)$$

Независимо от обрабатываемого материала углы зубьев винтовых протяжек принимают следующими: передний угол  $\gamma_n = 4^\circ$ , задний угол  $-\alpha = 3^\circ$ .

Из двух подач выбирают минимальную, по которой рассчитывают требуемую глубину стружечных канавок:

$$h = 1,446\sqrt{LS_z}. \quad (6.19)$$

Эту глубину сравнивают с предельно допускаемой глубиной  $[h]$ , которую берут минимальной из двух значений глубин:

$$h_1 = 0,4 \frac{H}{z} \sin \omega; \quad (6.20)$$

$$h_2 = 0,5D_{cp}(1 - \sin \nu_n), \quad (6.21)$$

где угол  $\nu_n = \arctg \cos \omega$ .

Если  $h > [h]$ , то подачу уменьшают. В противном случае,  $h = [h]$ .

Указанные выше расчеты первоначально выполняют для протяжки с числом винтовых зубьев  $z = 2$ . Последующие расчеты проводят при увеличении первоначального числа зубьев на два зуба (нечетное число зубьев не используют из-за трудности контроля диаметра инструмен-

та). Окончательное решение о числе винтовых зубьев протяжки принимают на этапе оптимизации конструкции инструмента.

6. Выбирают чистовую часть протяжки. Минимальный припуск на чистовую часть и число шагов калибрующей части винтовой протяжки принимают по табл. 6.22. Припуск на чистовую часть протяжки увеличивают, если длина этой части протяжки в сумме с осевым шагом винтовых зубьев окажется меньше длины протягиваемого отверстия. Тогда длину чистовой части принимают равной указанной сумме длин. Оставшуюся часть припуска относят к черновой части, по которой рассчитывают ее длину. Подача на чистовой части протяжки равна 0,04 мм. Если разница подач на черновой и чистовой частях будет более 0,01 мм, то рабочую часть протяжки берут двухконусной. В противном случае рабочую часть протяжки берут одноконусной, а ее длину рассчитывают исходя из условия обеспечения подачи, равной 0,04 мм. Если подача на черновой части протяжки окажется меньше 0,04 мм, то протяжку также выполняют одноконусной и обеспечивают подачу черновой части на всей длине инструмента.

## 6.22. Некоторые параметры чистовой и калибрующей частей винтовой протяжки

Группа качества (ГК)	Минимальный припуск на чистовую часть $A_2$ , мм	Число осевых шагов зубьев в калибрующей части, $z_k$
1	0,14	3
2	0,10	3
3	0,06	2
4	—	2

Длину рабочей части винтовой протяжки при принятом значении подачи  $S_z$  при срезании припуска  $A_i$  определяют по формуле:

$$l_i = \frac{A_i H}{2S_{z_i} z}. \quad (6.22)$$

7. Оптимизируют конструкцию винтовой протяжки. Путем расчета нескольких вариантов конструкций протяжек при последовательном увеличении числа винтовых зубьев определяют длины рабочих частей протяжек. Из них за оптимальную принимают ту, которая имеет минимальную длину. Однако явный минимум не всегда является признаком оптимальности, поэтому с увеличением числа винтовых зубьев сравнивают абсолютное значение уменьшения длины рабочей части  $\Delta_L$  с удвоенным осевым шагом винтовых зубьев предыдущего варианта рабочей части протяжки. Если  $|\Delta_L| \leq 2t$ , то в каче-

стве оптимальной принимают протяжку по рассчитанному варианту.

8. Рассчитывают размеры соединительной части хвостовика [7]. Для этого предварительно определяют предельно допускаемую подачу чистовой части:

$$S_{zp} = \frac{2,45 \cdot 10^{-3}}{D_{max}} \sqrt{\frac{A}{D}}, \quad (6.23)$$

где  $D_{max}$  – максимальный диаметр калибрующей части протяжки;  $A$  – коэффициент масс частей протяжки,  $B$  – коэффициент жесткости этих же частей.

$$A = \sum l_i D_i^2; \quad (6.24)$$

$$B = \sum \frac{l_i}{D_i^2}. \quad (6.25)$$

В этих формулах  $l_i$  и  $D_i$  – соответственно длина и диаметр составляющих частей (кроме соединительной части хвостовика) протяжки (рис. 6.5).

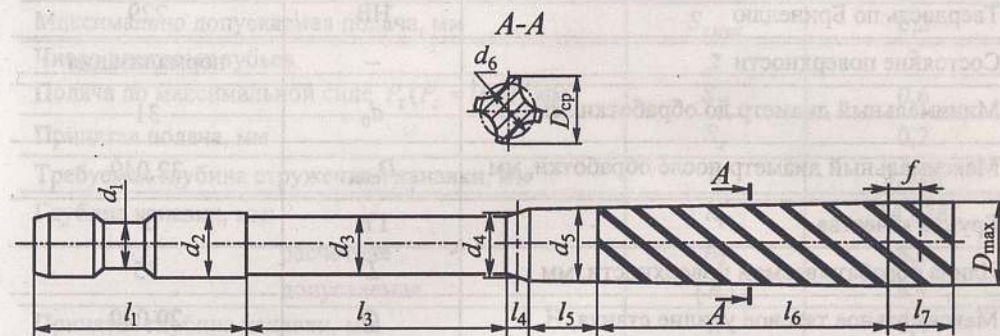


Рис. 6.5. Винтовая протяжка

Затем рассчитывают диаметр соединительной части хвостовика протяжки, соответствующий предельно допускаемой подаче:

$$D_{3p} = \sqrt[4]{166436,4(S_z D_{\max})^2} \quad (6.26)$$

Если  $S_z < S_{zp}$ , то диаметр соединительной части  $D_3 = 0,8D_{3p}$ . Полученный размер  $D_3$  округляют в меньшую сторону до числа, кратного 0,1 мм. Если указанное условие не выполняется, то диаметр соединительной части берут на 0,5 мм меньше диаметра замковой части переднего хвостовика.

9. Определяют параметры винтовых стружкоразделительных канавок [5, 6]. Последние выполняют по винтовым линиям, которые совпадают с направлением винтовых зубьев инструмента. Профиль этих канавок несимметричный – одна сторона перпендикулярна плоскости резания, а дно стружкоразделительных канавок параллельно наружной образующей черновой части протяжки. Стружкоразделительные канавки характеризуются следующими параметрами:

### 6.23. Исходные данные для расчета винтовой протяжки

Наименование параметра	Обозначение	Принятое значение
Материал детали	–	сталь 45
Группа обрабатываемости	ГО	1
Твердость по Бринеллю	НВ	229
Состояние поверхности	–	нормализация
Минимальный диаметр до обработки, мм	$d_0$	31
Максимальный диаметр после обработки, мм	$D_{\max}$	32,049
Группа качества	ГК	2
Длина обрабатываемой поверхности, мм	$L$	35
Максимальное тяговое усилие станка, Н	$Q$	20 000
Диаметр хвостовика, мм	$D_{хв}$	28

– число стружкоразделительных канавок

$$n = \pi \sqrt{D_{cp}}, \quad (6.27)$$

полученное значение округляют до ближайшего четного числа;

– окружной шаг канавок

$$b = \frac{\pi D_{cp}}{n}; \quad (6.28)$$

– угол наклона стружкоразделительных канавок

$$\omega_1 = \arctg \frac{1}{\frac{2t}{b} + \frac{1}{\operatorname{tg} \omega}}, \quad (6.29)$$

где  $t$  – осевой шаг винтовых зубьев,  $t = H/z$ ;

– угол профиля стружкоразделительной канавки

$$\varphi = \arctg \frac{\sin \omega_1}{\sin \alpha}. \quad (6.30)$$

**Пример расчета винтовой протяжки.** Исходные данные представлены в табл. 6.23, а расчет режущей части при числе зубьев  $z = 2$  – в табл. 6.24.

### 6.24. Расчет винтовой протяжки

Наименование рассчитываемого или выбираемого параметра	Обозначение	Численное значение
Поправочный коэффициент на удельную силу резания	$K_M$	0,77
Максимальный диаметр калибрующей части, мм	$D_{\max}$	32,049
Средний диаметр рабочей части, мм	$D_{cp}$	31,524
Требуемый шаг винтовой стружечной канавки, мм	$H'$	109,99
Принятый шаг винтовой стружечной канавки, мм	$H$	112
Угол наклона винтовых зубьев, °	$\omega$	41,485
Диаметр передней направляющей, мм	$D_4$	31
Длина передней направляющей, мм	$l_4$	95
Размеры хвостовика, мм:		
диаметр проточки	$D_1$	19
длина проточки	$l_1$	25
диаметр цилиндрической части	$D_2$	28
длина цилиндрической части	$l_2$	70
размер по лыске	$h_n$	21,5
лыски под ключ	$S_n$	19
длина замковой части хвостовика	$l$	120
Размеры резьбового соединения, мм:		
резьба	$d_p$	18×1,5
внутренний диаметр, мм	$d_{вн}$	16,376
площадь по опасному сечению резьбы, мм <sup>2</sup>	$F_{оп}$	210,6
длина резьбы, мм	$l_p$	37
Момент сопротивления кручению, мм <sup>3</sup>	$W_p$	826,29
Сила резания, допускаемая прочностью хвостовика, Н	$[P_z]$	4107,9
Максимально допускаемая подача, мм	$S_{z \max}$	0,2
Число винтовых зубьев	$z$	2
Подача по максимальной силе $P_z (P_z = [P_z])$ , мм	$S_{z1}$	0,6
Принятая подача, мм	$S_z$	0,2
Требуемая глубина стружечной канавки, мм	$h$	3,826
Глубина канавки, мм:		
расчетная	$h_1$	14,838
допускаемая	$h_2$	8,4
	$[h]$	8,4
Принятая глубина канавки, мм	$h$	8,4
Осевой шаг зубьев, мм	$t$	56

Продолжение табл. 6.24

Наименование рассчитываемого или выбираемого параметра	Обозначение	Численное значение
Устройство чистой части:		
припуск, мм	$A_2$	0,1
подача, мм	$S_{z2}$	0,04
число шагов на калибрующей части	$z_k$	3
длина чистой части, мм	$l_{\text{чист}}$	70
Общий припуск под протягивание, мм	$A_0$	1,049
Припуск на черновую часть, мм	$A_1$	0,949
Длина черновой части, мм	$l_{\text{черн}}$	132,86
Длина калибрующей части, мм	$l_k$	168
Длина рабочей части, мм	$l_{\text{рч}}$	370,86
Удвоенный шаг, мм	$T$	112

По мере увеличения числа винтовых зубьев изменяются размеры и устройство рабочей части (табл. 6.25).

После того как рассчитана оптимальная конструкция протяжки (длина рабочей части), выполняют расчет соеди-

нительной части хвостовика (табл. 6.26). Расчетные размеры протяжки при  $z = 8$  показаны на рис. 6.6.

Расчетные параметры стружкоразделительных канавок показаны непосредственно на эскизе винтовой протяжки (см. рис. 6.6).

### 6.25. Варианты рабочей части протяжки

Обозначение рассчитываемых параметров	Численные значения параметров винтовых протяжек при числе зубьев			Обозначение рассчитываемых параметров	Численные значения параметров винтовых протяжек при числе зубьев		
	4	6	8		4	6	8
$S_{z1}$ , мм/зуб	0,29238	0,18898	0,13728	$A_2$ , мм	0,18	0,23	0,28
$S_z$ , мм/зуб	0,2	0,18898	0,13728	$A_1$ , мм	0,869	0,819	0,769
$h$ , мм	3,826	3,719	3,17	$l_{\text{черн}}$ , мм	60,83	40,44	39,2
$h_1$ , мм	7,4	4,946	3,7	$l_k$ , мм	84	56	42
$h_2$ , мм	6,3	6,3	6,3	$l_{\text{рч}}$ , мм	207,83	150,14	130,2
$[h]$ , мм	6,3	4,946	3,7	$\Delta_L$ , мм	-163,03	-57,68	-19,9
$t$ , мм	28	18,7	14	$ \Delta_L  < T$	Нет	Нет	Да
$l_{\text{чист}}$ , мм	63	53,7	49	$T$ , мм	56	37,3	-

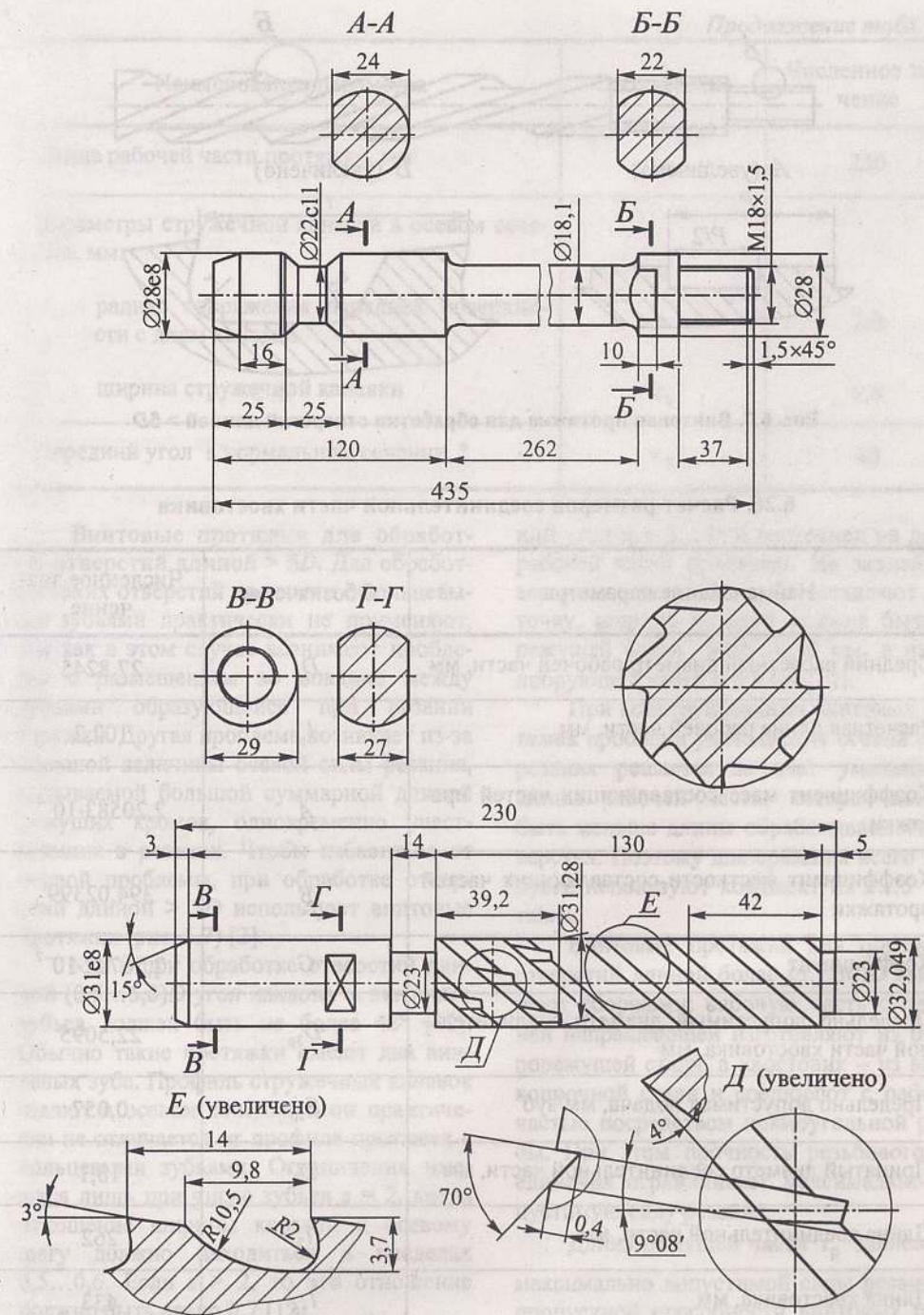
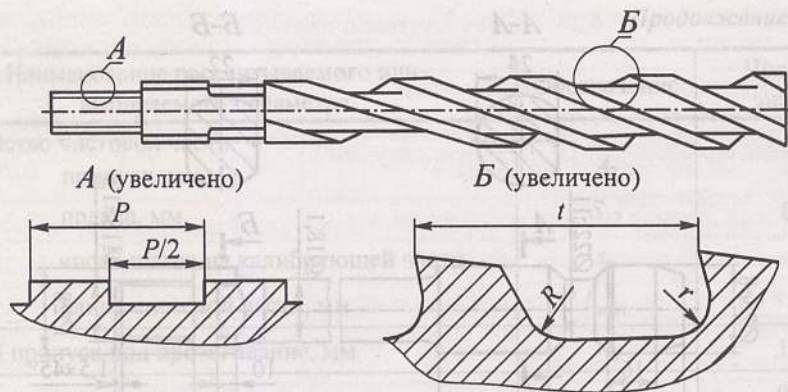


Рис. 6.6. Сборная винтовая протяжка для обработки отверстия диаметром  $\varnothing 32,049$  мм и длиной  $(0,5...5,0)D$

Рис. 6.7. Винтовая протяжка для обработки отверстий длиной  $> 5D$ 

## 6.26. Расчет размеров соединительной части хвостовика

Наименование параметра	Обозначение	Численное значение
Средний расчетный диаметр рабочей части, мм	$D_5$	27,8245
Расчетная длина рабочей части, мм	$l_p$	102,2
Коэффициент масс составляющих частей протяжки	$A$	$2,20583 \cdot 10^{-4}$
Коэффициент жесткости составляющих частей протяжки	$B$	394,02399
Коэффициент	$G$	$2,56722 \cdot 10^{-7}$
Предельно допустимый диаметр соединительной части хвостовика, мм	$D_{3p}$	22,5095
Предельно допустимая подача, мм/зуб	$S_{zp}$	0,057
Принятый диаметр соединительной части, мм	$D_3$	18,1
Длина соединительной части, мм	$l_3$	262
Длина хвостовика, мм	$l_{хв}$	433
Длина протяжки в сборе, мм	$L_n$	626

Продолжение табл. 6.26

Наименование параметра	Обозначение	Численное значение
Длина рабочей части протяжки, мм	$l_{рч}$	230
Параметры стружечной канавки в осевом сечении, мм:		
радиус сопряжения передней поверхности с дном канавки	$r$	2,0
ширина стружечной канавки	$z_c$	9,8
Передний угол в нормальном сечении, °	$\gamma_N$	40

Винтовые протяжки для обработки отверстий длиной  $> 5D$ . Для обработки таких отверстий протяжки с кольцевыми зубьями практически не применяют, так как в этом случае возникают проблемы с размещением во впадине между зубьями образующейся при резании стружки. Другая проблема возникает из-за большой величины осевой силы резания, вызываемой большой суммарной длиной режущих кромок, одновременно участвующих в резании. Чтобы избавиться от первой проблемы, при обработке отверстий длиной  $> 5D$  используют винтовые протяжки (рис. 6.7) [2].

Как и при обработке отверстий длиной  $(0,5...5,0)D$  угол наклона  $\omega$  винтовых зубьев должен быть не более  $42^\circ$  [12]. Обычно такие протяжки имеют два винтовых зуба. Профиль стружечных канавок задают в осевом сечении и он практически не отличается от профиля протяжек с кольцевыми зубьями. Ограничения имеются лишь при числе зубьев  $z = 2$ , когда отношение ширины канавки к осевому шагу должно находиться в пределах  $0,5...0,6$ . Если  $z > 2$ , то это отношение должно быть равно  $0,7$  [12].

У винтовых протяжек передний угол в нормальном сечении зуба независимо от обрабатываемого материала  $\gamma_n = 4^\circ$ , а зад-

ний угол  $\alpha = 2...3^\circ$  и постоянен на длине рабочей части протяжки. На задней поверхности винтового зуба оставляют ленточку, ширина которой должна быть на режущей части  $0,05...0,10$  мм, а на калибрующей части  $\leq 0,3$  мм [12].

При конструировании винтовых протяжек проблема уменьшения осевой силы резания решается за счет уменьшения длины рабочей части, которая должна быть меньше длины обрабатываемого отверстия. Поэтому для срезания всего припуска используют комплект из  $2...5$  протяжек.

Винтовые протяжки для обработки отверстий длиной более  $(5...30)D$  выполняют сборными: рабочую часть с передней направляющей изготавливают из быстрорежущей стали, а хвостовик – из высокопрочной стали и соединяют с рабочей частью посредством прямоугольной резьбы. При этом прочность резьбового соединения ограничивает максимально допустимую силу резания.

Длина режущей части  $l_p$  зависит от максимально допустимой силы резания и пропускной способности винтовых стружечных канавок. Максимально допустимую силу резания  $[P_z]D$  определяют так же, как и у протяжек, применяемых для

обработки отверстий длиной  $(0,5...5,0)D$ . Для этого можно воспользоваться формулой (6.16), в которой  $F_{оп}$  и  $W_p$  определяют по внутреннему диаметру соединительной резьбы. Силу резания в процессе протягивания рассчитывают по формуле, Н:

$$P_z = 9,8 l_p z (3,095 + 173,65 S_z) K_M K_{po} \operatorname{tg} \omega < [P_z]. \quad (6.31)$$

Тогда максимально допускаемая длина режущей части:

$$l_p \leq \frac{[P_z]}{9,8 l_z (3,095 + 173,65 S_z) K_M K_{po} \operatorname{tg} \omega}. \quad (6.32)$$

Размеры стружечных канавок рассчитывают из условий свободного размещения и надежного транспортирования образующейся при резании стружки. Требуемую площадь стружечной канавки определяют по формуле:

$$F_k = \frac{K_c}{K_1 \cos \omega} l_p S_z. \quad (6.33)$$

Глубину стружечной канавки  $h_2$  определяют по формулам (6.21) и (6.22) исходя из условия беспрепятственного схода стружки по передней поверхности. Ширину стружечной канавки в осевом сечении определяют исходя из условия отсутствия заклинивания стружки у спинки зуба:

$$l_{км} = 0,95 \left[ 0,5 d_{cp} (\sin V - \sin v_n) \operatorname{tg} W_1 + p(V - v_n) \right], \quad (6.34)$$

где

$$V = \arccos \left[ -\frac{\operatorname{tg}^2 \omega}{\sqrt{1 + \cos^2 \omega}} \right]; \quad (6.35)$$

$$W_1 = \arctg[(\operatorname{tg} \omega) \cos v_n]. \quad (6.36)$$

Приближенное значение площади стружечной канавки определяют по формуле:

$$F_{ск} = (1 - M) h_2 l_{км}, \quad (6.37)$$

$$\text{где } M = \frac{h_2}{l_{км}}.$$

Максимальный припуск, который может быть срезан при принятых значениях  $h_2$  и  $l_{км}$ , определяют по формуле:

$$A = \frac{2 F_{ск} z K_1}{K_c H} \cos \omega. \quad (6.38)$$

При полном припуске число протяжек в комплекте:

$$n = A_0 / A. \quad (6.39)$$

Далее это значение округляют до большего целого числа.

Определив число протяжек в комплекте, рассчитывают диаметры в начале и конце режущей части для каждой протяжки комплекта. Расчет выполняют исходя из условия равенства режущих частей протяжек. Это позволяет переводить протяжки в комплекте из номера в номер по мере их переточки. Расчет следует начинать с последней (чистовой) протяжки в комплекте. Диаметр калибрующей части протяжки принимают равным максимальному диаметру обрабатываемого отверстия. Диаметр в начале режущей части определяют по формуле:

$$D_{ni} = \frac{D_k \sum_{i=1}^{n-1} S_i + d_0 S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}. \quad (6.40)$$

Расчетные зависимости для определения диаметров в начале режущей и калибрующей частей, когда  $n = 4$ , представлены в табл. 6.27.

Исходные данные для расчета комплекта протяжек, применяемых для обработки отверстий длиной  $>30D$ , представлены в табл. 6.28, а порядок расчета – в табл. 6.29–6.31.

Винтовая протяжка для обработки отверстий длиной  $>30D$  показана на рис. 6.8.

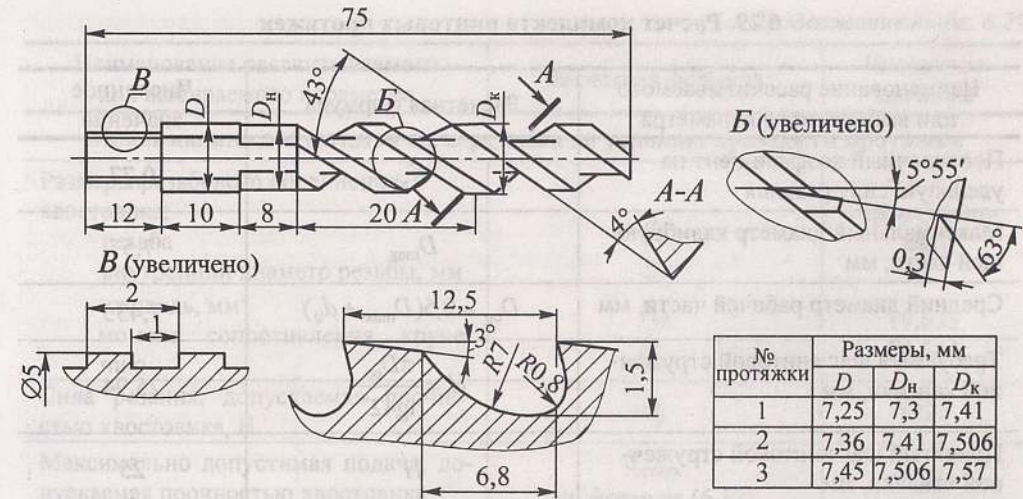


Рис. 6.8. Комплект винтовых протяжек для обработки отверстия  $\varnothing 7,57$  мм и длиной  $>30D$

### 6.27. Формулы для расчета диаметров режущей части протяжки

Номер протяжки в комплекте	Диаметр в начале режущей части	Диаметр калибрующей части
4	$D_{н4} = \frac{D_{к4}(S_1 + S_2 + S_3) + d_0 S_4}{S + S_2 + S_3 + S_4}$	$D_{к4} = D_{\max}$
3	$D_{н3} = \frac{D_{к3}(S_1 + S_2) + d_0 S_3}{S + S_2 + S_3}$	$D_{к3} = D_{н4}$
2	$D_{н2} = \frac{D_{к2} S_1 + d_0 S_2}{S + S_2}$	$D_{к2} = D_{н3}$
1	$D_{н1} = d_0$	$D_{к1} = D_{н2}$

### 6.28. Исходные данные для расчета винтовой протяжки

Наименование параметра	Обозначение	Принятое значение
Материал детали	–	сталь 45
Твердость по Бринеллю	HB	229
Минимальный диаметр до обработки, мм	$d_0$	7,3
Максимальный диаметр после обработки, мм	$D_{\max}$	7,57
Группа качества	ГК	2
Максимальное тяговое усилие станка, Н	Q	20 000

## 6.29. Расчет комплекта винтовых протяжек

Наименование рассчитываемого или выбираемого параметра	Расчетная формула	Численное значение
Поправочный коэффициент на удельную силу резания	$K_m$	0,77
Максимальный диаметр калибрующей части, мм	$D_{\max}$	7,57
Средний диаметр рабочей части, мм	$D_{\text{ср}} = 0,5(D_{\max} + d_0)$	7,435
Требуемый шаг винтовой стружечной канавки, мм	$H = \frac{\pi D_{\text{ср}}}{\text{tg}42^\circ}$	25,94
Принятый шаг винтовой стружечной канавки, мм	$H$	25
Угол наклона винтовых зубьев, °	$\omega$	43,0549
Винтовой параметр, мм	$p = \frac{H}{2\pi}$	4,13057

## Определение размеров стружечных канавок

Вспомогательные параметры: углы	$v_n = \arctg \cos \omega$ $W_1 = \arctg[(\text{tg} \omega) \cos v_n]$ $V = \arccos \left[ \frac{\text{tg}^2 \omega}{\sqrt{1 + \cos^2 \omega}} \right]$	$v_n = 36,155559^\circ = 0,631034 \text{ рад};$ $W_1 = 37,03006^\circ$ $V = 2,352966 \text{ рад}$
Глубина стружечной канавки, мм	$h_2 = 0,5 D_{\text{ср}} (1 - \sin v_n)$	1,52 Принимаем 1,5
Ширина (в осевом сечении) стружечной канавки, мм	$l_{\text{км}} = 0,95 [0,5 D_{\text{ср}} (\sin V - \sin v_n) \text{tg} W_1 + p(V - v_n)]$	6,83 Принимаем 6,8
Коэффициент глубины	$M = \frac{h_2}{l_{\text{км}}}$	0,223
Площадь стружечной канавки, мм <sup>2</sup>	$F_{\text{ск}} = (1 - M) h_2 l_{\text{км}}$	8,0256

## Определение числа протяжек в комплекте

Максимальный припуск, срезаемый одной протяжкой, мм	$A = \frac{2 F_{\text{ск}} z K_1}{K_c H} \cos \omega$	0,111
Полный припуск при обработке отверстия, мм	$A_0 = D_{\max} - d_0$	0,27
Число протяжек в комплекте:		
расчетное	$n = A_0 / A$	2,4
принятое		3

Продолжение табл. 6.29

Наименование рассчитываемого или выбираемого параметра	Расчетная формула	Численное значение
<b>Максимально допустимая сила резания по условию прочности протяжки</b>		
Размеры резьбового соединения хвостовика:		5,5 × 2 (прямоугольная)
резьба	$d_p$	5
внутренний диаметр резьбы, мм	$d_1$	5
площадь, мм <sup>2</sup>	$F_{\text{оп}}$	19,635
момент сопротивления кручению	$W_p$	24,544
Сила резания, допускаемая прочностью хвостовика, Н	$P_z$	5220
Максимально допустимая подача, допускаемая прочностью хвостовика	$S_{z \text{ max}}$ по формуле (6.17)	0,082
	3	0,02
Подачи на протяжках: №	2	0,03
	1	0,04

## 6.30. Расчет размеров протяжек в комплекте

Номер протяжки	Диаметр в начале режущей части $D_{\text{нi}}$ , мм	Диаметр калибрующей части $D_{\text{кi}}$ , мм	Припуск на протяжку $A_i$ , мм
3	7,51	7,57	0,06
2	7,42	7,51	0,09
1	7,3	7,42	0,12

Получено  $A_1 > A$ , т.е. 0,12 мм > 0,111 мм.

Уменьшить подачу на протяжке № 1 на 0,001 мм.

Номер протяжки	Диаметр в начале режущей части $D_{\text{нi}}$ , мм	Диаметр калибрующей части $D_{\text{кi}}$ , мм	Припуск на протяжку $A_i$ , мм
3	7,509	7,57	0,061
2	7,418	7,509	0,091
1	7,3	7,418	0,118

Получено  $A_1 > A$ , т.е. 0,118 мм > 0,111 мм.

Уменьшить подачу на протяжке № 1 на 0,001 мм.

После нескольких шагов получаем окончательный результат.

Номер протяжки	Диаметр в начале режущей части $D_{\text{нi}}$ , мм	Диаметр калибрующей части $D_{\text{кi}}$ , мм	Припуск на протяжку $A_i$ , мм
3	7,506	7,57	0,064
2	7,41	7,506	0,096
1	7,3	7,41	0,11

Получено  $A_1 = A$  при подаче на протяжке №1,  $S_{z1} = 0,035$  мм.

## 6.31. Параметры частей протяжки и стружкоразделительных канавок

Наименование рассчитываемого или выбираемого параметра	Расчетная формула	Численное значение
Длина режущей части, мм	$l_p$	20
Длина калибрующей части, мм	$l_k = H$	25
<b>Число и параметры стружкоразделительных канавок</b>		
Число канавок: расчетное принятое	$z$	8,56 8
Окружной шаг, мм	$b$	2,92
Угол наклона линии стружкоразделительных канавок, °	$\omega_1$	5,917
Шаг винтовых стружкоразделительных канавок, мм	$H_1$	225
Угол профиля канавки, °	$\varphi$	63°

Винтовые протяжки для обработки отверстий длиной  $< 0,5D$ . При обработке таких отверстий протяжками с кольцевыми зубьями возникает проблема обеспечения плавности работы инструмента. В отдельных случаях она решается путем протягивания пакетов из нескольких деталей. Однако наиболее эффективно эта проблема решается путем применения винтовых протяжек. При этом количество заходов, а, следовательно, и число винтовых зубьев у таких протяжек должно быть не менее двух или трех. В этом случае радиальные составляющие силы резания взаимно уравниваются даже тогда, когда протягиваются отверстия в листовых заготовках.

Обработку отверстий винтовыми протяжками ведут двумя способами: 1) при осевом перемещении инструмента; 2) при сочетании осевого перемещения с вращением инструмента. В обоих случаях винтовые протяжки работают, срезая припуск по одинарной схеме резания. При этом из-за небольшой длины обрабатываемой поверхности стружкоразделительные канавки на задних поверхностях зубьев не делают. Если же возникает необходимость в разделении стружки, то

выполняют винтовые стружкоразделительные канавки.

Расчет протяжек для обработки отверстий длиной  $< 0,5D$  ведут в следующей последовательности.

1. Рассчитывают угол наклона винтовых зубьев. Для обеспечения плавности работы угол наклона винтовых зубьев определяют в зависимости от диаметра протягиваемого отверстия. Обычно шаг винтовых зубьев  $H$  должен быть не меньше диаметра обрабатываемого отверстия. При этом величину шага согласуют с шагом, который может быть реализован на токарном или горизонтально-фрезерном станках, на которых изготавливают канавки. Например, при получении винтовых канавок методом точения на токарно-винторезном станке могут быть без дополнительной настройки обеспечены следующие шаги: 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 24; 28; 32; 36; 40 мм (и далее по паспорту станка). В этом случае угол наклона винтовых зубьев имеет следующее значение:

$$\omega \leq 72,3^\circ.$$

При таком угле наклона винтовых зубьев стружка, срезаясь зубьями, будет собираться перед зубом, как и при орто-

гональном резании. Поэтому размеры стружечных канавок при обработке коротких отверстий рассчитывают, как и у протяжек с кольцевыми зубьями.

2. Рассчитывают размеры стружечных канавок. В зависимости от обрабатываемого материала максимальную подачу  $S_z$  выбирают в пределах  $S_z = 0,02 \dots 0,12$  мм [38]. Так, например, для сталей –  $S_z = 0,02 \dots 0,04$  мм, чугунов –  $S_z = 0,03 \dots 0,08$  мм, алюминия –  $S_z = 0,02 \dots 0,05$  мм, бронз и латуней –  $S_z = 0,05 \dots 0,12$  мм. Требуемую глубину стружечной канавки в осевом сечении рассчитывают по формуле:

$$h = 1,13 \sqrt{KLS_z},$$

где  $K$  – коэффициент вместимости стружечной канавки (табл. 6.32).

По условию жесткости протяжки глубина стружечной канавки  $h \leq h_{ж}$ , где  $h_{ж} \geq 0,23D$ . Если  $h > h_{ж}$ , то принимают  $h = h_{ж}$  и максимально допустимую подачу пересчитывают по формуле:

$$S_z = 0,785 \frac{h^2}{KL}.$$

Осевой шаг винтовых зубьев должен быть  $t \geq 2,5h$ . Тогда число винтовых зубьев (число заходов винтовой нарезки)  $z = H/t$  и должно быть  $z = 2$  или  $3$  (лучше  $3$ ) или кратно одному из этих чисел. Если  $z$  округлено в меньшую сторону, то пересчет подачи не требуется. Если в большую сторону – необходимо пересчитать подачу. Для этого определяют осевой шаг

$t$  и глубину стружечной канавки  $h = 0,4t$ .

Далее расчет ведут так же, как и при пересчете подачи по условию жесткости протяжки.

При обработке материалов, дающих сливную стружку, профиль стружечных канавок принимают двухрадиусным, а при стружке надлома – с прямолинейной спинкой зуба.

3. Выбирают геометрические параметры зубьев. Передний угол, как правило, задают в нормальном сечении винтового зуба и выбирают в зависимости от обрабатываемого материала (табл. 6.33).

## 6.33. Передний угол винтовых протяжек [37]

Обрабатываемый материал	Передний угол $\gamma$ , °
Медь, алюминий и магниевые сплавы, баббит	20
Сталь с пределом прочности $\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup> :	
До 600	18
» 100	15
Св. 100	10
Чугун: ковкий серый, с твердостью, НВ:	
До 150	10
Св. 150	5
Бронза, латунь свинцовистая	5
Латунь	2

6.32. Коэффициент вместимости  $K$  (минимальный) стружечных канавок

Подача $S_z$ , мм	Обрабатываемый материал				
	Сталь с пределом прочности $\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>			Чугун, бронза, свинцовистая латунь	Медь, латунь, алюминий, баббит
	До 400	До 700	Св. 700		
До 0,03	3,0	2,5	3,0	2,5	2,5
» 0,07	4,0	3,0	3,5	2,5	3,0
» 0,10	4,5	3,5	4,0	2,0	3,5

Чтобы в процессе заточки можно было получить заданный передний угол, рассчитывают максимально допускаемый диаметр шлифовального круга:

$$D_k = 0,8D \frac{\sin \sigma}{\sin^2 \omega \sin \gamma_n}, \quad (6.41)$$

где  $\sigma$  – профильный угол шлифовального круга.

Если заточной станок при таком диаметре шлифовального круга обеспечивает технологическую скорость резания порядка 16 м/сек, то передний угол не корректируют. В противном случае передний угол уменьшают.

Задний угол на винтовых зубьях задают в осевом сечении. Величина его постоянна на всей длине режущей и калибрующей частей. Обычно  $\alpha = 2 \dots 4^\circ$ . При этом на задних поверхностях винтовых зубьев оставляют ленточки.

4. Рассчитывают усилие резания. Главную составляющую силы резания рассчитывают по формуле [37]:

$$P_z = C_p S_z^x D \frac{L}{t} K_\omega K_\gamma K_c K_n, \quad (6.42)$$

6.34. Показатели для расчета силы резания по формуле (6.42)

Обрабатываемый материал	Механические характеристики		Показатели	
	Твердость, НВ	Предел прочности $\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	Коэффициент $C_p$	Показатель степени $x$
Сталь: углеродистая* конструкционная	До 200	До 700	7000	0,85
	» 230	» 800	7620	
	Св. 230	Св. 800	8420	
легированная	До 200	До 700	7620	0,85
	» 230	» 800	84200	
	Св. 230	Св. 800	10000	
хромомолибденовая хромоникелемо- либденовая	250...270	–	8000	0,8
	280...310	–	9100	
Чугун	До 200	До 150	3000	0,78
	Св. 200	Св. 150	3540	

\*Для алюминия и магниевых сплавов коэффициент  $C_p$  берут равным 70 % от величины, рекомендуемой для углеродистой стали.

где  $C_p$  – коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала (табл. 6.34);  $K_\omega$  – коэффициент, учитывающий влияние угла наклона зубьев,  $K_\omega = 1,04$ ;  $K_\gamma$  – коэффициент, учитывающий влияние переднего угла (см. табл. 6.35);  $K_c$  – коэффициент, учитывающий влияние СОЖ (табл. 6.35);  $K_n$  – коэффициент, учитывающий влияние износа,  $K_n = 1,15$ .

Из-за наклонного [38] расположения режущих зубьев на протяжку действует крутящий момент:

$$M = 0,14 \frac{P_z D}{\text{tg } \omega}. \quad (6.43)$$

Эквивалентное напряжение, по которому проверяют протяжку на прочность, рассчитывают по формуле:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}, \quad (6.44)$$

где  $\sigma$  – максимальное напряжение растяжения от действия главной составляющей силы резания в опасном сечении протяжки;  $\tau$  – максимальное касательное напряжение от действия крутящего момента в опасном сечении протяжки.

6.35. Значения коэффициентов для расчета силы резания по формуле (6.42)

Обрабатываемый материал	Передний угол, °				Смазочно-охлаждающая жидкость*			
	5	10	15	20	МР	ЭМ	РМ	БС
	$K_\gamma$				$K_c$			
Сталь	1,07	1,0	0,93	0,85	1,0	1,0	0,9	1,34
Чугун и другие материалы	1,10	1,0	0,95	–	–	0,9	–	1,0

\*МР – СОЖ типа МР-7; ЭМ – эмульсия 10 %; РМ – растительное масло; БС – без СОЖ.

Для протяжек из легированных сталей  $\sigma_{\text{экв}} \leq 400$  Н/мм<sup>2</sup>, а из быстрорежущих сталей –  $\sigma_{\text{экв}} \leq 650$  Н/мм<sup>2</sup>.

5. Выбирают конструкцию рабочей части. Длина режущей части зависит от припуска под протягивание. Длину рабочей части при принятой подаче определяют по формуле (6.22).

Минимальная длина калибрующей части протяжки должна быть такой, чтобы обеспечивалась ее работа на длине осевого шага и при этом имелось бы небольшое перекрытие. Обычно длина калибрующей части равна 2–4 осевым шагам.

6. Определяют длину переднего хвостовика. В длину переднего хвостовика входят следующие элементы: замковая часть, шейка, направляющий конус и передняя направляющая. Длина последней обычно равна 10...20 мм. Остальные размеры выбирают в зависимости от применяемого оборудования и в соответствии с рекомендациями для протяжек с кольцевыми зубьями.

*Пример расчета протяжки*

Исходные данные: материал детали – сталь 20,  $\sigma_b = 400$  Н/мм<sup>2</sup>; диаметры – до обработки  $d_0 = 9,75$  мм, после обработки –  $D = 10\text{H}7^{(+0,022)}$  мм; длина отверстия –  $L = 5$  мм.

*Порядок расчета*

Шаг винтовых зубьев  $H = 1,5D = 15$  мм, по паспорту станка модели 16К20  $H = 14$  мм.

Средний диаметр режущей части  $D_{\text{ср}} = 9,886$  мм.

Угол наклона винтовых зубьев  $\omega = 65,735^\circ$ .

Подача на режущей части протяжки  $S_z = 0,04$  мм.

Коэффициент вместимости стружечной канавки (см. табл. 6.32)  $K = 4,0$ .

Требуемая глубина стружечной канавки  $h = 1,01$  мм, принимаем  $h = 1,1$  мм.

Допускаемая глубина стружечной канавки по условию жесткости  $h_{\text{ж}} = 0,23D = 2,3$  мм. Условие  $h \leq h_{\text{ж}}$  выполняется, поэтому пересчет подачи не производится.

Осевой шаг зубьев  $t = 2,75$  мм.

Число винтовых зубьев  $z = 14/2,75$ , принимаем  $z = 4$ .

Уточненный по формуле (6.29) осевой шаг зубьев  $t = 3,5$  мм.

Передний угол (см. табл. 6.33)  $\gamma = 18^\circ$ .

Требуемый диаметр шлифовального круга для заточки винтовых зубьев по передней поверхности (круг тарельчатой формы с углом профиля  $\sigma = 35^\circ$ ):

$$D_k = 0,8 \cdot 10 \frac{\sin 35}{\sin^2 65,735 \sin 18} = 17,87 \text{ мм.}$$

Чтобы обеспечить скорость резания  $v = 16$  м/сек при частоте вращения шпинделя заточного станка  $n = 4500 \text{ мин}^{-1}$ , требуется шлифовальный круг диаметром  $D_k = 70$  мм. При этом протяжка будет иметь передний угол:

$$\gamma = \arcsin \frac{0,8 \cdot 10 \sin 35}{70 \sin^2 65,735} = 4,5^\circ.$$

Принимаем  $\gamma = 3^\circ$ .



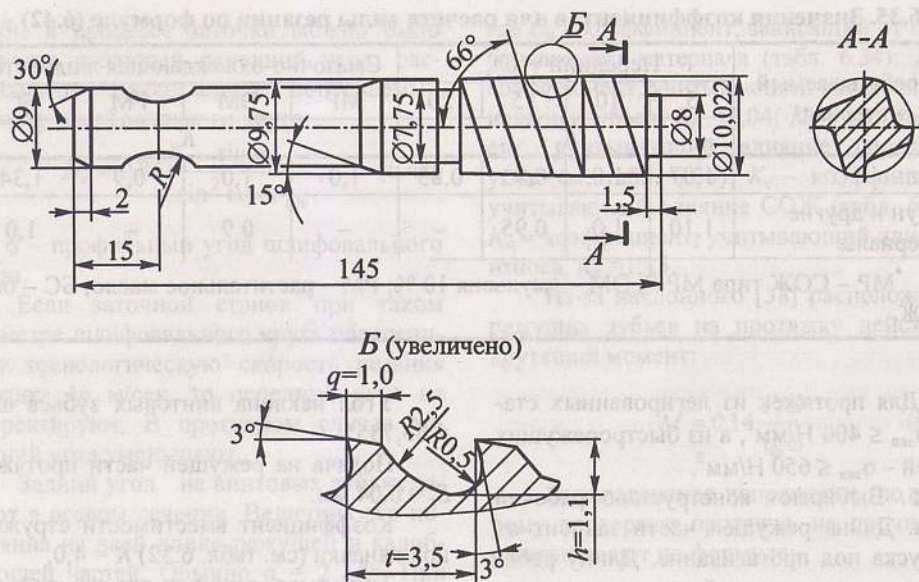


Рис. 6.9. Винтовая протяжка для обработки отверстия  $\varnothing 10,022$  мм и длиной  $< 0,5D$

Задний угол на всей длине рабочей части  $\alpha = 3^\circ$ .

Усилие при резании (показатели (см. табл. 6.34)  $C_p = 7000$ ;  $x = 0,85$ ; коэффициенты (табл. 6.35):  $K_w = 1,04$ ,  $K_\gamma = 1,042$ ,  $K_n = 1,15$ ,  $K_c = 1,34$  (без СОЖ);  $K_\Sigma = 1,67$ ):

– осевая составляющая силы резания  $P_z = 10\,826$  Н;

– крутящий момент  $M_{кр} = 6832$  Н·мм.

Диаметр опасного сечения (проточка перед началом режущей части)  $d_1 = d_0 - 2h = 7,55$  мм.

Площадь опасного сечения  $F_{оп} = 44,77$  мм<sup>2</sup>.

Момент сопротивления кручению опасного сечения  $W_p = 84,5$  мм<sup>3</sup>.

Напряжения в опасном сечении: растяжения –  $\sigma = 241,8$  Н/мм<sup>2</sup>; касательное –  $\tau = 80,85$  Н/мм<sup>2</sup>; эквивалентное  $\sigma_{экв} = 290,9$  Н/мм<sup>2</sup>. Условие  $\sigma_{экв} < [\sigma]$  выполняется.

Расчет размеров рабочей части протяжки:

полный припуск  $A = 10,022 - 9,75 = 0,272$  мм, длина режущей части  $l_{рез} =$

$= 11,9$  мм, длина калибрующей части  $l_k = 3t = 10,5$  мм, длина рабочей части  $l_{р4} = 22,4$  мм.

Винтовая протяжка для обработки отверстия длиной  $< 0,5D$  показана на рис. 6.9.

### 6.5. Шлицевые протяжки

Протягивание является самым распространенным методом обработки отверстий с прямобочным, эвольвентным и треугольным профилем. Формирование шлицевого отверстия может осуществляться отдельным и комбинированным способами. При отдельном способе, сначала обрабатывают отверстие, а затем протягивают шлицы. Более эффективным, в том числе и с точки зрения точности обработки, является комбинированное протягивание, при котором все элементы шлицевого соединения протягивают одной протяжкой. Такая протяжка содержит фасочные (Ф), круглые (К) и шлицевые (Ш) зубья. Возможны следующие основные варианты построения комбинирован-

ных шлицевых протяжек: Ф-К-Ш, К-Ф-Ш и Ф-Ш-К.

Наибольшее распространение получила схема Ф-К-Ш. Как правило, эту схему применяют при центрировании шлицевых соединений по наружному диаметру. Схему К-Ф-Ш применяют в том случае, когда заготовка имеет большой припуск на обработку или обрабатывается отверстие, полученное непосредственно после заготовительной операции.

Ниже приведена последовательность выбора и расчета основных конструктивных элементов шлицевых протяжек переменного резания.

1. Определяют число зубьев в секции  $z_c$ . Число черновых зубьев на шлицевой части обычно принимают не менее двух, а на фасочных и круглых частях – с учетом условий нормального стружкообразования и допускаемых усилий протягивания. В целях уменьшения длины протяжки желательно принимать  $z_c = 1$ . Наибольшая допускаемая без разделения стружки длина режущих лезвий на круглых и фасочных зубьях шлицевых протяжек указана ниже:

Диаметр протяжки $D$ , мм	До 25	20...50	Св. 50
Длина режущих лезвий $B_k, B_\phi$ , мм	7	9	12

Если максимальная длина режущих лезвий  $B_{max}$  превышает значения, приведенные выше, необходимо принимать  $z_c = 2$  и использовать для разделения стружки выкружки. Для схем расположения зубьев Ф-К-Ш и Ф-Ш-К число зубьев в группе, допускаемое максимальной силой резания,

$$z_c = \frac{B_{max} z_{ш} q_0 z_p K_p}{P_{max}} \quad (6.45)$$

Для схемы К-Ф-Ш число зубьев на круглой части рассчитывают по формуле (6.7).

2. Распределяют припуск под протягивание между круглой, фасочной и шлицевой частями протяжки. Припуск на фа-

сочную часть для схем Ф-К-Ш и Ф-Ш-К определяют по формуле:

$$A_\phi = D_\phi - d_{0min} \quad (6.46)$$

Припуск на круглую часть протяжек всех схем

$$A_k = d_{max} - d_{0min} \quad (6.47)$$

Припуск на черновые зубья круглой части

$$A_{к.ч} = A_k - A_{к.п.} \quad (6.48)$$

Припуск на переходные и чистовые круглые зубья принимают соответственно по табл. 6.9 и 6.10.

Припуск на шлицевые зубья для протяжек всех схем

$$A_{ш} = D_{max} - D_{ш1}, \quad (6.49)$$

где  $D_{ш1}$  – диаметр первого шлицевого зуба.

Припуск между черновыми, чистовыми и переходными шлицевыми зубьями распределяют следующим образом:

$$A_{ш.чер} = A_{ш} - (A_{ш.п} - A_{ш.ч}). \quad (6.50)$$

Значения  $A_{ш.п}$  и  $A_{ш.ч}$  приведены соответственно в табл. 6.9 и 6.10.

3. Определяют по формуле (6.8) число групп черновых зубьев на всех частях протяжки, предварительно подставив в нее соответствующие значения  $A_{черн}$  и  $A_{з.черн}$ . Полученное дробное число групп черновых зубьев округляют до ближайшего меньшего целого значения.

4. Определяют общее число зубьев протяжек:

$$\sum z = z_\phi + z_k + z_{ш};$$

$$z_k = z_{к.черн} + z_{к.п} + z_{к.ч} + z_{к.к}; \quad (6.51)$$

$$z_{ш} = z_{ш.черн} + z_{ш.п} + z_{ш.ч} + z_{ш.к}.$$

Число переходных, чистовых и калибрующих зубьев выбирают согласно рекомендациям, приведенным в табл. 6.9 и 6.10.

5. Выбирают по табл. 6.9 и 6.10. подъемы переходных и чистовых зубьев круглой и шлицевой частей.

6. Определяют длину режущей части протяжки  $L_p$ , шаг  $t$  и профиль чистовых зубьев

$$L_p = l_\phi + l_k + l_{ш}, \quad (6.52)$$

где

$$l_\phi = t_0 z_\phi;$$

$$l_k = t_0 (z_{к.черн} + z_{к.п}) + t_\phi (z_{к.ч} + z_{к.к} - 1);$$

$$l_{ш} = t_0 (z_{ш.черн} + z_{ш.п} + 1) + t_\phi (z_{ш.ч} + z_{ш.к} - 1).$$

Шаг чистовых и калибрующих зубьев выбирают из табл. 6.8. По принятой величине шага из табл. 6.8 выбирают размеры профиля зубьев.

7. Рассчитывают силы резания на фасочной, круглой и шлицевой частях соответственно по формулам:

$$P_\phi = \frac{B_{\phi\max} z_\phi q_0 z_p K_p}{z_{с.ф}}; \quad (6.53)$$

$$P_k = \frac{B_{к\max} z_k q_0 z_p K_p}{z_{с.к}}; \quad (6.54)$$

$$P_{ш} = \frac{B_{ш\max} z_{ш} q_0 z_p K_p}{z_{с.ш}}. \quad (6.55)$$

8. Определяют число, ширину и радиус выкружек. Число выкружек на шлицевых протяжках равно числу впадин

$$N_\phi = N_{ш} = z_{ш}. \quad (6.56)$$

Ширину режущих секторов определяют по формуле

$$B_\phi = b_{ш} = b - 2f, \quad (6.57)$$

где  $f$  – ширина фаски на шлицевом зубе.

Размеры фасок на прорезных шлицевых зубьях приведены ниже:

Ширина шлицев, мм	До 3	До 4	До 7	До 9
Ширина фасок, мм	0,5	0,8	1,0	1,5
Ширина шлицев, мм	До 10	До 14	До 16	До 20
Ширина фасок, мм	2,0	2,5	3,0	5,0

Радиус круга  $R_k$  и радиус выкружек  $R_\phi$  определяют по табл. 6.17.

Чистовые и калибрующие круглые зубья выполняются без выкружек.

9. Определяют, как для круглых протяжек, диаметр и длину передней направляющей, переходного конуса, расстояние от переднего торца шлицевой протяжки до первого зуба.

10. Назначают диаметр задней направляющей равным диаметру впадины шлицев протяжки с тем же полем допуска.

11. Рассчитывают общую длину протяжки

$$L = l' + L_1 + L_p + l_{зн}, \quad (6.58)$$

где  $l'$  – расстояние от переднего торца протяжки до первого зуба;  $L_p$  – длина режущей части;  $l_{зн}$  – длина задней направляющей.

При необходимости используют комплект из двух протяжек. В этом случае переднюю направляющую второй протяжки изготавливают с шлицевыми выступами.

### 6.6. Шпоночные протяжки

Шпоночные протяжки служат для изготовления шпоночных пазов в отверстиях заготовок. Стандартами предусмотрено применение четырех типов шпоночных протяжек: протяжки шпоночных пазов шириной  $b = 6...50$  мм, высотой  $H = 16...60$  мм, длиной  $l = 565...1550$  мм; протяжки с утолщенным телом (ГОСТ 18218–90) для обработки шпоночных пазов шириной  $b = 3...10$  мм,  $H = 6...22$  мм,  $l = 475...1150$  мм; протяжки шпоночные с фасонными зубьями для обработки шпоночных пазов со снятием заусенцев (ГОСТ 18219–90)  $b = 3...10$  мм,  $H = 6...22$  мм,  $l = 495...1255$  мм; протяжки шпоночные для обработки пазов с  $Ra \leq 2,5$  мкм (ГОСТ 18220–90)  $b = 6...50$  мм,  $l =$

$= 565...1550$  мм. Для одновременной обработки отверстия и паза применяют комбинированные сборные протяжки. Для протягивания шпоночных пазов, как правило, используют генераторную схему резания.

Протягивание шпоночных пазов производят путем установки заготовки на специальную втулку (адаптер), закрепленную на планшайбе протяжного станка и имеющую продольный паз для направления протяжки. При необходимости формирования шпоночного паза одной протяжкой в несколько проходов на основание направляющего паза помещают соответствующие прокладки, а для компенсации износа протяжки применяют клин. Исходные данные для расчета шпоночных протяжек, кроме указанных ранее для круглых протяжек, включают: диаметр отверстия  $d$ , ширину шпоночного паза  $b$  и глубину шпоночного паза  $t'_1$ .

Припуск под протягивание

$$A = t_{\max} - d + f_0,$$

где  $t_{\max} = t + \delta - P_{\max}$ ,  $t$  – расстояние от края посадочного отверстия до дна шпоночного паза,  $\delta$  – допуск на размер  $t$ ,  $P_{\max}$  – максимальная разбивка;  $f_0 = 0,5(d - \sqrt{d^2 - b^2})$ .

Припуски на протягивание шпоночными протяжками приведены в табл. 6.2.

Методика выбора и расчета основных конструктивных элементов в основном аналогична приведенной выше для круглых протяжек. Средние значения подачи на зуб  $S_z$  для стали – 0,08...0,15 мм; для бронзы и латуни – 0,08...0,20 мм; алюминия – 0,05...0,08 мм. Ориентировочное значение шага режущих зубьев принимают из условия получения достаточного числа режущих зубьев, находящихся одновременно в работе.

По шагу зубьев находят размеры

стружечных канавок согласно табл. 6.8. Принятое значение шага уточняют исходя из условия нормального формирования и размещения стружки в стружечной канавке и по результатам расчета протяжки на прочность. Для обеспечения нормального размещения стружки расчетные значения  $K$  должны быть равны или больше значений, приведенных в табл. 6.7. При расчете шпоночных протяжек на прочность определяют минимальную площадь поперечного сечения предварительно выбранного хвостовика (согласно табл. 6.8) и поперечного сечения протяжек по первой стружечной канавке. Для определения силы резания используют зависимость (6.3). Для шпоночных протяжек  $\sum l_p B z_{\max} q_0$  – согласно табл. 6.4. Допускаемые напряжения на растяжение для шпоночных протяжек из легированных инструментальных сталей равны  $[\sigma_p] = 150$  Н/мм<sup>2</sup>, а для протяжек из быстрорежущих сталей –  $[\sigma_p] = 200$  Н/мм<sup>2</sup>.

Конструктивное оформление зубьев шпоночных протяжек аналогично оформлению зубьев шлицевых протяжек. Группы заточки и форма передней грани зубьев приведены в табл. 6.12, форма и размеры стружкоразделительных канавок – в табл. 6.13. Предельные отклонения размеров шпоночных протяжек: по высоте режущей части – 0,02 мм, по ширине – 0,015 мм.

Обработку пазов с малой шероховатостью поверхности производят комплектом протяжек, состоящим из предварительной и окончательной протяжек. Исполнительные размеры предварительных протяжек соответствуют ГОСТ 18217–80, ширину режущей кромки  $b_1$  уменьшают на размер припуска под окончательное протягивание  $A$ , который назначают согласно данным табл. 6.2. Окончательные протяжки формируют боковые стенки паза по профильной схеме.

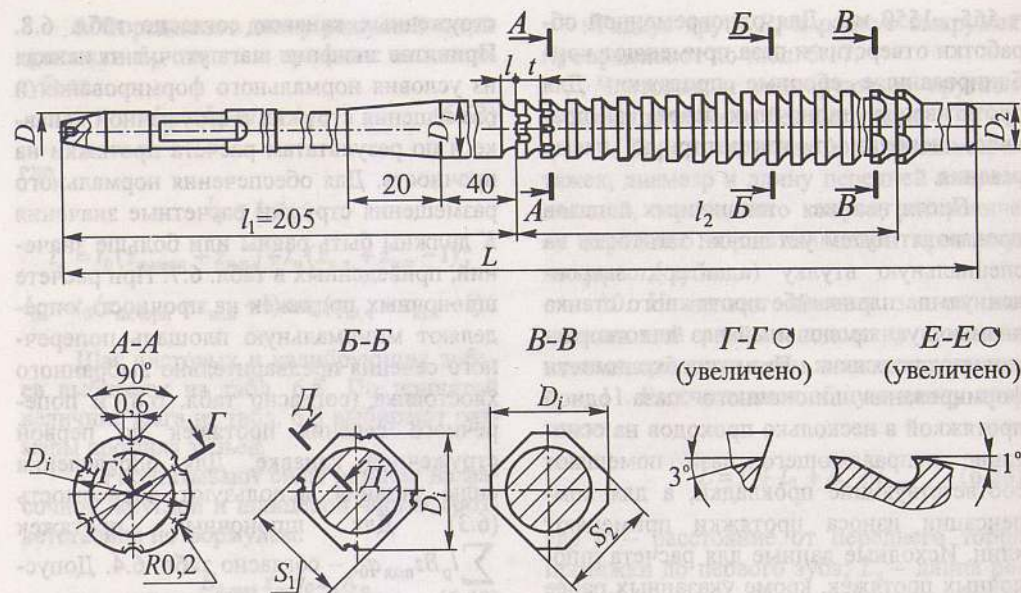


Рис. 6.10. Квадратная протяжка

### 6.7. Особенности проектирования гранных протяжек

Расчет гранных протяжек (квадратных, шестигранных и т. п.) проводится в той же последовательности, что и круглых (рис. 6.10). Характерной особенностью этих протяжек, работающих по генераторной схеме резания, является то, что при постоянном подъеме на зуб ширина режущих лезвий  $b_1$  и площадь поперечного сечения срезаемого слоя постепенно уменьшаются к концу протяжки. Соответственно изменяется и сила протягивания. Длину протяжки можно значительно уменьшить, если подъем на зуб увеличивать пропорционально уменьшению ширины среза при постоянной площади поперечного сечения среза. Обычно  $S_2$  увеличивают не на каждый зуб, а на группу зубьев и соответственно разбивают все зубья протяжки на 2...4 группы с постоянной подачей в пределах каждой группы.

Ориентировочные значения подач на группу зубьев для квадратных и шести-

гранных протяжек приведены в табл. 6.5.

Число режущих зубьев в каждой группе, кроме последней, определяют по формуле:

$$z_m = \frac{(d_{m+1} - 2S_{zm+1}) - (d_m - 2S_{zm})}{2S_{zm}}, \quad (6.59)$$

где  $d_{m+1}$  и  $S_{zm+1}$  — соответственно диаметр и подача на первом зубе последующей группы;  $d_m$  и  $S_{zm}$  — то же, на первом зубе рассматриваемой группы.

Для последней ступени

$$z_m = \frac{d_n - (d_m - 2S_{zm})}{2S_{zm}} + (2...4), \quad (6.60)$$

где  $d_n$  — диаметр последнего зуба протяжки.

Отверстие под протягивание, как правило, делают круглым. Его диаметр соответствует диаметру окружности, вписанной в многогранный профиль готового отверстия. Обработка обычно ведется комплектом из двух, трех и более протяжек. Первая протяжка имеет круглую переднюю направляющую и несколько

круглых зубьев, работающих по профильной или прогрессивной схемам резания. Расчет этой части протяжки выполняют в соответствии с приведенными выше рекомендациями для круглых протяжек. Диаметр первого зуба первой ступени генераторной части  $d_1 = S$ , а диаметр последнего режущего и калибрующего зубьев  $d_n = D_{\max} - p_{\max}$ , где  $D_{\max}$  — наибольшая диагональ протягиваемого многогранника (диаметр описанной окружности),  $p_{\max}$  — разбивка отверстия. Прямые стороны зубьев являются вспомогательными кромками, расстояние между ними  $S_n$  постоянно на всей длине рабочей части протяжки и равно  $S_n = S_{\max} - p_{\max}$ , где  $S_{\max}$  — наибольшее допустимое расстояние между сторонами протягиваемого отверстия. Допустимое отклонение на размер  $S_n$  принимают равным  $1/3...1/4$  допуска на отверстие, но не более отклонения по  $h8$ .

Определение шага режущих зубьев, числа одновременно работающих зубьев, а также выбор размеров стружечной канавки и ее проверку на возможность размещения стружки проводят в соответствии с рекомендациями, приведенными выше для круглых протяжек.

При обработке гранных отверстий форма и размеры передней направляющей второй и последующих протяжек должны соответствовать форме и размерам отверстия, полученного на предыдущем этапе обработки.

### 6.8. Наружные протяжки

Наружные протяжки применяют для обработки наружных поверхностей, пазов, уступов, фасонных поверхностей, зубьев колес и др. Съем припуска наружными протяжками производят по профильной, генераторной и прогрессивной схемам резания. Схему резания выбирают в зависимости от формы и размеров обрабатываемой поверхности, а также возможности обеспечения равномерности протягивания,

удобства размещения режущих элементов и надежности их крепления. Профильную схему обычно применяют при обработке нешироких поверхностей ( $B \leq 5$  мм) с небольшим припуском, а также круглых фасонных поверхностей. При больших припусках под протягивание, в частности, при обработке заготовок, полученных ковкой и штамповкой, используют генераторную схему резания. Для обработки широких плоскостей более целесообразно использование групповой (трапециевидной) схемы резания.

Наружные протяжки могут быть цельными и сборными, состоящими из режущих элементов (секций или отдельных зубьев), расположенных в корпусе последовательно, параллельно или последовательно-параллельно. Порядок расположения режущих элементов в основном определяется характеристиками станка и возможностью свободного размещения стружки.

Крепление секций к корпусу можно осуществлять различными способами: винтами сверху по концам секции или через секцию (рис. 6.11, а), винтами снизу (рис. 6.11, б), боковыми винтами (рис. 6.11, в), клиньями (рис. 6.11, д, е), через промежуточную плиту. Для регулирования рабочих размеров протяжки и компенсации износа отдельных секций применяют подкладки и клинья с углом наклона  $1^\circ 30'...2^\circ$ , для перемещения которых применяют специальные винты.

Для обработки труднообрабатываемых материалов (жаропрочных, коррозионно-стойких и др. сталей), а также чугуна применяют протяжки с твердосплавными пластинами, припаянными непосредственно к корпусу протяжки или к зубьям (ножам) или с механическим креплением пластин (рис. 6.12).

Методика расчета режущей части наружных протяжек в основном сохраняется такой же, как и для круглых протяжек.

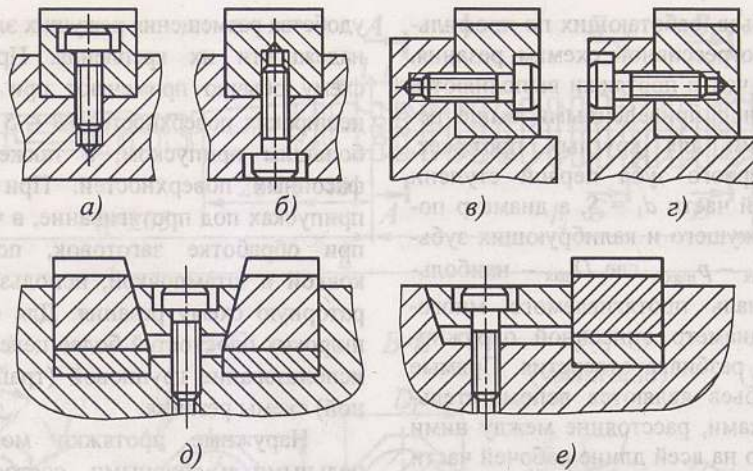


Рис. 6.11. Крепление секций к корпусам наружных протяжек

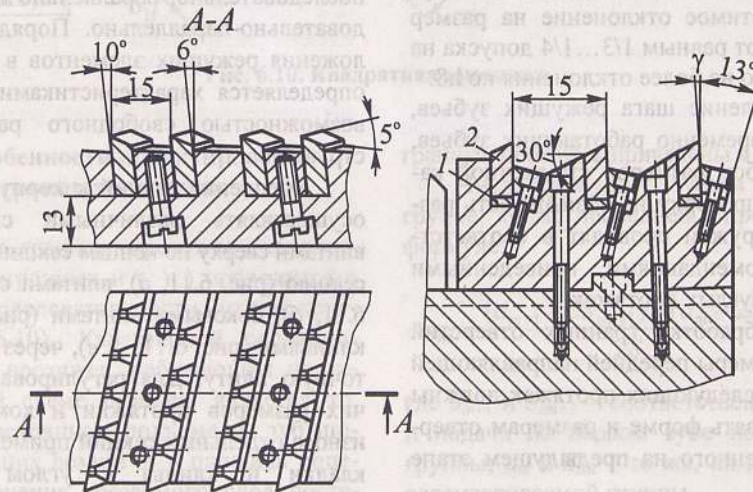


Рис. 6.12. Протяжки с механическим креплением твердосплавных пластин:  
1 – подкладная пластина, 2 – режущая пластина

### 6.9. Проектирование прошивок

Прошивки являются прогрессивным режущим инструментом, который во многих случаях могут успешно заменить протяжки. Процесс прошивания можно автоматизировать и исключить вспомогательное время, связанное с закреплением инструмента, так как прошивку закрепляют в патроне станка и эксплуатируют в тече-

ние заданного периода стойкости или обработки требуемой партии деталей. Это открывает большие возможности применения прошивок в гибких производственных системах и позволяет повышать производительность труда. Процесс прошивания особенно эффективен при обработке многочисленных окон в сепараторах, изготавливаемых из цветных металлов и сплавов. В этом случае применяют специ-

альные станки, работающие по автоматическому циклу, с жестким закреплением детали в делительной головке. Цикл заканчивают после обработки комплектом прошивок всех отверстий в детали.

Прошивки, входящие в комплект (2–5 шт), более технологичны при изготовлении, чем протяжки, которые при большой длине склонны к короблению, нежесткости и сложны в изготовлении. По характеру обработки различают прошивки режущие, выглаживающие и комбинированные. Выглаживающие прошивки обрабатывают отверстия методом поверхностно-пластического деформирования в стальных деталях после их термообработки. Режущие прошивки применяют для обработки деталей из незакаленных сталей, цветных металлов и сплавов. Комбинированные прошивки срезают заданный припуск и выглаживают поверхность отверстий, но имеют ограниченное применение. Прошивки в зависимости от характера обработки, конструкции и схемы резания обеспечивают точность отверстий от IT11 до IT7 и параметр шероховатости поверхности  $Ra = 2,5 \dots 0,25$  мкм.

Прошивки отличаются от протяжек в основном различным направлением тяговых сил в процессе обработки. Так, например, если протяжки работают на растяжения, то прошивки – на сжатия, что приводит к ряду особенностей при их расчете и проектировании.

Прошивка, закрепленная в патроне станка, перемещается с рабочей скоростью резания  $v$  и обрабатывает отверстия заданного профиля в детали, после чего она перемещается в обратном направлении со скоростью холостого хода  $v_x$  (рис. 6.13). При этом могут обрабатываться детали, которые своими конструктивными размерами ( $D_d$ ) ограничивают перемещение и длину прошивки (рис. 6.13, а), и детали, которые не ограничивают перемещение и длину прошивки (рис. 6.13, б). Ограничение длины инструмента в ряде случаев приводит к увеличению количества прошивок в комплекте и повышает общее время обработки.

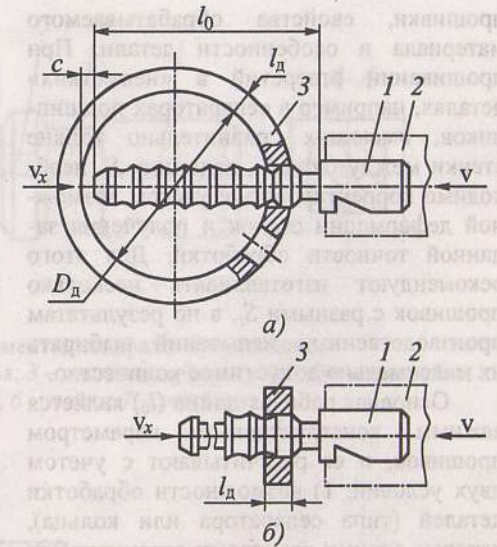


Рис. 6.13. Схемы работы прошивки при обработке окон сепаратора подшипников (а) и втулки (б):  
1 – прошивка; 2 – патрон станка; 3 – деталь

Процесс прошивания с точки зрения резания аналогичен процессу протягивания, поэтому все основные закономерности и рекомендации по выбору параметров протяжек могут быть использованы и при проектировании прошивок.

От схемы резания во многом зависят длина режущей части, износ зубьев, усилия резания и качество обработки. Наибольшее распространение получили профильная (одинарная) и генераторная схемы резания. При обработке круглых отверстий целесообразно на всех прошивках комплекта применять профильную схему резания. При обработке квадратных или прямоугольных отверстий на первых прошивках комплекта применяют генераторную, а на последних – профильную схемы резания, т. е. разделяют общий припуск на части. Это позволяет сократить общее количество прошивок в комплекте, повысить точность и качество обработанных отверстий.

При выборе подачи на зуб ( $S_z$ ) учитывают выбранную схему резания, тип

прошивки, свойства обрабатываемого материала и особенности детали. При прошивании отверстий в «нежестких» деталях, например в сепараторах подшипников, имеющих сравнительно тонкие стенки между окнами, величину  $S_z$  необходимо корректировать с учетом возможной деформации стенок и получения заданной точности обработки. Для этого рекомендуют изготавливать несколько прошивок с разными  $S_z$ , а по результатам производственных испытаний выбирать их максимально допустимое количество.

Основная рабочая длина ( $l_0$ ) является важным конструктивным параметром прошивок, и ее рассчитывают с учетом двух условий: 1) возможности обработки деталей (типа сепаратора или кольца), которые своими размерами ограничивают перемещения прошивки; 2) обеспечения устойчивости прошивки при резании. Для соблюдения первого условия должно быть выдержано неравенство

$$l_0 \leq D_d + l_d - c,$$

где  $c$  – зазор между деталью и концом прошивки,  $c = 1 \dots 3$  мм;  $l_d$  – длина (толщина) детали.

Из второго условия – обеспечения устойчивости инструмента при резании

$$l_0 \leq \sqrt{\frac{20EJ}{P_z}},$$

где  $E$  – модуль упругости (для стали  $E = 2 \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup>);  $P_z$  – осевая составляющая сила резания, Н;  $J$  – момент инерции площади поперечного сечения прошивки перед первым зубом, см<sup>4</sup>.

Из рассчитанных по этим формулам значений основных рабочих длин принимают наименьшее значение  $l_0$ . Далее по величине  $l_0$  определяют длину режущей части прошивки

$$l_p = l_0 - l_1 - l_2 - l_3,$$

где  $l_1, l_2, l_3$  – соответственно длины передней и задней направляющих и шейки, на-

ходящейся между задней направляющей и хвостовиком.

Размеры  $l_1, l_2, l_3$  целесообразно принимать минимальными, что позволяет получить  $l_p$  максимальным, а следовательно, и максимальное количество черновых, чистовых и калибрующих зубьев. В общем случае

$$l_p = zt + z_c t_c + z_k t_k, \quad (6.61)$$

где  $z, z_c$  и  $z_k$  – соответственно число черновых, чистовых и калибрующих зубьев;  $t, t_c$  и  $t_k$  – соответственно шаг черновых, чистовых и калибрующих зубьев.

Наличие тех или иных зубьев зависит от конструкции и количества прошивок в комплекте, а также от точности обработки. Например, если комплект состоит из трех прошивок, то первая должна иметь только черновые зубья, вторая – черновые зубья и 2 или 3 чистовых зуба, а последняя прошивка – черновые зубья, 2–5 чистовых и 3–8 калибрующих зубьев, число которых зависит от точности обрабатываемого отверстия. Например, для получения отверстий точностью IT6; 7; 8; 9; 10 и выше рекомендуют принимать число калибрующих зубьев, равным соответственно  $z_k = 8; 7; 6; 5; 4$  и 3.

Задаваясь значениями  $z, z_c, z_k, t, t_c$  и  $t_k$  по формуле (6.61) можно рассчитать число черновых зубьев и общий припуск, снимаемый комплектом прошивок, который должен быть равным заданному. Размеры зубьев и их форма зависят от обрабатываемого отверстия и их рассчитывают так же, как и для протяжек.

Конструктивные элементы квадратной прошивки показаны на рис. 6.14.

Особые трудности возникают при обработке сепараторов подшипников с нечетным количеством отверстий (окон), т.к. рабочий ход прошивок ограничен размерами детали. Это приводит к увеличению количества прошивок в комплекте до 3; 4 штук, т.к. увеличивается общее количество режущих и калибрующих зубьев.

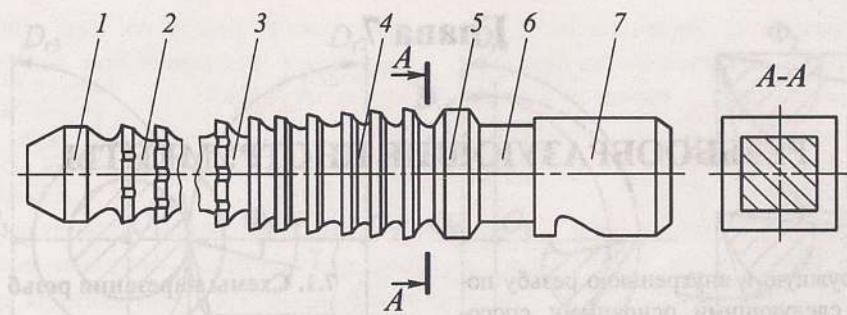


Рис. 6.14. Конструктивные элементы квадратной прошивки:

1 – передняя направляющая; 2 – черновые зубья; 3 – чистовые зубья; 4 – калибрующие зубья; 5 – задняя направляющая; 6 – шейка; 7 – хвостовик

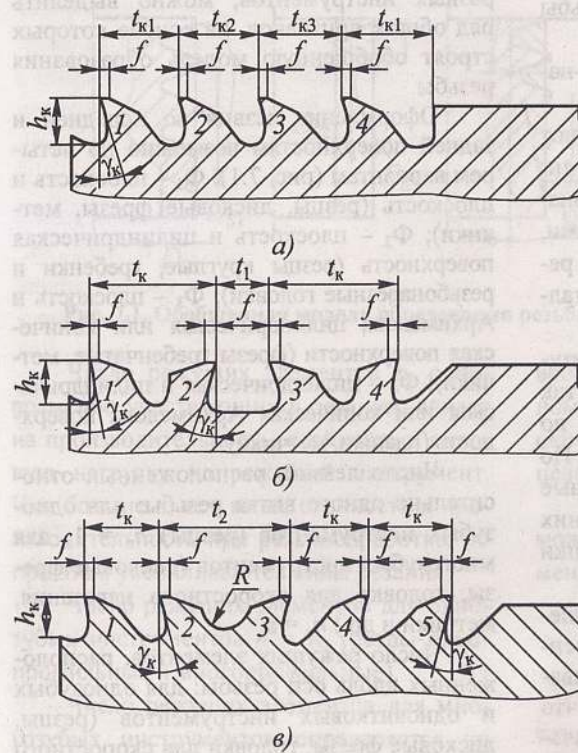


Рис. 6.15. Профиль калибрующих зубьев:

а – с обычным расположением зубьев (1–4 – прямые зубья,  $t_{k1} = t$ ,  $t_{k2} = t + 0,5$  мм,  $t_{k3} = t + 1$  мм);  
б – с чередующимся расположением зубьев (1 и 3 – прямые зубья, 2 и 4 – обратные зубья,  $t_k = t$ ,  $t_1 = 0,5t$ );  
в – с последовательным расположением зубьев (1 и 2 – прямые зубья, 3...5 – обратные зубья,  $t_k = t$ ,  $t_2 = 1,5t_k$ ,  $R = 2$  мм)

При применении на прошивках калибрующих зубьев с обычным их расположением, как в протяжках (рис. 6.15, а), на обработанных поверхностях при обратном ходе инструмента часто образуются риски и задиры. Поэтому на последней прошивке комплекта применяют так называемые прямые и обратные калибрующие зубья. Причем сначала в группе рас-

полагают прямой, а затем обратный калибрующий зуб (рис. 6.15, б). При последовательном расположении (рис. 6.15, в) первыми располагаются все прямые, а затем все обратные зубья. Общее количество калибрующих зубьев зависит от размеров и толщины перемычек окон, требуемого качества и точности обрабатываемого отверстия детали.

## Глава 7

### РЕЗЬБООБРАЗУЮЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Наружную и внутреннюю резьбу получают следующими основными способами:

- нарезанием профиля резьбы режущими инструментами;
- выдавливанием профиля резьбы выдавливающими инструментами;
- накатыванием профиля резьбы накатными инструментами.

Нарезание резьбы осуществляют резьбовыми резцами, гребенками, метчиками, резьбовыми плашками, резьбонарезными головками, резьбовыми фрезами, шлифовальными кругами. В процессе резания происходит вырезание слоев металла по профилю впадины.

Процесс выдавливания характеризуется наличием больших сил трения, так как инструмент и деталь работают по принципу пары скольжения без зазора. По этому принципу работают бесстружечные метчики для образования внутренних резьб и выдавливающие сборные плашки для образования наружных резьб.

Накатывание профиля резьбы осуществляют при силовом качении инструмента по поверхности заготовки. Накатывание отличается от выдавливания тем, что инструмент и деталь образуют пару качения, а не пару скольжения, в результате чего значительно уменьшаются силы трения. К инструментам для накатывания резьб относятся резьбонакатные плоские и сегментные плашки, резьбонакатные ролики, резьбонакатные головки аксиального, тангенциального и радиального типов.

При выдавливании и накатывании профиль резьбы образуется за счет пластического деформирования металла.

#### 7.1. Схемы нарезания резьб

Схемы нарезания резьб различными видами инструментов приведены на рис. 7.1. Несмотря на многообразие резьбонарезных инструментов, можно выделить ряд общих признаков, на основе которых строят обобщенную модель образования резьбы.

Оформление лезвия по передней и задней поверхностям возможно по четырем вариантам (рис. 7.1):  $\Phi_1$  – плоскость и плоскость (резцы, дисковые фрезы, метчики);  $\Phi_2$  – плоскость и цилиндрическая поверхность (резцы круглые, гребенки и резьбонарезные головки);  $\Phi_3$  – плоскость и Архимедова цилиндрическая или коническая поверхности (фрезы гребенчатые, метчики);  $\Phi_4$  – цилиндрическая и цилиндрическая или коническая Архимедова поверхность (плашки, метчики).

Число лезвий, расположенных относительно одного витка резьбы: для однозубых инструментов (резцы)  $n_b = 1$ ; для многозубых инструментов (дисковые фрезы, головка для скоростного нарезания, метчики и др.)  $n_b = z$ .

Число режущих элементов, расположенных вдоль оси резьбы: для однозубых и одновитковых инструментов (резцы, дисковые фрезы, головки для скоростного нарезания)  $n_0 = 1$ ; для многовитковых инструментов (гребенчатые фрезы)  $n_0 = l_p / P$ ,

где  $l_p$  – длина рабочей части инструмента;  $P$  – шаг резьбы; для инструментов, имеющих заборный (режущий) участок (метчики, плашки, резьбонарезные головки, многопрофильные резцы-гребенки),  $n_0 = l_1 / P + 1$ , где  $l_1$  – режущий участок инструмента.

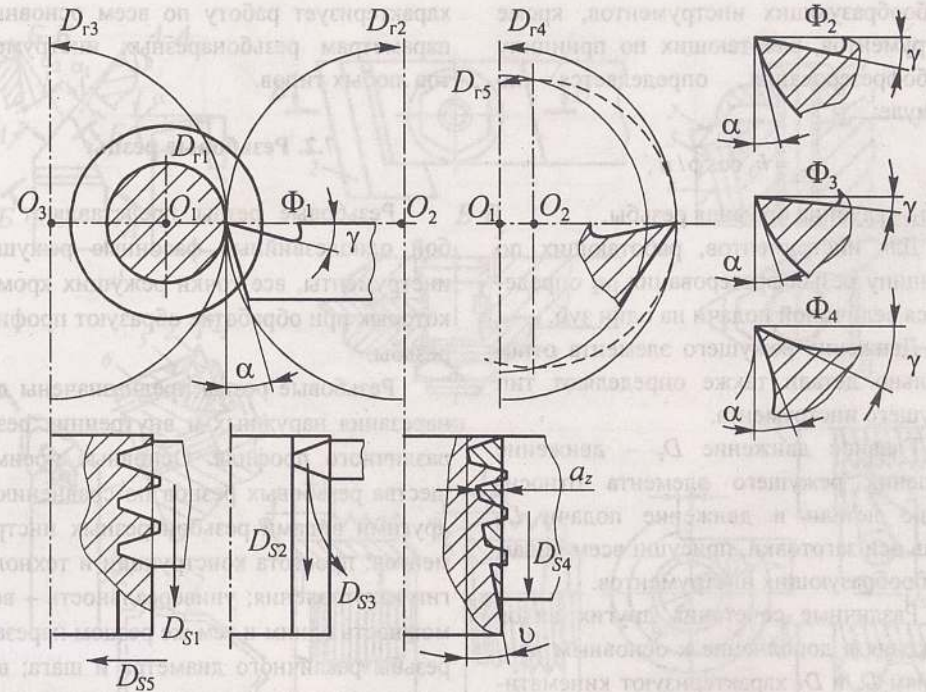


Рис. 7.1. Обобщенная модель образования резьбы резьбонарезными инструментами

Число режущих элементов  $n$ , одновременно участвующих в резании, влияет на производительность, стойкость и силовую нагрузку на режущий инструмент. Чем больше  $n$ , тем выше стойкость и производительность при резьбообработке, но при этом увеличиваются силы резания.

Число режущих элементов для однозубых инструментов  $n = n_0$  (резцы однопрофильные и многопрофильные).

Число режущих элементов для многозубых инструментов определяется по формуле:

$$n = l_{\max} n_b n_0 / (\pi d),$$

где  $l_{\max}$  – дуга окружности, определяющая максимально возможную зону обработки,  $d$  – диаметр инструмента.

В этой формуле соотношение  $l_{\max} n_b / (\pi d) = n_{\max}$  определяет максимально возможное число зубьев, одно-

временно участвующих в резании по одному витку. При этом расчетная величина округляется до ближайшего наименьшего целого числа.

На основании обобщенной формулы можно определить число режущих элементов для любых инструментов:

– метчиков

$$n = n_b n_0 = z (l_1 / P + 1),$$

так как  $l_{\max} / (\pi d) = 1$ ;

– дисковых фрез

$$n = l_{\max} n_b / (\pi d) = l_{\max} z / (\pi d);$$

– гребенчатых многониточных фрез

$$n = l_{\max} z l_p / (\pi d P).$$

Толщина слоя металла, снимаемого одним режущим элементом, для всех

резьбообразующих инструментов, кроме инструментов, работающих по принципу резьбофрезерования, определяется по формуле:

$$a_z = h_3 \cos \varphi / n,$$

где  $h_3$  – глубина профиля резьбы.

Для инструментов, работающих по принципу резьбофрезерования,  $a_z$  определяется величиной подачи на один зуб.

Движения режущего элемента относительно детали также определяют тип режущего инструмента.

Главное движение  $D_r$  – движение вращения режущего элемента относительно детали и движение подачи  $D_s$  вдоль оси заготовки, присущи всем видам резьбообразующих инструментов.

Различные сочетания других видов движения в дополнение к основным движениям  $D_r$  и  $D_s$  характеризуют кинематику процесса резания для различных типов резьбообразующих инструментов (см. рис. 7.1).

Сочетание движений  $D_{r1}$ ,  $D_{S2}$  – обработка резцами;  $D_{r1}$ ,  $D_{S2}$ ,  $D_{S3}$  – обработка обкаточными резцами;  $D_{r1}$ ,  $D_{S4}$  – обработка многопрофильными резцами (гребенками);  $D_{r4}$ ,  $D_{S4}$  – обработка метчиками, резьбонарезными головками, плашками;  $D_{r1}$ ,  $D_{f2}$ ,  $D_{S1}$ ,  $D_{S5}$  – обработка охватывающими резьбовыми фрезами, головками для скоростного охватывающего резания наружной резьбы;  $D_{r4}$ ,  $D_{f5}$ ,  $D_{S1}$ ,  $D_{S5}$  – то же, для внутренних резьб.

Значение подачи определяется шагом нарезаемой резьбы  $P$  – за один оборот заготовки режущий элемент (или заготовка) перемещается на один шаг резьбы. Подача осуществляется или за счет кинематики станка, когда движения  $D_r$  и  $D_s$  взаимосвязаны, или за счет процесса самозатягивания.

Таким образом, обобщенная модель

характеризует работу по всем основным параметрам резьбонарезных инструментов любых типов.

## 7.2. Резьбовые резцы

Резьбовые резцы представляют собой однолезвийные фасонные режущие инструменты, все точки режущих кромок которых при обработке образуют профиль резьбы.

Резьбовые резцы предназначены для нарезания наружных и внутренних резьб различного профиля. Основные преимущества резьбовых резцов по сравнению с другими видами резьбонарезных инструментов: простота конструкции и технологии изготовления; универсальность – возможность одним и тем же резцом нарезать резьбы различного диаметра и шага; высокая точность взаимного расположения оси обработанной резьбы по отношению к цилиндрическим и торцовым поверхностям заготовок; возможность обработки резьбы с переменными шагами, в том числе и на конических поверхностях.

**Типы резьбовых резцов.** Выбор типа резьбового резца для заданного технологического процесса зависит от следующих факторов: профиля, диаметров и шага резьбы, вида резьбы (наружная или внутренняя), материала режущей части резца, серийности производства, модели станка и его состояния.

Резьбовые резцы подразделяются на типы:

а) по конструкции – стержневые (рис. 7.2, а, в, г); призматические (рис. 7.2, б); круглые с кольцевой нарезкой (рис. 7.2, д); с винтовой нарезкой (рис. 7.2, е);

б) по форме режущей кромки – однопрофильные (см. рис. 7.2, а, б, в), многопрофильные (см. рис. 7.2, д, е, ж);

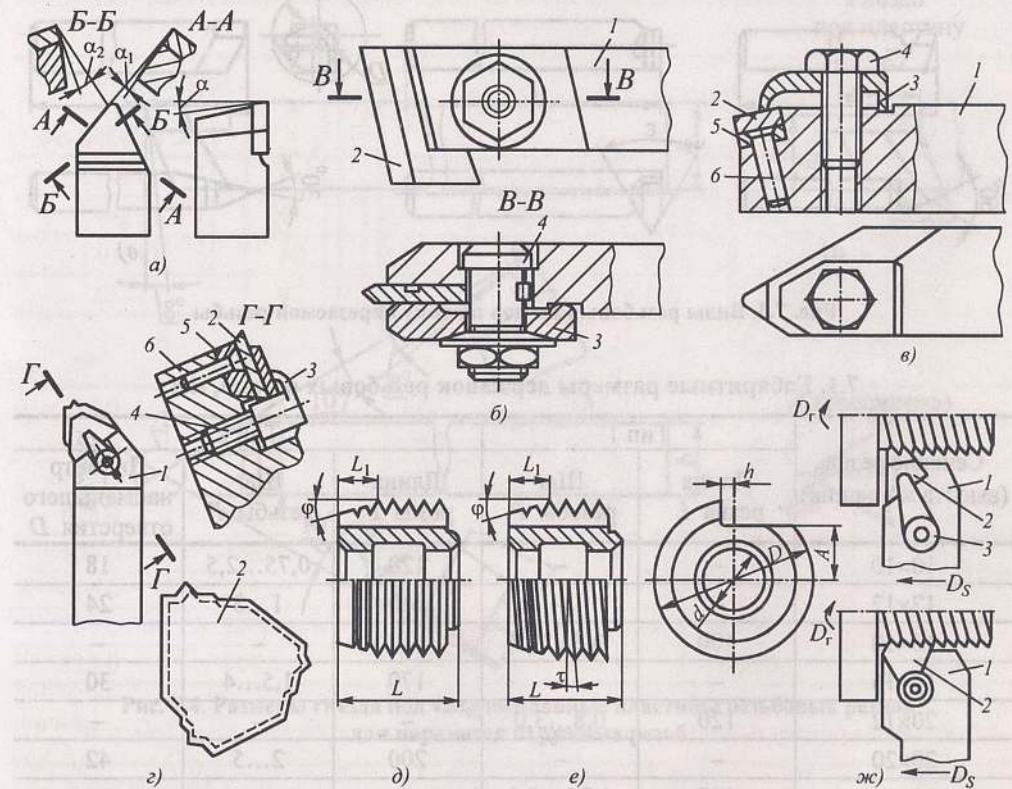


Рис. 7.2. Резьбовые резцы:

а – составной с напаянной твердосплавной пластиной; б – составной с призматической вставкой из быстрорежущей стали; в – составной с трехгранной сменной твердосплавной пластиной,  $\alpha = 0$ ; г – составной со сменной твердосплавной пластиной,  $\alpha \neq 0$ ; д – круглый с кольцевой нарезкой; е – круглый с винтовой нарезкой; ж – составной с многопрофильной вставкой; л – корпус резца; 2 – вставка; 3 – прихват; 4 – болт; 5 – прокладка; б – штифт

в) по исполнению режущего элемента – цельные (см. рис. 7.2, д, е), составные (см. рис. 7.2, а), сборные (см. рис. 7.2, б, в, г);

г) по виду работы – черновые, чистовые;

д) по виду нарезаемой резьбы: резцы для нарезания наружной метрической резьбы (рис. 7.3, а); резцы для нарезания внутренней метрической резьбы ( $\epsilon = 60^\circ$ ) и трапецидальной ( $\epsilon = 30^\circ$ ) (рис. 7.3, б); резцы для нарезания наружной трапецидальной резьбы (рис. 7.3, в).

В табл. 7.1 приведены габаритные размеры державок резьбовых резцов. Размеры гнезда под напаяемые твердосплавные пластины (рис. 7.4 и 7.5) представлены в табл. 7.2 и 7.3; в табл. 7.4 даны основные размеры резцов многопрофильных призматических (гребенки) для нарезания метрической, трубной и дюймовой резьб (рис. 7.6).

Нарезание резьб мелкого профиля осуществляется за один проход. В этом случае глубина резания  $t_p$  равна высоте

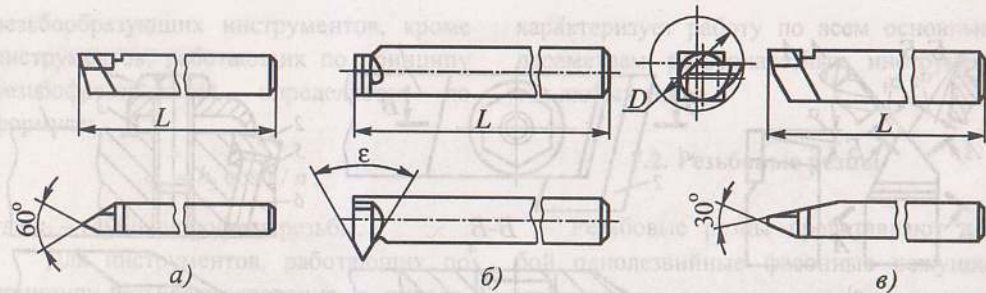


Рис. 7.3. Виды резцовых резцов по типу нарезаемой резьбы

## 7.1. Габаритные размеры державок резцовых резцов, мм

Сечение резца (высота × ширина)	Тип 1		Тип 2		Диаметр наименьшего отверстия $D$
	Длина резца $L$	Шаг резьбы $P$	Длина резца $L$	Шаг резьбы $P$	
10×10	—	—	120	0,75...2,5	18
12×12	—	—	140	1...3	24
16×10	100	0,5...2,5	—	—	—
16×16	—	—	170	1,5...4	30
20×12	120	0,8...3,0	—	—	—
20×20	—	—	200	2...5	42
25×16	140	1,25...5,0	—	—	—
25×25	—	—	240	3...6	52
32×20	170	2...6	—	—	—
40×25	—	—	—	—	—

Сечение резца (высота × ширина)	Тип 3		Тип 4		Диаметр наименьшего отверстия $D$	Обозначение пластины по ГОСТ 25398-90
	Длина резца $L$	Шаг резьбы $P$	Длина резца $L$	Шаг резьбы $P$		
10×10	—	—	120	2...4	16	11150
12×12	—	—	140	2...8	22	11150
16×10	—	—	—	—	—	11130
16×16	—	—	170	3...10	30	11190
20×12	120	2...5	—	—	—	11190
20×20	—	—	200	3...12	44	11210
25×16	140	6...10	—	—	—	11210
25×25	—	—	240	4...16	62	11230
32×20	170	12...16	—	—	—	11230
40×25	200	20...24	—	—	—	11230

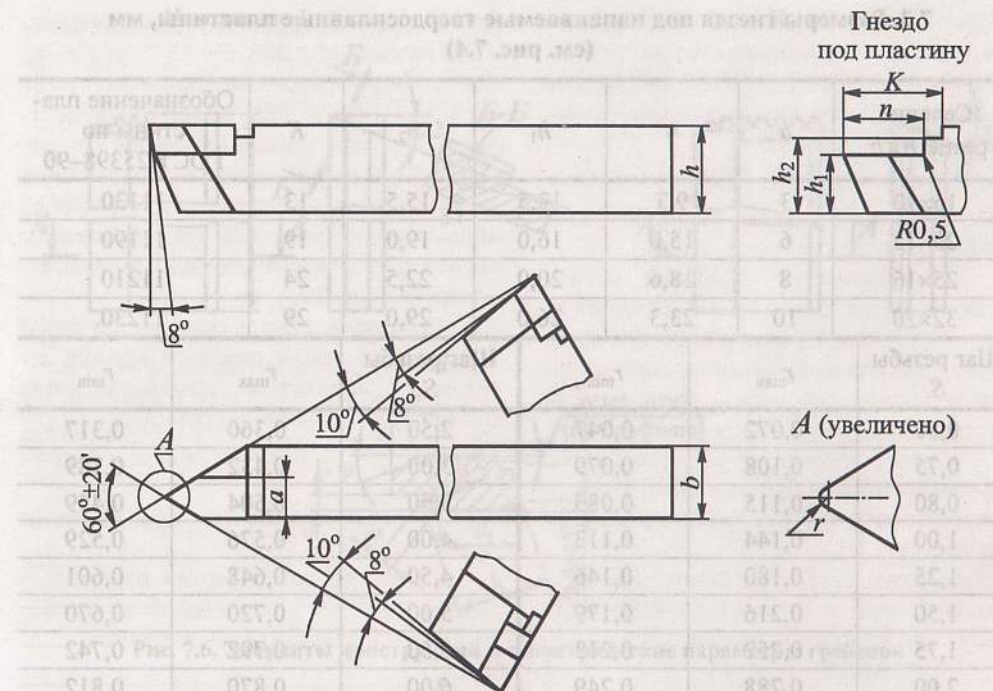


Рис. 7.4. Размеры гнезда под твердосплавные пластины резцовых резцов для нарезания наружных резьб

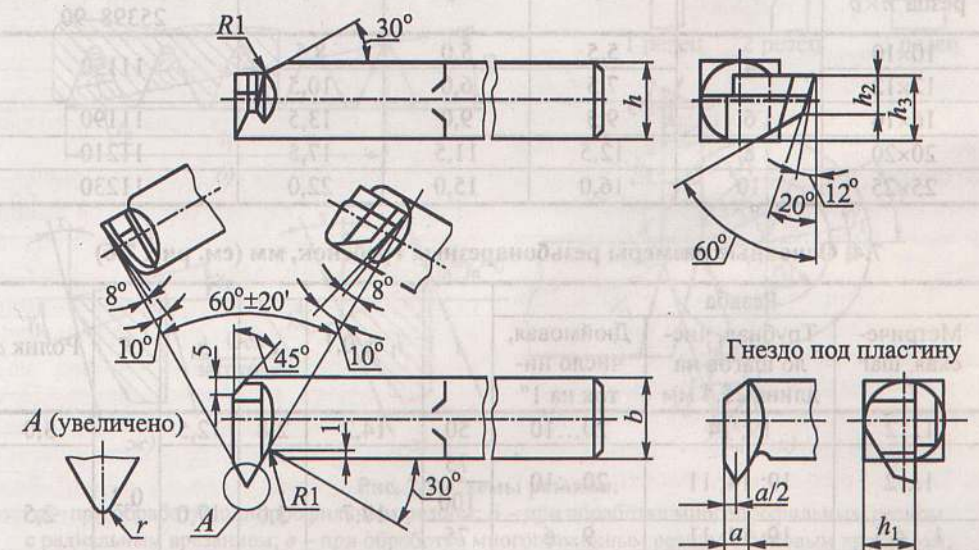


Рис. 7.5. Размеры гнезда под твердосплавные пластины резцовых резцов для нарезания внутренних резьб



7.2. Размеры гнезда под напайваемые твердосплавные пластины, мм (см. рис. 7.4)

Сечение резца $h \times b$	$a$	$n$	$h_1$	$h_2$	$K$	Обозначение пластины по ГОСТ 25398-90
16×10	3	9,3	13,5	15,5	13	11130
20×12	6	15,0	16,0	19,0	19	11190
25×16	8	18,6	20,0	22,5	24	11210
32×20	10	23,3	26,0	29,0	29	11230

Шаг резьбы $S$	$r_{max}$	$r_{min}$	Шаг резьбы $S$	$r_{max}$	$r_{min}$
0,50	0,072	0,047	2,50	0,360	0,317
0,75	0,108	0,079	3,00	0,432	0,389
0,80	0,115	0,085	3,50	0,504	0,459
1,00	0,144	0,113	4,00	0,576	0,529
1,25	0,180	0,146	4,50	0,648	0,601
1,50	0,216	0,179	5,00	0,720	0,670
1,75	0,252	0,213	5,50	0,792	0,742
2,00	0,288	0,249	6,00	0,870	0,812

7.3. Размеры гнезда под напайваемые твердосплавные пластины, мм (см. рис. 7.5)

Сечение резца $h \times b$	$a$	$h_1$	$h_2$	$h_3$	Обозначение пластины по ГОСТ 25398-90
10×10	4	5,5	5,0	8,5	11150
12×12		7,5	6,0	10,5	
16×16	6	9,5	9,0	13,5	11190
20×20	8	12,5	11,5	17,5	11210
25×25	10	16,0	15,0	22,0	11230

7.4. Основные размеры резьбонарезных гребенок, мм (см. рис. 7.6)

Метрическая шаг $P$	Резьба		$l$	$l_1 \pm 0,1$	$c$	$b_1$	$R$	Ролик $d$
	Трубная, число шагов на длине 25,4 мм	Дюймовая, число витков на 1"						
1...2	19; 14	20...10	50	14,2	2,8	12,5	0,3	3,0
1...2	19; 14; 11	20...10	75	17,7	3,0	17,0		
			100					
1...4,5	19; 14; 11	9...6	75	30,6	5,0	29,0	0,5	4,5
2,5...4	-	9...6	100					
4...6	-	6...4	100					

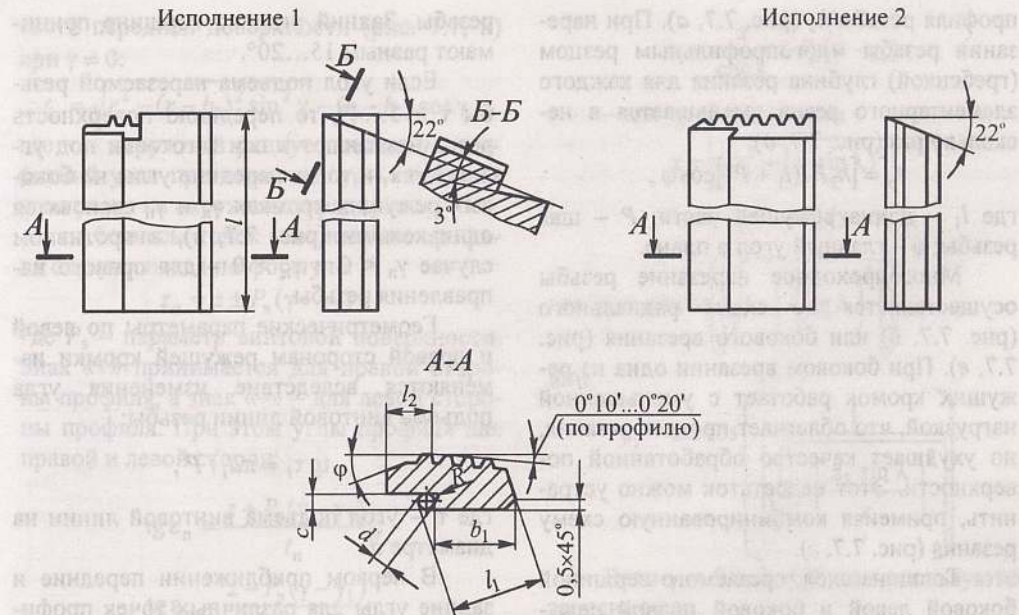


Рис. 7.6. Элементы конструкций и геометрические параметры гребенок

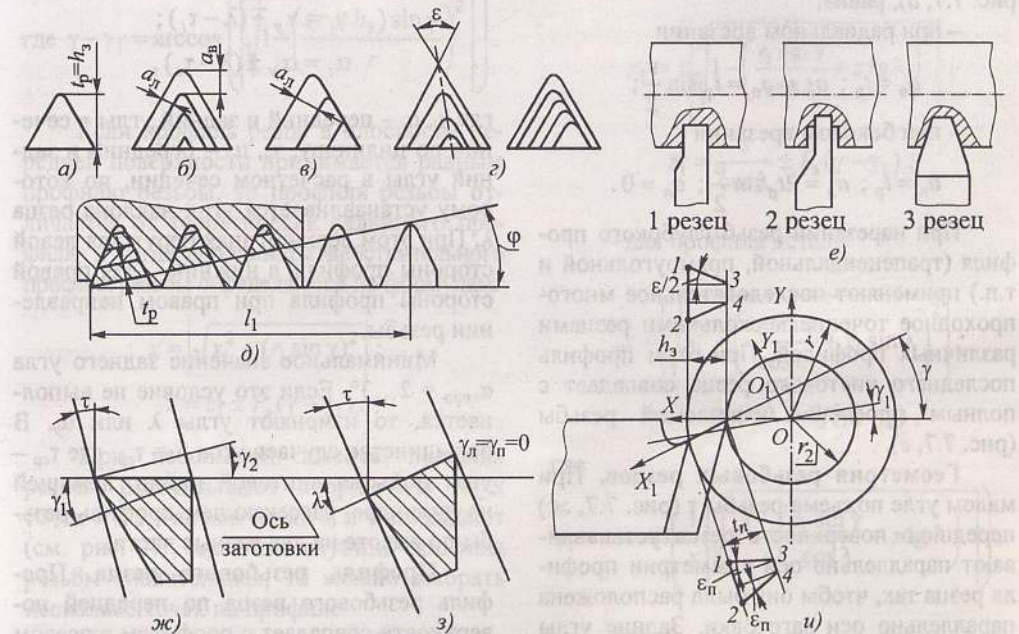


Рис. 7.7. Схемы резания:

$a$  – при обработке однопрофильным резцом;  $b$  – при обработке многопрофильным резцом с радиальным врезанием;  $c$  – при обработке многопроходным резцом с боковым врезанием;  $d$  – комбинированная;  $e$  – при обработке несколькими резцами различных профилей;  $ж, з$  – геометрия резцов;  $и$  – зависимость между размерами резца и детали

профиля резьбы  $h_3$  (рис. 7.7, а). При нарезании резьбы многопрофильным резцом (гребенкой) глубина резания для каждого элементарного резца уменьшается в несколько раз (рис. 7.7, д):

$$t_p = [h_3 P / (l_1 + P)] \cos \varphi,$$

где  $l_1$  — длина режущей части;  $P$  — шаг резьбы;  $\varphi$  — главный угол в плане.

Многопроходное нарезание резьбы осуществляется по схеме радиального (рис. 7.7, б) или бокового врезания (рис. 7.7, в). При боковом врезании одна из режущих кромок работает с уменьшенной нагрузкой, что облегчает процесс резания, но ухудшает качество обработанной поверхности. Этот недостаток можно устранить, применяя комбинированную схему резания (рис. 7.7, з).

Толщина слоя, срезаемого вершиной боковой левой и боковой правой режущими кромками резьбового резца (см. рис. 7.7, а), равна:

— при радиальном врезании

$$a_b = t_p; a_n = a_n = t_p \sin \frac{\varepsilon}{2};$$

— при боковом врезании

$$a_b = t_p; a_n = 2t_p \sin \frac{\varepsilon}{2}; a_n = 0.$$

При нарезании резьб глубокого профиля (трапецеидальной, прямоугольной и т.п.) применяют последовательное многопроходное точение несколькими резцами различных профилей. При этом профиль последнего чистового резца совпадает с полным профилем нарезаемой резьбы (рис. 7.7, е).

**Геометрия резьбовых резцов.** При малом угле подъема резьбы  $\tau$  (рис. 7.7, ж) переднюю поверхность резца устанавливают параллельно оси симметрии профиля резца так, чтобы она была расположена параллельно оси заготовки. Задние углы на боковых режущих кромках выполняют одинаковыми для резцов как из быстрорежущей стали, так и из твердых сплавов: в пределах  $4...6^\circ$  для предварительного и  $8...10^\circ$  для окончательного нарезания

резьбы. Задний угол на вершине принимают равным  $15...20^\circ$ .

Если угол подъема нарезаемой резьбы  $\tau \geq 3...4^\circ$ , то переднюю поверхность резца наклоняют к оси заготовки под углом  $\lambda = \tau$ , и тогда передние углы на боковых режущих кромках  $\gamma_n$  и  $\gamma_n$  становятся одинаковыми (рис. 7.7, з), в противном случае  $\gamma_n < 0$  и  $\gamma_n > 0$  — для правого направления резьбы.

Геометрические параметры по левой и правой сторонам режущей кромки изменяются вследствие изменения угла подъема винтовой линии резьбы:

$$\operatorname{tg} \tau_i = \pi d_i / P,$$

где  $\tau_i$  — угол подъема винтовой линии на диаметре  $d_i$ .

В первом приближении передние и задние углы для различных точек профиля резца определяются по формулам:

$$\gamma_i = \gamma_y \mp (\lambda - \tau_i);$$

$$\alpha_i = \alpha_y \pm (\lambda - \tau_i),$$

где  $\gamma_y, \alpha_y$  — передний и задний углы в сечении по цилиндру,  $\gamma_y, \alpha_y$  — передний и задний углы в расчетном сечении, по которому устанавливается угол наклона резца  $\lambda$ . При этом верхний знак берут для левой стороны профиля, а нижний — для правой стороны профиля при правом направлении резьбы.

Минимальное значение заднего угла  $\alpha_{i, \min} = 2...3^\circ$ . Если это условие не выполняется, то изменяют углы  $\lambda$  или  $\alpha_y$ . В большинстве случаев угол  $\lambda = \tau_{cp}$ , где  $\tau_{cp}$  — угол подъема винтовой линии, лежащей на цилиндре, рассекающем профиль резьбы по высоте на две равные части.

**Профиль резьбового резца.** Профиль резьбового резца по передней поверхности совпадает с профилем в осевом сечении заготовки при  $\gamma = 0$  и  $\lambda = 0$ . Если  $\gamma$  и  $\lambda$ , то профиль резца отличен от профиля резьбы.

Зависимость между размерами по высоте профиля заготовки и резца в плос-

кости передней поверхности (рис. 7.7, и) при  $\gamma \neq 0$ :

$$t_n = \sqrt{r^2 - (r - h_3)^2 \sin^2 \gamma} - (r - h_3) \cos \gamma,$$

где  $r$  — наружный радиус детали;  $\gamma$  — передний угол при вершине;  $\gamma_1$  — передний угол резца на окружности радиуса  $r_1$ .

Абсциссы точек у основания профиля определяют по формуле:

$$z_n = z \pm P_b (\gamma - \gamma_1),$$

где  $P_b$  — параметр винтовой поверхности. Знак «+» принимается для правой стороны профиля, а знак «-» — для левой стороны профиля. При этом углы профиля для правой и левой сторон:

$$\operatorname{tg} \varepsilon_n = \frac{z + P_b (\gamma - \gamma_1)}{t_n};$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon_n = \frac{z - P_b (\gamma - \gamma_1)}{t_n},$$

где  $\gamma - \gamma_1 = \arccos \left( \sqrt{1 - \left( \frac{(r - h_3) \sin \gamma}{r} \right)^2} \right)$ .

Если профиль резца в плоскости передней поверхности принимается равным профилю резьбы, то профиль резьбы отличается от теоретически заданного профиля, и тогда координаты действительного профиля резьбы определяются по формулам:

$$x = \sqrt{x_1^2 + (r_1 \sin \gamma)^2};$$

$$z = z_1 \pm P_b (\gamma - \gamma_1).$$

При небольшой высоте профиля резьбы рассчитывают координаты двух точек 1 и 2, так как точки 3 и 4 совпадают (см. рис. 7.7, и). Если глубина профиля резьбы значительная, то можно выбрать несколько точек на профиле.

Наличие угла  $\lambda$  также вызывает необходимость перерасчета координат:

— для профиля резца

$$x_1 = \sqrt{x^2 - \left( \frac{z}{x} \operatorname{tg} \gamma \right)^2};$$

$$z_1 = \frac{z}{\cos \lambda} \pm P_b (\gamma - \gamma_1);$$

— для профиля детали

$$x = \sqrt{x_1^2 + (z_1 \sin \lambda)^2};$$

$$z = z_1 \cos \lambda \pm P_b (\gamma - \gamma_1),$$

где  $\gamma_1 = \arccos \left( \sqrt{1 - \left( \frac{z \operatorname{tg} \lambda}{x} \right)^2} \right)$ ,

или

$$\gamma_1 = \arccos \left( \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{z_1 \sin \lambda}{x_1} \right)^2}} \right).$$

Если  $\gamma \neq 0$  и  $\lambda \neq 0$ , то используются зависимости:

— для профиля резца

$$x_1 = x \sqrt{1 - \left( \frac{r_1 \sin \gamma}{\cos \lambda} + z \operatorname{tg} \lambda \right)^2};$$

$$z_1 = \frac{z}{\cos \lambda} \pm P_b (\gamma - \gamma_1);$$

— для профиля детали

$$x = \sqrt{x_1^2 + \left( \frac{r_1 \sin \gamma}{\cos \lambda} + z_1 \sin \lambda \right)^2};$$

$$z = z_1 \cos \lambda \pm P_b (\gamma - \gamma_1),$$

где

$$\gamma_1 = \arccos \left( \frac{1}{x} \sqrt{x^2 - \left( \frac{r_1 \sin \gamma}{\cos \lambda} + z \operatorname{tg} \lambda \right)^2} \right),$$

или

$$\gamma_1 = \arccos \left( \frac{x_1}{\sqrt{x_1^2 + \left( \frac{r_1 \sin \gamma}{\cos \lambda} + z_1 \sin \lambda \right)^2}} \right).$$

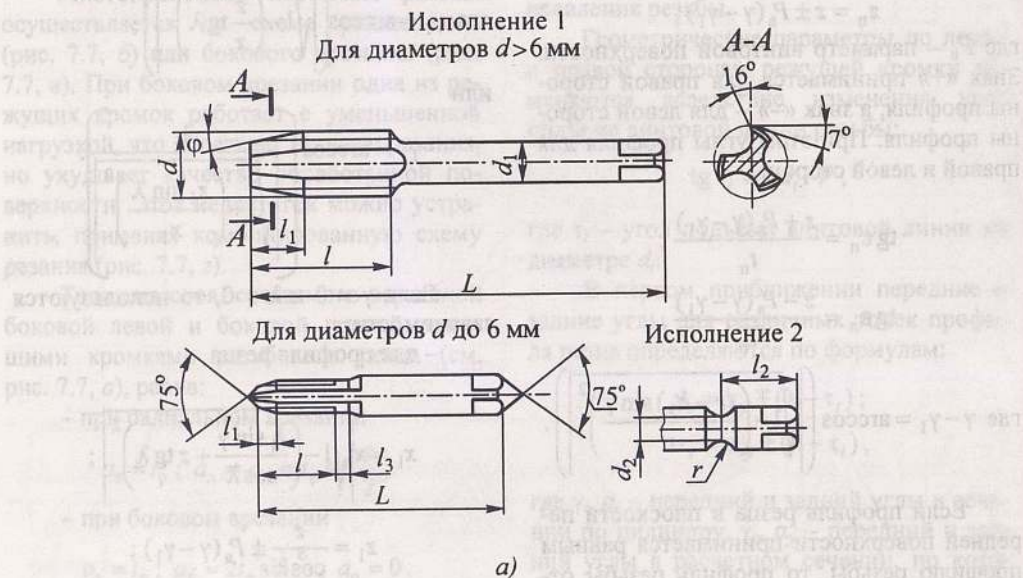
## 7.3. Метчики

Метчики предназначены для образования резьбы в отверстиях. По принципу работы метчики делят на образующие профиль резьбы путем снятия стружки и метчики бесстружечные, образующие профиль без снятия стружки.

По конструкции и применению мет-

чики делят на следующие типы:

1) машинные и ручные – для нарезания резьб как вручную, так и на станках (ГОСТ 3266–81); с шахматным расположением зубьев для обработки коррозионно-стойких и жаропрочных сталей (ГОСТ 17927–72); то же, для обработки легких сплавов (рис. 7.8) (ГОСТ 17928–72); бесстружечные;



а)

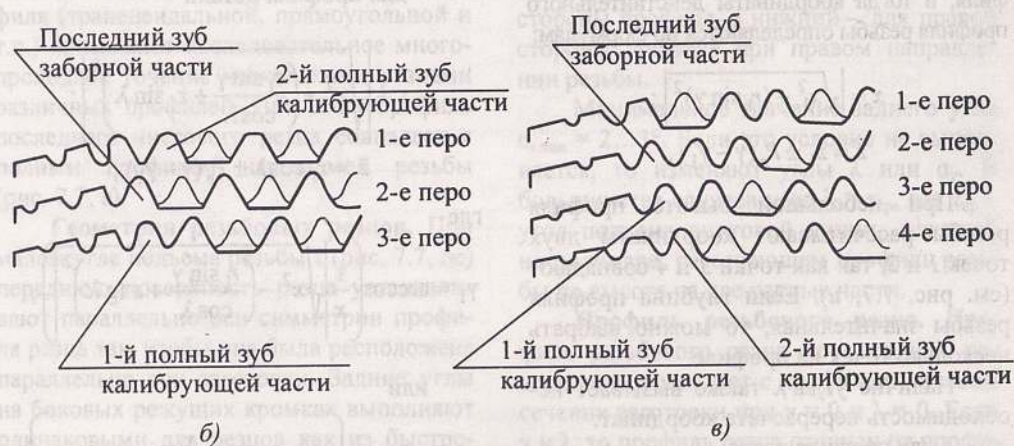


Рис. 7.8. Метчики с шахматным расположением зубьев для обработки легких сплавов: а – варианты исполнения; б – схемы вырезания зубьев у трехперых метчиков, начиная с третьего полного зуба; в – то же, у четырехперых метчиков

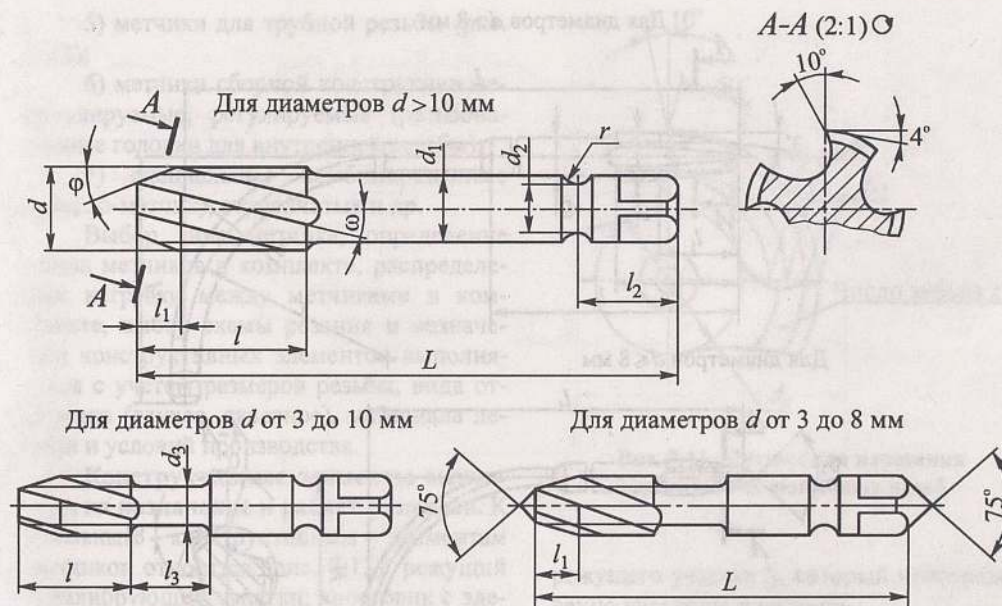


Рис. 7.9. Метчики с винтовыми канавками

2) машинные – для нарезания резьбы на станке (метрической резьбы диаметром 0,25...0,9 мм); метчики с укороченными канавками (ГОСТ 17931–72, ГОСТ 17930–72); с винтовыми канавками (рис. 7.9) (ГОСТ 17932–72, ГОСТ 17933–72);

3) гаечные – для нарезания резьб в гайках на гайконарезных станках: с изогнутым хвостовиком (рис. 7.10, а) (ГОСТ 6951–71); с прямым хвостовиком (рис. 7.10, б) (ГОСТ

1604–71); бесстружечные с изогнутым хвостовиком (ГОСТ 18840–73); с шахматным расположением зубьев для обработки коррозионно-стойких и жаропрочных сталей (ГОСТ 17929–72); бесстружечные с прямым хвостовиком (ГОСТ 18840–73);

4) конические (рис. 7.11) – для нарезания конических дюймовых резьб (ГОСТ 6227–80). Основные размеры приведены в табл. 7.5;

## 7.5. Основные размеры пера конического метчика, мм

Обозначение размера конической резьбы, дюймы	$d_c(h14)$	$z$	$F$	$K$	$K_1$
$K \frac{1}{16}$	3,6	3	3,2	0,5	0,10
$K \frac{1}{8}$	4,6		3,8	0,75	0,15
$K \frac{1}{4}$	6,1		5,3	1,0	0,20
$K \frac{3}{8}$	9,6		4,3	1,5	
$K \frac{1}{2}$	11,8	4	5,8	1,75	0,25
$K \frac{3}{4}$	13,3		7,0		
$K 1$	16,6		8,8	2,0	0,40
$K 1 \frac{1}{4}$	21,0		11,7	2,5	0,50
$K 1 \frac{1}{2}$	30,0	6	8,7	2,0	0,40
$K 2$	37,5		10,1	2,5	0,50

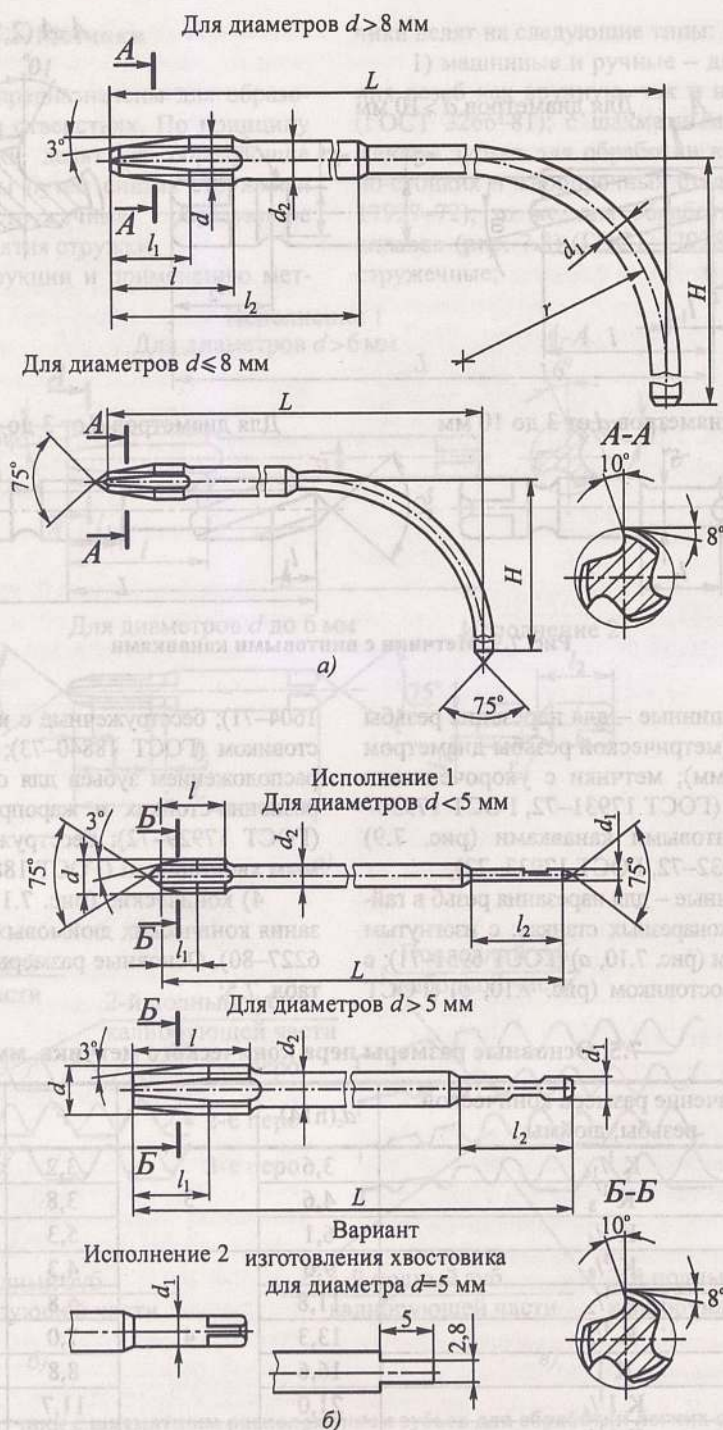


Рис. 7.10. Гаечные метчики с изогнутым (а) и прямым (б) хвостовиками

5) метчики для трубной резьбы (рис. 7.12);

6) метчики сборной конструкции нерегулируемые, регулируемые (резьбонарезные головки для внутренней резьбы);

7) специальные комбинированные (сверло-метчик), ступенчатые и др.

Выбор типа метчика, определение числа метчиков в комплекте, распределение нагрузки между метчиками в комплекте, выбор схемы резания и назначение конструктивных элементов выполняются с учетом размеров резьбы, вида отверстия (глухое, сквозное), материала детали и условий производства.

**Конструктивные элементы метчиков, их назначение и расчет размеров.** К основным конструктивным элементам метчиков относятся (рис. 7.13): режущий и калибрующий участки; хвостовик с элементами крепления; формы зуба и стружечной канавки и ее направление; геометрические параметры режущей и калибрующей частей; профили резьбы метчика и его размеры.

Режущий участок метчика предназначен для вырезания слоев металла по всему контуру профиля резьбы. Калибрующий участок служит для окончательного формирования профиля резьбы (первым калибрующим витком), направления и подачи метчика под действием сил самозатягивания и является запасом на переточку при заточке метчика по режущему участку. Хвостовик метчика предназначен для передачи крутящего момента от шпинделя станка.

**Режущий участок метчика.** Этот участок вырезает слои металла по генераторной (рис. 7.13, б) или профильной (рис. 7.13, в) схемам. В большинстве случаев применяют генераторную схему (машинные, гаечные и другие метчики). Профильную схему применяют для калибрующих и конических метчиков.

Основные параметры режущего участка: длина от торца до начала калибрующего участка  $l_1$ , угол конуса  $\varphi$ , длина

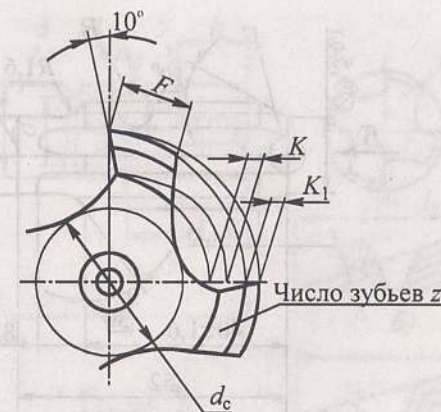


Рис. 7.11. Метчик для нарезания конических дюймовых резьб

режущего участка  $l_2$ , который непосредственно участвует в резании.

Взаимосвязь между этими параметрами определяется по формулам:

$$l_1 = \frac{d - d_\tau}{2 \operatorname{tg} \varphi}; \quad l_2 = \frac{d - d_c}{2 \operatorname{tg} \varphi},$$

где  $d_c$  – диаметр отверстия под резьбу,  $d_c > d_1$ ;  $d_1$  – диаметр по торцу,  $d_\tau = d_1 - (0,1 \dots 0,35)$  мм;  $d$  – наружный диаметр метчика.

Диаметр по торцу и фаска обеспечивают плавный вход метчика в отверстие. Часто длина  $l_1$  задается, и тогда угол  $\varphi$  уточняют по формуле

$$\operatorname{tg} \varphi = (d - d_\tau) / (2l_1).$$

Длина  $l_1$  назначается в зависимости от вида отверстия (глухое, сквозное), типа метчика (машинный, гаечный и т.п.), номера метчика в комплекте. Например, для машинных метчиков при нарезании резьбы в глухих отверстиях вследствие сбега резьбы  $l_1 = 2P$ ; для комплектов метчиков из трех штук  $l_1 = 6P$  – черновой (первый),  $l_1 = 4P$  – второй,  $l_1 = 2P$  – чистовой (третий).

Параметры  $l_2$  и  $\varphi$  влияют на толщину стружки  $a_s$ , снимаемой одним режущим элементом метчика, число которых определяется

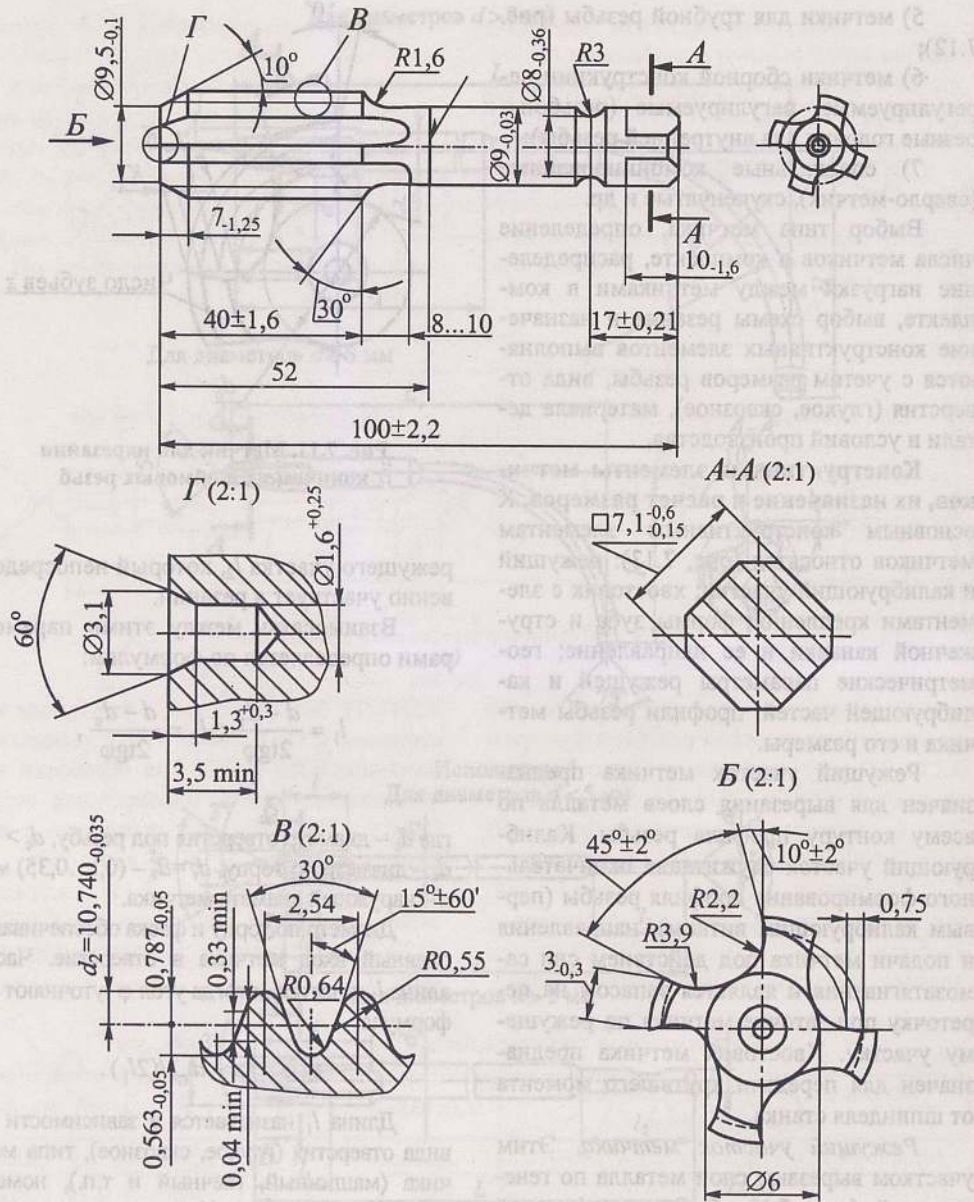


Рис. 7.12. Конструкция и размеры метчика для трубной резьбы

по зависимости  $n = \left(\frac{l_2}{P} + 1\right)z$ , где  $z$  – число зубьев метчика. Следовательно,  $a_z = h_3 \cos \varphi / n$ , где  $h_3$  – высота профиля резьбы. Оптимальный диапазон величины  $a_z =$

$= 0,02 \dots 0,15$  мм. Минимальная толщина стружки должна быть сравнима с величиной округления режущей кромки метчика ( $a_z > \rho = 0,015$  мм). Для стали  $a_z = 0,02 \dots 0,05$  мм, для чугуна  $a_z = 0,06 \dots 0,07$  мм.

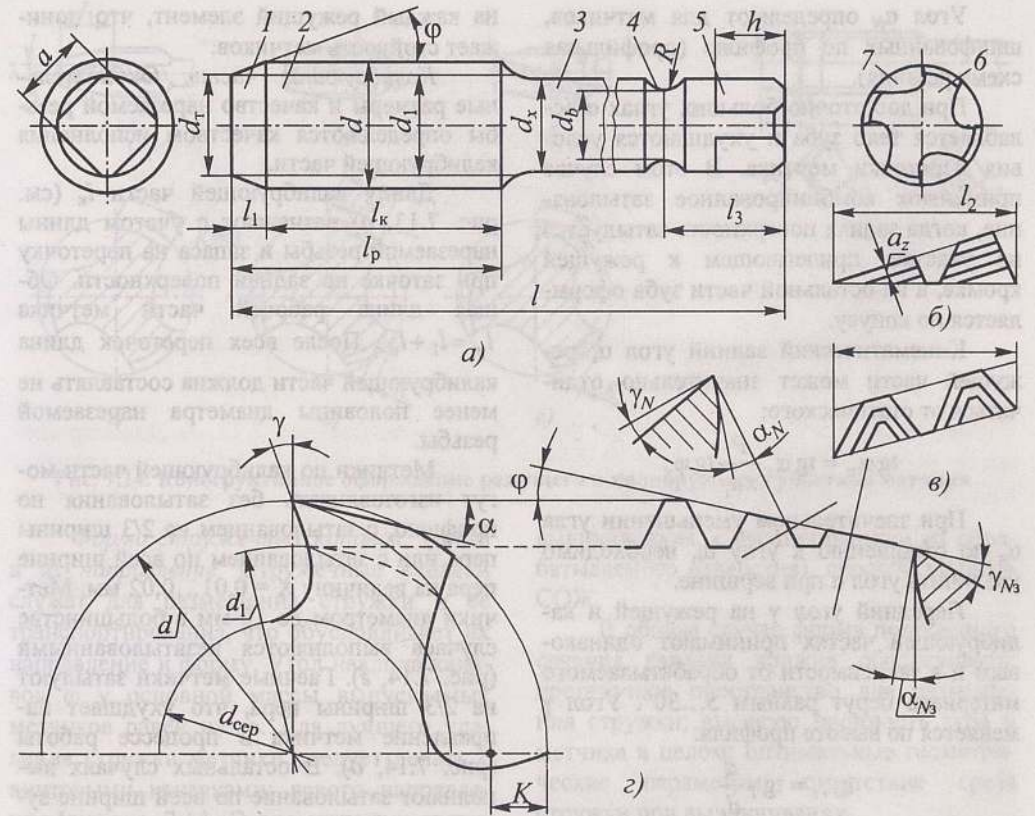


Рис. 7.13. Конструктивные элементы метчика:

а – общий вид; б – генераторная схема резания; в – профильная схема резания; з – геометрические параметры метчика;  $l_1$  – режущая часть; 2 – калибрующая часть; 3 – хвостовик; 4 – выемка для удержания метчика в быстросменном патроне; 5 – квадрат для передачи крутящего момента; б – зуб метчика; 7 – стружечная канавка

На рабочем чертеже метчика представляют параметры  $l_1$  и  $\varphi$ . Последний параметр определяют по формуле:

$$\varphi = \arcsin a_z z / P.$$

На длине режущей части  $l_1$  метчик затачивают по задней поверхности с углом конуса  $\varphi$ . Форму кривой затылования метчика выбирают в зависимости от типа и размеров метчика и условий его работы. Наиболее распространенной формой кривой затылования является Архимедова спираль (рис. 7.13, з), характеризуемая величиной затылования

$$K = \frac{\pi d}{z} \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $\alpha$  – задний угол на наружном диаметре метчика,  $\alpha = 4 \dots 20^\circ$ .

В любой другой точке на конусе режущей части метчика задний угол  $\alpha_i$  равен

$$\alpha_i = \operatorname{arctg}(Kz / \pi d_i),$$

где  $d_i$  – диаметр окружности соответствующего сечения конуса.

Задние углы  $\alpha_N$  и  $\alpha_{N3}$  в сечении, нормальном к режущим кромкам метчика, соответственно равны:

$$\operatorname{tg} \alpha_N = \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin(\varepsilon / 2);$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{N3} = \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin(90^\circ - \varphi),$$

где  $\varepsilon/2$  – половина угла профиля резьбы.

Угол  $\alpha_N$  определяют для метчиков, шлифованных по профилю (профильная схема резания).

При достаточно больших углах  $\alpha$  ослабляется тело зуба и ухудшаются условия переточки метчика. В этом случае применяют комбинированное затылование, когда задняя поверхность затылуется на участке, прилегающем к режущей кромке, а на остальной части зуба оформляется по конусу.

Кинематический задний угол  $\alpha_k$  режущей части может значительно отличаться от статического:

$$\operatorname{tg} \alpha_k = \operatorname{tg} \alpha_i \frac{P}{\pi d_i} \operatorname{tg} \varphi.$$

При значительном уменьшении угла  $\alpha_k$  по отношению к углу  $\alpha_i$ , необходимо увеличить угол  $\alpha$  при вершине.

Передний угол  $\gamma$  на режущей и калибрующей частях принимают одинаковыми и в зависимости от обрабатываемого материала берут равным  $5...30^\circ$ . Угол  $\gamma$  меняется по высоте профиля:

$$\operatorname{tg} \gamma_i = \operatorname{tg} \gamma \frac{d}{d_i}.$$

В сечении, нормальном режущей кромке, передние углы (рис. 7.13, з) определяют по формулам:

$$\operatorname{tg} \gamma_N = \operatorname{tg} \gamma_i \sin \frac{\varepsilon}{2};$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{N_3} = \operatorname{tg} \gamma_i \sin(90^\circ - \varphi).$$

При обработке сквозных отверстий для перемещения стружки в направлении подачи, режущую часть метчика выполняют с отрицательным углом наклона режущей кромки  $\lambda$  (рис. 7.14, а) или применяют винтовое направление зуба с углом наклона  $\omega$  (рис. 7.14, б, в).

После заточки по передней и задней поверхностям биение зубьев на режущей части по наружному диаметру не должно превышать для машинных метчиков  $0,03...0,04$  мм, а для гаечных метчиков —  $0,05...0,06$  мм. При большей величине биения создается неравномерная нагрузка

на каждый режущий элемент, что понижает стойкость метчиков.

**Калибрующая часть.** Окончательные размеры и качество нарезаемой резьбы определяются качеством исполнения калибрующей части.

Длину калибрующей части  $l_k$  (см. рис. 7.13, а) назначают с учетом длины нарезаемой резьбы и запаса на переточку при заточке по задней поверхности. Общая длина рабочей части метчика  $l_p = l_1 + l_k$ . После всех переточек длина калибрующей части должна составлять не менее половины диаметра нарезаемой резьбы.

Метчики по калибрующей части могут изготавливать без затылования по профилю, с затылованием на  $2/3$  ширины пера или с затылованием по всей ширине пера на величину  $K = 0,01...0,02$  мм. Метчики диаметром до 10 мм в большинстве случаев выполняются незатылованными (рис. 7.14, з). Гаечные метчики затылуют на  $2/3$  ширины пера, что ухудшает направление метчика в процессе работы (рис. 7.14, д). В остальных случаях выполняют затылование по всей ширине зуба  $F$  (рис. 7.14, е).

Передний угол калибрующей части обычно принимают равным переднему углу режущего участка.

Для лучшего направления метчика и устранения подрезания витков резьбы резьбовые витки метчика на ведущем калибрующем участке длиной  $l_3$  (рис. 7.14, ж) иногда выполняют с бочкообразными элементами резьбы. При этом направляющий участок 2, расположенный у передней поверхности 1, смещается на середину пера 3.

С целью уменьшения трения и разбивки резьбы на калибрующей части метчика резьбу выполняют с обратной конусностью по наружному диаметру ( $0,04...0,08$  мм на 100 мм длины). При нарезании резьбы в пластичных материалах рекомендуется применять метчики с вырезанной в шахматном порядке ниткой на калибрующей части и на всей длине, включая и режущий участок (см. рис. 7.8).

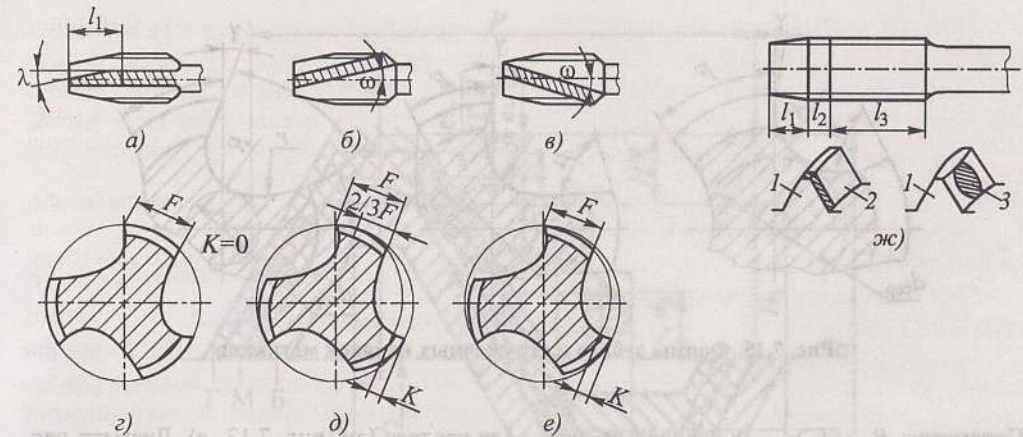


Рис. 7.14. Конструктивное оформление режущего и калибрующего участков метчика

**Форма стружечных канавок, зубьев и их направление.** Стружечные канавки служат для размещения стружки и ее транспортирования, что обуславливает их направление и форму. Угол наклона канавок  $\omega$  у основной массы выпускаемых метчиков равен нулю. Для лучшего удаления стружки метчики следует делать с винтовыми канавками: левого направления (см. рис. 7.14, б) для сквозных отверстий с целью выталкивания стружки из отверстий (при правом направлении резьбы) и правого направления для глухих отверстий с целью отвода стружки из отверстий в направлении к хвостовику (см. рис. 7.14, в). Предельное значение угла  $\omega = 10...35^\circ$ .

Число стружечных канавок влияет на толщину среза, усилие и мощность, затрачиваемые на резание, на объем пространства, необходимого для размещения стружки, на величину крутящего момента трения, на технологичность изготовления метчиков и выбор средств контроля параметров резьбы. Число канавок назначается от 2 до 6 при изменении наружного диаметра метчика в пределах  $2...52$  мм.

Профиль поперечного сечения канавки зависит от числа зубьев (числа канавок), наружного диаметра метчика, материала заготовки, условий работы (без

вывинчивания, с вывинчиванием из обрабатываемого отверстия), способа подвода СОЖ.

В общем случае форма поперечного сечения канавки должна обеспечивать: достаточное пространство для размещения стружки; высокую прочность зуба и метчика в целом; оптимальные геометрические параметры; отсутствие среза стружки при вывинчивании.

Основными параметрами профиля канавки являются: передний угол  $\gamma$ , диаметр сердцевины  $d_{сер}$ , радиус у основания зуба  $R$ , радиус по спинке зуба  $r$ , ширина пера  $F$  и угол нерабочей кромки  $\mu$  (рис. 7.15).

При нарезании резьбы метчиком суммарный крутящий момент равен:

$$M_{рез} = M_p + M_c + M_T,$$

где  $M_p$  — крутящий момент, расходуемый на «чистое» резание;  $M_c$  — крутящий момент трения стружки о канавку метчика;  $M_T$  — крутящий момент трения боковых сторон профиля метчика о резьбу.

Параметры профиля канавки влияют на суммарный крутящий момент: передний угол  $\gamma$  — непосредственно на величину  $M_p$ ; радиус у основания зуба  $r$  — на величину  $M_c$ ; ширина пера — на величину  $M_T$ .

Передний угол  $\gamma$  выбирают в зависимости от обрабатываемого материала.

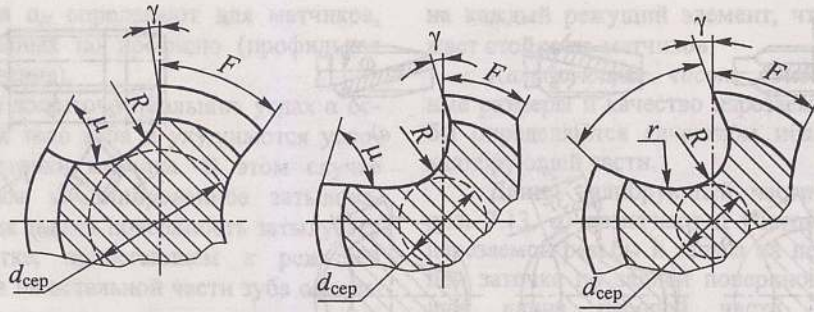


Рис. 7.15. Формы зубьев и стружечных канавок метчиков

Параметры  $R$ ,  $r$ ,  $F$ ,  $d_{сер}$ ,  $\mu$  зависят от размеров метчика и числа канавок. Формы канавок метчиков приведены на рис. 7.15.

Для стандартных метчиков сечение стружечной канавки на всем протяжении рабочей части метчика остается постоянным или несколько уменьшается к хвостовику. На глубину и объем стружечных канавок влияют диаметр сердцевин  $d_{сер}$  и ширина пера  $F$ . С уменьшением параметров  $d_{сер}$  и  $F$  увеличиваются глубина и объем стружечной канавки, а силы трения ( $M_T$ ) уменьшаются. Также уменьшаются прочность зуба и метчика в целом, и, наоборот, с увеличением  $d_{сер}$  и  $F$  увеличивается прочность метчика, но уменьшается объем стружечной канавки и увеличиваются силы трения, что может привести к поломке метчика.

В зависимости от числа зубьев:

$$d_{сер} = (0,35 \dots 0,4)d, F = 0,3d \text{ при } z = 3;$$

$$d_{сер} = (0,4 \dots 0,5)d, F = 0,2d \text{ при } z = 4;$$

$$d_{сер} = (0,5 \dots 0,55)d, F = 0,1d \text{ при } z = 6.$$

Профили канавок должны иметь плавные переходы между прямолинейными и криволинейными участками, а радиусы кривизны  $R$  и  $r$  выбирают наибольшими с целью уменьшения концентрации напряжений в канавках.

Угол нерабочей кромки  $\mu = 80 \dots 85^\circ$ , что позволяет при вывинчивании метчиков из отверстия срезать корни стружек и исключать возможность их заклинивания.

**Хвостовик метчика.** Для передачи крутящего момента на хвостовике имеет-

ся квадрат (см. рис. 7.13, а). Диаметр хвостовика  $d_x = d(0,25 \dots 1,5)$  мм для диапазона диаметров  $d = 7 \dots 52$  мм. При таком соотношении метчик свободно проходит через обработанное отверстие. Для уменьшения поломок метчиков малых диаметров необходимо, чтобы  $d_x > d$ .

**Размеры и допуски на профиль резьбы метчика.** Назначение размеров и допусков на профиль резьбы метчика зависит от профиля, размеров и точности нарезаемого отверстия. На схеме (рис. 7.16) даны совмещенные поля допусков на гайку (Г), болт (Б) и метчик (М). Резьбовое сопряжение выполнено по посадке скольжения. Номинальные значения диаметров метчика и гайки наружных ( $d, D$ ), средних ( $d_2, D_2$ ) и внутренних ( $d_1, D_1$ ) — одинаковые. Размеры профиля резьбы определяются высотой теоретического профиля резьбы  $H$ , шагом резьбы  $P$  и половиной угла профиля  $\varepsilon/2$  (для метрических резьб  $\varepsilon = 60^\circ$ ). В соответствии со стандартом размеры метрических резьб определяют по соотношениям:  $H = 0,8680254P$ ,  $H = 0,5412659P$ ,  $H = 0,1443276P$ .

Допуски на элементы резьбы метчиков —  $d, d_2, d_1, P, \varepsilon/2$  назначают согласно следующим стандартам: для машинно-ручных метчиков — по ГОСТ 3266–81; для гаечных метчиков — по ГОСТ 1604–71; для машинных с укороченными канавками — по ГОСТ 17931–72; для машинных метчиков с винтовыми канавками — по ГОСТ 17933–72.

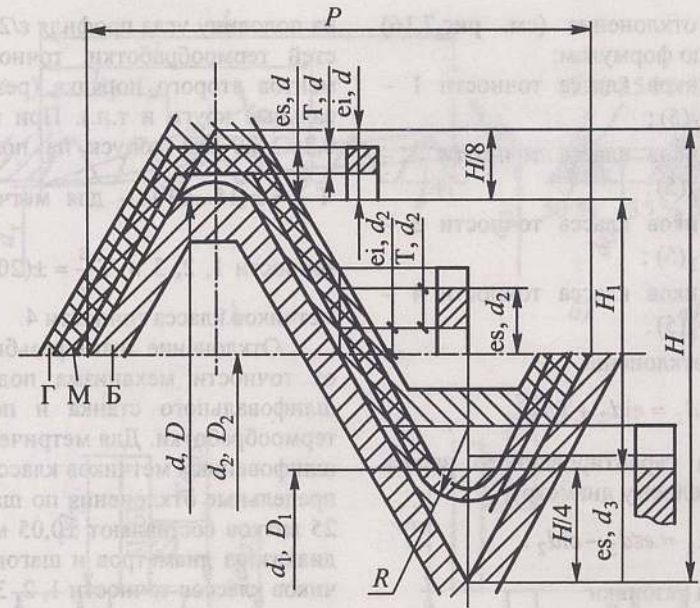


Рис. 7.16. Совмещенная схема допусков на гайку (Г), болт (Б) и метчик (М)

Допуски на резьбу метчика зависят от точности резьбы гайки:

Степень точности наре-	4Н	5Н6Н	6Н	6Н	6G	6G
заемой резьбы	5Н					
Класс точности метчика	1	2	3	4	1	2

Обозначение допуска резьбы и гайки образуется сочетанием степени точности и основного отклонения по среднему и внутреннему диаметрам, при этом степень точности среднего диаметра резьбы ставится на первом месте, например 5Н6Н.

Указанные поля допусков нарезаемых резьб обеспечивают с помощью метчиков, эксплуатируемых на станках, удовлетворяющих предъявляемым к ним нормам точности, с применением патронов, обеспечивающих самоустановку мет-

чиков в радиальном направлении и компенсирующих несоосность отверстий и метчиков.

Точность нарезаемых резьб зависит также от обрабатываемого материала, скорости резания, СОЖ и других факторов, что допускает выбор других классов точности метчиков для обеспечения требуемой степени точности нарезаемой резьбы.

Средний диаметр резьбы метчика  $d_2$  является основной величиной, характеризующей степень точности метчика, допуск, на который  $Td_2$  назначают с учетом погрешностей  $d_2, P, \varepsilon/2$  гарантированного запаса на износ и величины разбивки,

$$Td_2 = 0,2TD_2(5),$$

где  $TD_2$  — допуск на средний диаметр резьбы степени точности 5 по ГОСТ 16093–2004.

Нижнее отклонение (см. рис. 7.16) определяется по формулам:

для метчиков класса точности 1 –  $eid_2 = +0,1TD_2(5)$ ;

для метчиков класса точности 2 –  $eid_2 = +0,3TD_2(5)$ ;

для метчиков класса точности 3 –  $eid_2 = +0,5TD_2(5)$ ;

для метчиков класса точности 4 –  $eid_2 = +0,3TD_2(5)$ .

Верхнее отклонение

$$esd_2 = eid_2 + TD_2.$$

Величина гарантированного запаса на износ по среднему диаметру

$$\Delta_2 = esd_2 - eid_2.$$

Величина разбивки

$$\delta_2 = D_{2\max} - esd_2.$$

Предельные отклонения по наружному диаметру метчика определяются размерами профиля резьбы и более интенсивным износом по вершинам профиля в процессе резания.

Нижнее отклонение

$$eid = 0,4TD_2(5).$$

Верхнее отклонение  $esd$  не проставляют при  $d_2 \leq 6$  мм, ввиду большого заострения. В остальных случаях для уменьшения заострения вершины профиля  $esd$  назначают на метчики для метрических резьб по ГОСТ 16925–93.

Внутренним диаметром метчик не должен срезать стружку, и поэтому верхнее отклонение  $esd_1 \leq 0$ . Дно впадины профиля резьбы может быть произвольной формы, но не должно заходить за линию номинального профиля резьбы. Нижнее отклонение внутреннего диаметра резьбы метчика  $esd_1$  не устанавливают. Внутренний диаметр метчика  $d_{1\max}$ .

Отклонение на угол профиля резьбы  $\varepsilon$  назначают с учетом обеспечения симметричности профиля (допуск назначают

на половину угла профиля  $\varepsilon/2$ ), погрешностей термообработки, точности инструментов второго порядка (резцы, шлифовальные круги и т.п.). При шаге резьбы 0,25...5,0 мм допуск на половину угла  $T\frac{\varepsilon}{2} = \pm(15...40')$  – для метчиков класса точности 1, 2, 3 и  $T\frac{\varepsilon}{2} = \pm(20...80')$  – для метчиков класса точности 4.

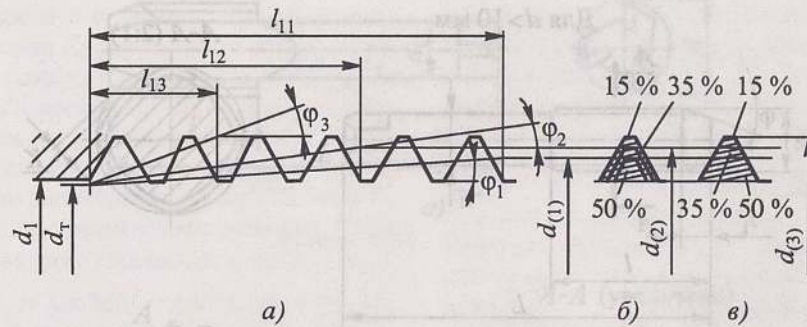
Отклонение шага резьбы  $P$  зависит от точности механизма подачи резьбошлифовального станка и погрешностей термообработки. Для метрических резьб у шлифованных метчиков класса точности 4 предельные отклонения по шагу на длине 25 витков составляют +0,05 мм для всего диапазона диаметров и шагов, а для метчиков классов точности 1, 2, 3 отклонения по шагу – 0,006...0,012 мм.

**Комплекты метчиков.** Количество метчиков в комплекте зависит от размеров профиля нарезаемой резьбы и свойств обрабатываемого материала.

Схему вырезания профиля комплектами метчиками назначают с занижением только наружного диаметра (рис. 7.17, в) для неточных резьб и с занижением по наружному и среднему диаметрам для точных резьб (рис. 7.17, б). Во втором случае последний метчик в комплекте обеспечивает обработку по всему профилю, что позволяет повысить точность нарезаемой резьбы.

Нагрузку на метчики в комплекте по вырезаемой площади профиля резьбы назначают без учета принятой схемы резания: 50% – первый метчик; 35% – второй метчик; 15% – третий.

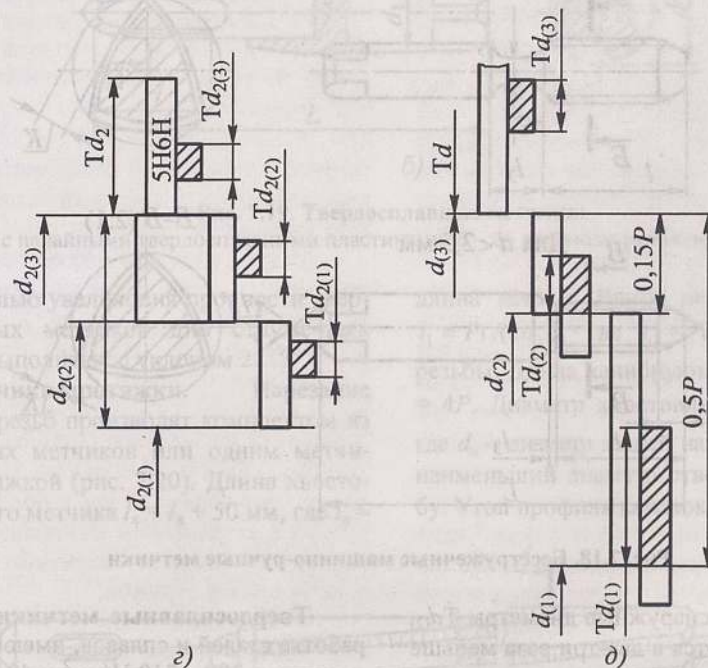
Размеры режущей части каждого метчика, длина  $l_1$  и угол конуса  $\varphi$  определяются количеством шагов для каждого метчика. На схеме (рис. 7.17, а) длина первого метчика  $l_{1(1)} = 6P$ , второго –  $l_{1(2)} = 4P$ , третьего –  $l_{1(3)} = 4P$ . Диаметр по торцу  $d_r$  и внутренний диаметр  $d_1$  одинаковы для всех метчиков в комплекте. Наружный диаметр первого  $d_{(1)}$  и второго  $d_{(2)}$  метчиков соответственно равны:



а)

б)

в)



з)

д)

Рис. 7.17. Комплекты метчиков: а – конструктивное оформление режущего участка комплектных метчиков; б, в – схемы нарезания профиля резьбы; з, д – схемы допусков на комплектные метчики

$$d_{(1)} = d_{(3)} - 0,5P;$$

$$d_{(2)} = d_{(3)} - 0,15P,$$

где  $d_{(3)}$  – наружный диаметр третьего метчика.

Средние диаметры первого и второго метчиков занижают по отношению к среднему диаметру третьего метчика:

$$d_{2(1)} = d_{2(3)} - 0,15P;$$

$$d_{2(2)} = d_{2(3)} - 0,07P.$$

Допуски по среднему диаметру на первый и второй метчики ( $Td_{2(1)}$ ,  $Td_{2(2)}$ ) назначают с учетом занижения среднего диаметра первого и второго метчиков по отношению к третьему (рис. 7.17, з). Если занижение близко по своему значению к допуску на средний диаметр гайки, то допуски  $Td_{2(2)}$  и  $Td_{2(1)}$  принимают равными допуску  $Td_{2(3)}$ . Если занижение больше допуску на гайку, то допуски  $Td_{2(2)}$ ,  $Td_{2(1)}$  увеличивают во столько же раз.



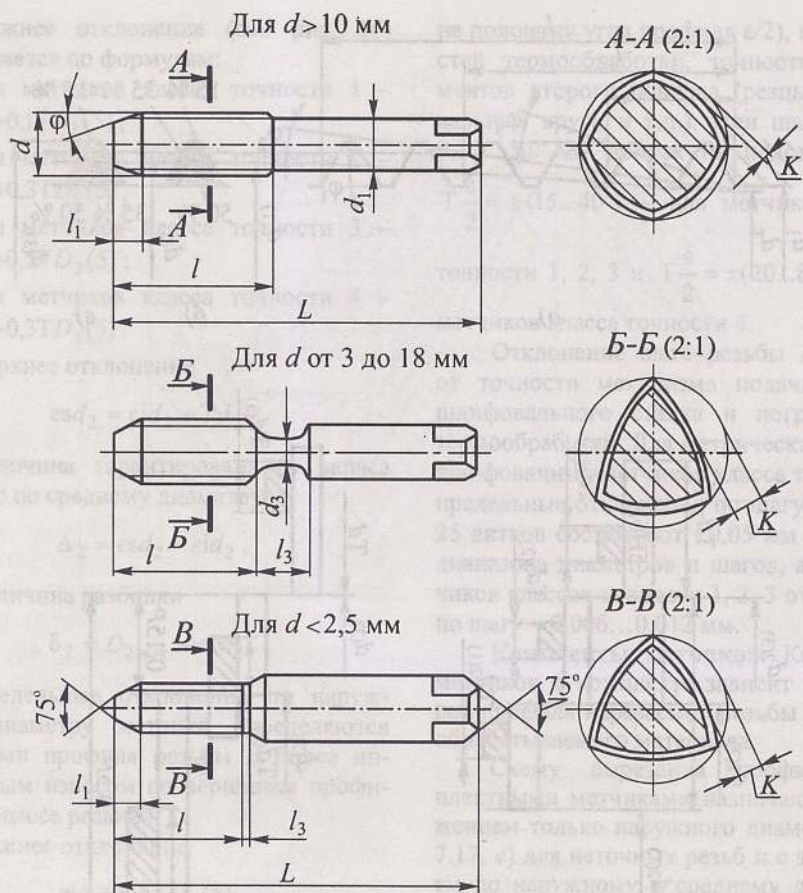


Рис. 7.18. Бесстружечные машинно-ручные метчики

Допуски на наружные диаметры  $Td_{(2)}$  и  $Td_{(1)}$  назначаются в два-три раза меньше по отношению к занижению по наружному диаметру, причем нижнее отклонение равно или меньше номинала (рис. 7.17, д).

**Бесстружечные метчики.** При обработке вязких материалов применяют бесстружечные метчики. Вместо стружечных канавок рабочая часть такого метчика в сечении имеет форму многогранника (рис. 7.18). На заборном конусе резьбу шлифуют на конус и не затылуют. При формировании резьбы происходит выдавливание по всему профилю. Метчики в процессе эксплуатации не перетачиваются.

**Твердосплавные метчики.** При обработке сталей и сплавов, имеющих прочность  $\sigma_b = 180 \dots 210 \text{ Н/мм}^2$  и  $48 \dots 53 \text{ HRC}$ , и некоторых неметаллических материалов применяют твердосплавные метчики. Для резьб диаметром  $6 \dots 12 \text{ мм}$  метчики изготавливаются цельными и составными с припаянными твердосплавными пластинами (рис. 7.19, а). Для резьб диаметром  $2 \dots 4 \text{ мм}$  метчики выполняют со вставной режущей частью (рис. 7.19, б) из твердого сплава марок ВК6-М и ВК10-М, который обеспечивает наибольшую стойкость.

Метчики затылуют по профилю на всей длине рабочей части и обеспечивают обратную конусность  $0,02 \text{ мм}$  на  $10 \text{ мм}$  длины.

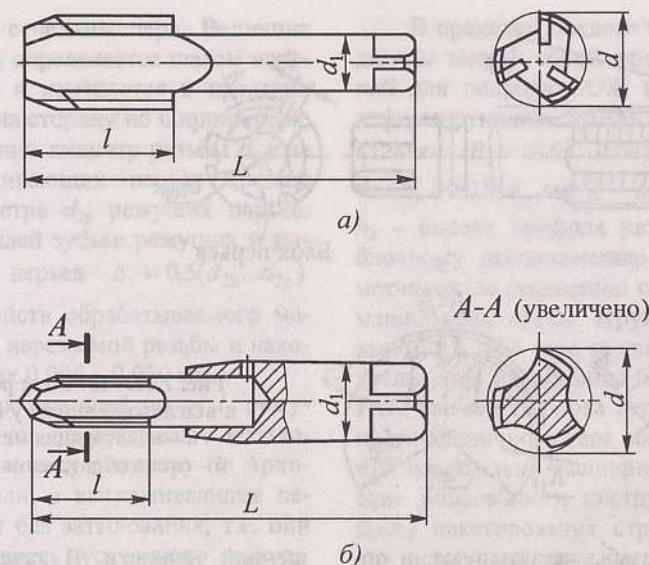


Рис. 7.19. Твердосплавные метчики:

а – с напаянными твердосплавными пластинами; б – со вставным режущим участком

С целью увеличения прочности твердосплавных метчиков дно стружечных канавок выполняют с уклоном  $2 \dots 3^\circ$ .

**Метчики-протяжки.** Нарезание крупных резьб производят комплектом из нескольких метчиков или одним метчиком-протяжкой (рис. 7.20). Длина хвостовика такого метчика  $l_x = l_n + 50 \text{ мм}$ , где  $l_n$  –

длина детали. Длина режущего участка  $l_1 = Pt / (z d_z)$ , где  $t$  – высота профиля резьбы. Длина калибрующего участка  $l_k = 4P$ . Диаметр хвостовика  $d_x = d_n = d_o$ , где  $d_n$  – диаметр задней направляющей;  $d_n$  – наименьший диаметр отверстия под резьбу. Угол профиля канавок  $\psi = 80 \dots 90^\circ$ .

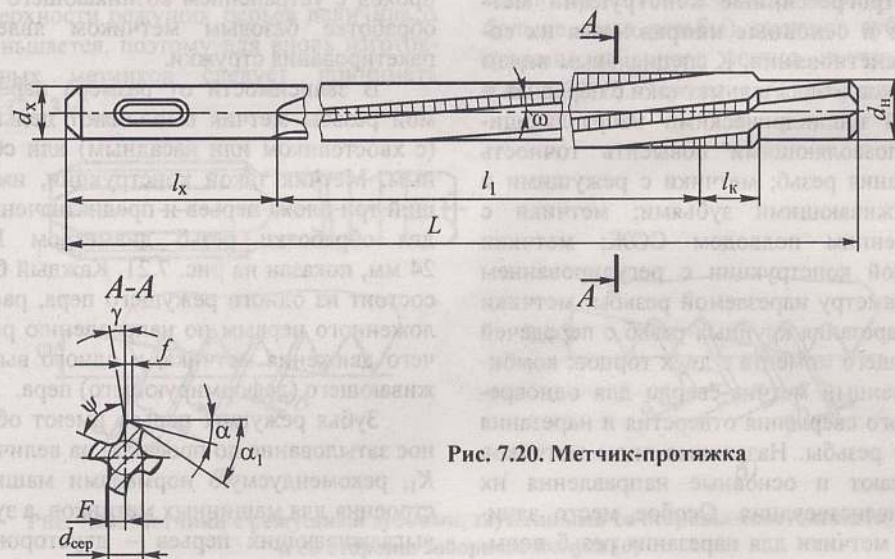


Рис. 7.20. Метчик-протяжка

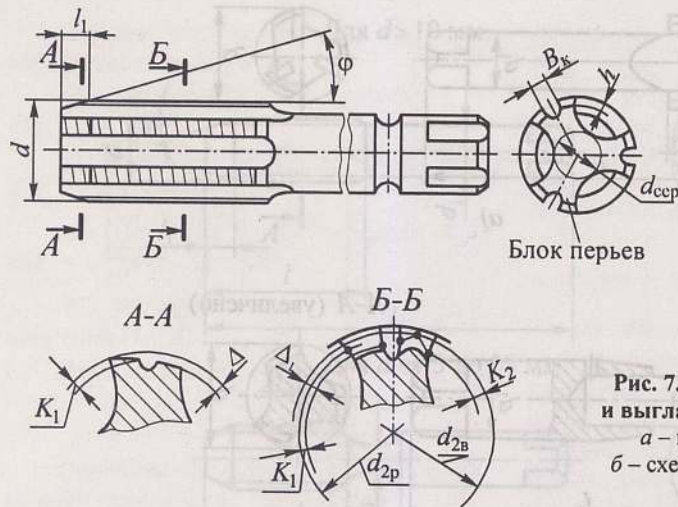


Рис. 7.21. Метчик с режущим и выглаживающим участками:  
а – конструкция метчика;  
б – схема образования профиля

Профиль резьбы не затылуют, и поэтому по наружному диаметру оставляют ленточку шириной  $f = 0,5...0,8$  мм. Заднюю поверхность затачивают под углом  $\alpha = 12...15^\circ$  на ширину  $f_1 = 3...5$  мм и под дополнительным углом  $\alpha_1 = 30...60^\circ$ . Угол наклона канавок  $\omega = 2\tau$ , где  $\tau$  – угол подъема резьбы. Диаметр сердцевины метчика  $d_{сер} = 0,5d$ , а ширина пера  $F = (0,25...0,35)d$ , где  $d$  – наружный диаметр метчика. Нарезание резьбы производится без реверсирования.

**Прогрессивные конструкции метчиков и основные направления их совершенствования.** К специальным видам метчиков относятся: метчики с передней и задней цилиндрическими направляющими, позволяющими повысить точность нарезания резьбы; метчики с режущими и выглаживающими зубьями; метчики с внутренним подводом СОЖ; метчики сборной конструкции с регулированием по диаметру нарезаемой резьбы; метчики для нарезания крупных резьб с передачей крутящего момента с двух торцов; комбинированный метчик-сверло для одновременного сверления отверстия и нарезания в нем резьбы. Названные виды метчиков отражают и основные направления их совершенствования. Особое место занимают метчики для нарезания резьб повы-

шенной точности. В качестве примеров рассмотрим несколько оригинальных конструктивных решений.

Метчик (А.с. 288519) с блочным расположением режущих и выглаживающих (деформирующих) перьев, устойчиво обеспечивающий получение резьб выше 5-й степени точности (по ГОСТ 16093–2004) применяется для обработки резьб в отверстиях нормальной (группы  $N$  по указанному ГОСТу) и большой (группы  $L$ ) длины, диаметром 12 мм и более за один проход с устранением возникающего при обработке базовым метчиком явления пакетирования стружки.

В зависимости от размера нарезаемой резьбы метчик выполняют цельным (с хвостовиком или насадным) или сборным. Метчик такой конструкции, имеющий три блока перьев и предназначенный для обработки резьб диаметром 12...24 мм, показан на рис. 7.21. Каждый блок состоит из одного режущего пера, расположенного первым по направлению рабочего движения метчика, и одного выглаживающего (деформирующего) пера.

Зубья режущих перьев имеют обычное затылование по профилю на величину  $K_1$ , рекомендуемую нормами машиностроения для машинных метчиков, а зубья выглаживающих перьев – двустороннее

затылование с середины пера. Величина затылования  $K_2$  определяется шагом нарезаемой резьбы и изменяется в пределах  $0,03...0,08$  мм на сторону по ширине пера. При этом средний диаметр резьбы  $d_{2в}$ , на длине выглаживающих перьев больше среднего диаметра  $d_{2р}$  режущих перьев. Перепад профилей зубьев режущих и выглаживающих перьев  $\Delta_1 = 0,5(d_{2в}...d_{2р})$  зависит от свойств обрабатываемого материала и шага нарезаемой резьбы и находится в пределах  $0,005...0,020$  мм.

В пределах режущей части  $l_1$  режущие перья блоков обрабатывают затылованием по наружному диаметру по Архимедовой спирали, а выглаживающие перья выполняют без затылования, т.е. они имеют поверхность усеченного конуса. При этом наружный диаметр режущих зубьев больше диаметра выглаживающих зубьев на величину перепада

$$\Delta_{\min} = \frac{P}{2z_{6,n}} \operatorname{tg} \varphi + T_{\alpha},$$

где  $P$  – шаг резьбы метчика;  $z_{6,n}$  – число блоков перьев;  $\varphi$  – угол заборного конуса метчика;  $T_{\alpha}$  – допуск на биение ее задней поверхности.

При переточках метчика по передней поверхности режущих перьев величина  $\Delta$  уменьшается, поэтому для вновь изготовленных метчиков следует принимать  $\Delta = (2...3)\Delta_{\min}$ .

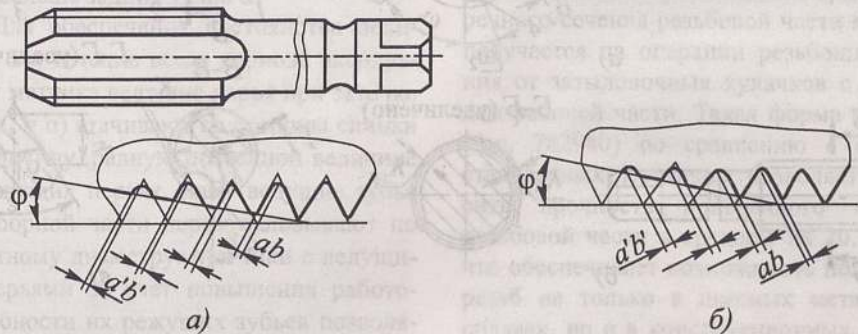


Рис. 7.22. Метчики с режущими зубьями, зауженными со стороны хвостовика (а) и со стороны заборного конуса (б)

В пределах каждого блока перья разделены между собой продольной канавкой для подвода СОЖ в рабочую зону деформирующих зубьев. Ширина этой канавки  $B_k = (0,03...0,04)\pi d$ , а глубина  $h = h_3 + 0,03\pi d$ , где  $d$  – диаметр метчика;  $h_3$  – высота профиля резьбы. Благодаря блочному расположению перьев у этих метчиков по сравнению со стандартными машинными объем стружечных канавок вырос в 2...2,6 раза за счет расширения и увеличения их глубины на 20...25%. При этом прочность блока перьев выше прочности единичного пера обычного метчика, что значительно расширило технологические возможности инструмента. Вероятность пакетирования стружки практически исключена даже при обработке глухих отверстий на станках с горизонтальным расположением шпинделя.

Для повышения точности резбонарезания разработаны метчики специальной конструкции с зауженными режущими зубьями. Суть конструктивного решения заключается в том, что при подрезании верхних сторон резьбовых впадин отверстия (подача меньше шага резьбы) заужают режущие зубья со стороны хвостовика метчика (рис. 7.22, а). При подрезании нижних сторон резьбы (подача больше шага резьбы) заужают зубья со стороны заборного конуса инструмента (рис. 7.22, б). Заужение  $a'b'$  возрастает от

калибрующей части к первому режущему зубу метчика. Величина изменения заужения от зуба к зубу может быть постоянной или переменной. Зауженными выполняются либо все режущие зубья метчика, либо часть из них на отрезке заборного конуса, считая от первого режущего зуба. В некоторых случаях часть режущих зубьев может быть выполнена с одинаковой величиной заужения, если такие зубья располагаются между зубьями с изменяющейся величиной заужения.

При работе такими метчиками за счет дополнительного резания боковыми кромками зауженной стороной зубьев создается осевая сила, которая противодействует осевым подрезаниям резьб. Для расчета заужений необходимо знать значение удельных сил резания, действующих на боковых кромках зубьев. Наибольшее влияние на изменения удельных осевых сил при отсутствии внешних факторов воздействия оказывает изменение угла заборного конуса метчика. При уменьшении этого угла от  $\varphi = 20^\circ$  до  $\varphi = 6^\circ$  у метчиков  $M14 \times 1,5$  с тремя перьями удельные силы при обработке стали 45 (196 НВ) уменьшаются.

При работе метчиком  $M14 \times 1,5$  ( $\varphi = 20^\circ$ ) с числом режущих зубьев  $z = 5$  для исключения осевых подрезаний от сил резания в момент захода в отверстие первых калибрующих зубьев необходимо первый режущий зуб метчика заузить со стороны хвостовика на 0,15 мм. При этом каждый последующий зуб должен быть меньше предыдущего на 0,03 мм. При наличии внешних осевых сил в зависимости от их направления заужение режущих зубьев метчика корректируется в ту или иную сторону.

При работе предлагаемыми метчиками степень точности резьбы повышается, значительно уменьшается шероховатость поверхности с подрезаемой стороны. Заужения режущих зубьев выполняют на резьбошлифовальных станках посредством дополнительного прохода с помощью копирной линейки.

С целью повышения стойкости метчиков (рис. 7.23, а) для нарезания точных резьб в глухих отверстиях большого диаметра предлагается ведущие зубья на заборной части инструмента выполнять по наружному диаметру с левым затылованием (А.с. 522009).

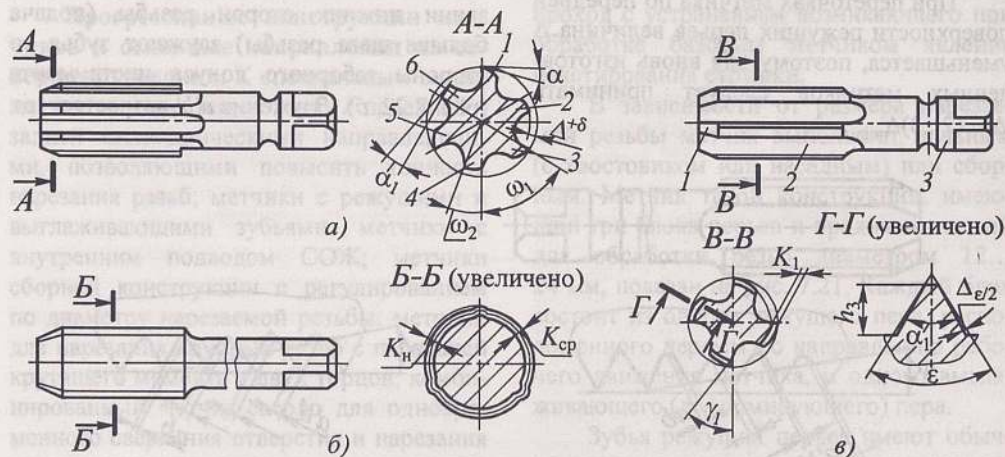


Рис. 7.23. Метчики прогрессивной конструкции:

а – для точных резьб; б – выдавливающий; в – для конической резьбы

Ведущие зубья (перья 2, 4, б) выполняют с левым затылованием по наружному диаметру; они занижены по кромкам у спинки пера на величину  $\Delta^{+\delta}$ , где  $\delta$  – допуск;  $\Delta = 0,5a_z \left(1 + \frac{\omega_2}{\omega_1}\right)$ , где  $a_z$  – толщина среза, приходящаяся на режущие зубья (перья 1, 3, 5);  $\omega_1$  – окружной шаг между перьями;  $\omega_2$  – окружной шаг, соответствующий ширине пера. Приближенно можно считать, что  $\Delta \approx 0,6a_z$ .

Ведущие зубья не принимают участия в нарезании резьбы, обеспечивая своими бочкообразными сторонами перемещение метчика по отверстию с минимальными отклонениями. При вывинчивании метчика из глухого отверстия ведущие зубья срезают кромками на спинках остающиеся корни стружек на диаметре резьбового отверстия, соответствующего наружному диаметру режущих зубьев метчика. Этим обеспечивается беспрепятственное прохождение режущими зубьями участка с неотделенными корнями стружек, что исключает сколы главных кромок режущих зубьев. Последнее обстоятельство позволяет увеличивать задние углы  $\alpha$  у метчика до значений, применяемых при обработке сквозных резьб, что облегчает процесс резания и увеличивает износостойкость режущих зубьев инструмента. Задние углы  $\alpha_1$  на перьях с ведущими зубьями не должны быть больше задних углов  $\alpha$ .

Для обеспечения постоянства величины  $\Delta$  в течение всего периода эксплуатации метчика ведущие перья при заточке (при  $\alpha_1 = \alpha$ ) стачивают со стороны спинки на величину, равную сточенной величине на режущих перьях, либо ведущие зубья на заборной части перезатыловывают по наружному диаметру. Метчики с ведущими перьями за счет повышения работоспособности их режущих зубьев позволяют увеличить стойкость в 1,5...2 раза при обработке резьб в глухих отверстиях.

Обработка внутренних резьб бесстружечными метчиками обеспечивает стабильность размеров, снижение шероховатости профиля, повышение стойкости инструмента и производительности на операциях резьбообразования по сравнению с получением резьб режущими метчиками.

При формировании резьб стандартными бесстружечными метчиками происходит более интенсивный износ по наружному диаметру метчика, чем по среднему. Метчик, который представлен на рис. 7.23, б, позволяет получить практически одновременный окончательный износ по наружному и среднему диаметрам резьбы. Это достигается благодаря тому, что в поперечном сечении резьбовой части метчика величина затылования  $K_n$  деформирующих граней по наружному диаметру меньше величины затылования  $K_{cp}$  этих граней по среднему диаметру  $K_n = (0,2...0,8) K_{cp}$ . Это позволяет при затыловании метчиков по наружному диаметру получать больший радиус вершин деформирующих граней, что увеличивает длину контакта граней с металлом и уменьшает интенсивность износа по наружному диаметру.

Незначительное увеличение крутящего момента при получении резьбы за счет увеличения радиуса вершин деформирующих граней по наружному диаметру практически не оказывает влияния на процесс резьбообразования. Форма поперечного сечения резьбовой части метчика получается на операции резьбошлифования от затыловочных кулачков с профилем рабочей части. Такая форма метчика (А.с. 782940) по сравнению с формой стандартных метчиков позволяет повысить прочность поперечного сечения резьбовой части в среднем на 20...30 %, что обеспечивает возможность получения резьб не только в цветных металлах и сплавах, но и в конструкционных, коррозионно-стойких и жаропрочных сталях, а также в ковких чугунах.

При обработке конических резьб в хрупких материалах типа серых чугунов применяемые метчики обычно имеют невысокую стойкость, что выражается в выкрашивании и сколах полнопрофильных режущих зубьев, а также в полном сколе ряда зубьев метчика. В то же время зубья заборного конуса метчика, как правило, остаются целыми.

Для повышения стойкости конических метчиков (рис. 7.23, в) при нарезании резьб в серых чугунах предлагается выполнять скосы со стороны передней поверхности на всех полнопрофильных зубьях инструмента, формируя таким образом отрицательный передний угол. При этом для обеспечения угла профиля нарезаемой резьбы в заданных пределах угол профиля всех зубьев метчика уменьшается пропорционально величине угла скоса и падению затылка зубьев по профилю резьбы.

Метчик (см. рис. 7.23, в) имеет режущую заборную часть 1, режущую часть 2 с зубьями полного профиля резьбы и хвостовик 3. Режущие зубья полного профиля резьбы на высоте  $h_3$  на всех перьях выполнены со стороны передней поверхности со скосами, образующими отрицательный угол, который в зависимости от конкретных условий резьбонарезания находится в пределах  $40...60^\circ$ . На режущих зубьях заборного конуса передний угол у остается положительным. Все зубья метчика, в том числе и на заборном конусе, выполняются с уменьшенным (по сравнению с нормальным углом  $\epsilon$ ) углом профиля  $\epsilon_1$ . Уменьшение угла профиля на  $\Delta\epsilon_2$  предотвращает увеличение угла профиля резьбы отверстия за допустимые пределы и может быть рассчитано по формуле:

$$\Delta\alpha = \arctg \frac{0,88zK_1 \operatorname{tg} \gamma_1}{nd}$$

где  $d$  – наружный диаметр метчика;  $K_1$  – величина падения затылка зубьев по профилю резьбы метчика;  $z$  – число зубьев метчика.

Скосы на зубьях полного профиля метчиков могут быть образованы на универсально-заточных станках, например, периферией шлифовального круга при установке оси круга параллельно оси метчика или под углом к ней. Возможный срез последних зубьев заборной части инструмента не сказывается отрицательно на работоспособности метчиков.

При работе метчика зубья его заборного конуса нарезают резьбу с уменьшенным углом профиля и являются направляющими. Следующие за ними зубья с полным профилем резьбы за счет наличия скосов формируют резьбу без искажения по углу профиля. Сыпучая стружка свободно выходит из зоны резания в стружечные канавки и вымывается СОЖ. Отсутствие консоли на зубьях со скосами и увеличение сечений, по которым могло бы произойти скалывание, увеличивают в несколько раз срок службы метчика до начала выкрашиваний и сколов полнопрофильных зубьев.

#### 7.4. Плашки

Плашки предназначаются для нарезания наружных резьб. По типу нарезаемой резьбы плашки делят: на плашки круглые (ГОСТ 9740–71) для метрической резьбы; круглые для круглой резьбы; круглые (ГОСТ 6228–80) для конической резьбы и др.

К основным конструктивным элементам круглых плашек относятся: режущая часть, калибрующая часть, число, диаметр и расположение стружечных отверстий, ширина и форма пера, наружный диаметр  $D$ , ширина плашки  $H$ , элементы крепления.

**Режущая часть.** Плашка с каждого торца имеет две режущие части длиной  $l_1 = l_2$ , что обеспечивает увеличение срока ее службы (рис. 7.24, а). Режущая часть выполняет основную работу по удалению металла из впадины резьбы. Угол конуса  $\phi$  и длина режущей части зависят от мате-

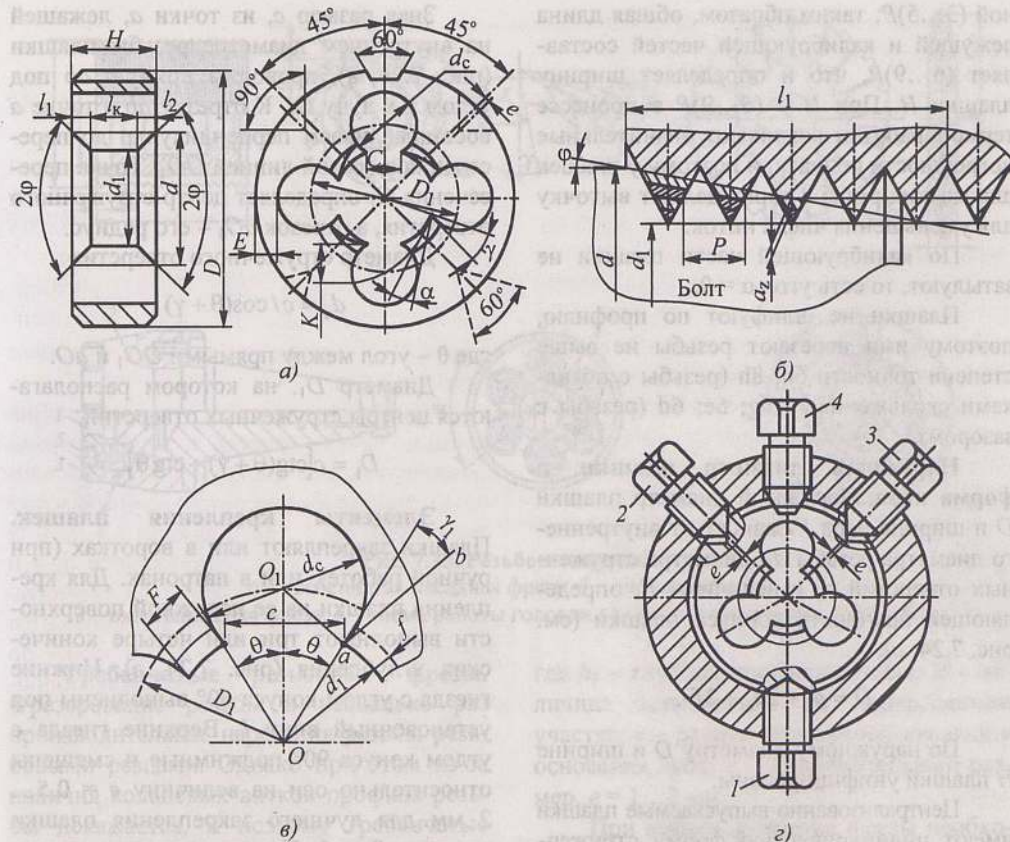


Рис. 7.24. Конструкция резьбонарезной плашки:  
а – общий вид; б – режущая часть;  
в – стружечное отверстие; г – схема крепления плашки

риала заготовки. При обработке высокопрочных сталей  $2\phi = 30^\circ$ , легких сплавов и цветных металлов  $2\phi = 50$  и  $70^\circ$  соответственно. В общем случае угол  $2\phi$  назначают в пределах  $25...90^\circ$ .

Длина режущей части определяется по формуле (рис. 7.24, б):

$$l_1 = (d - d_1 + 2e) / (2 \operatorname{tg} \phi),$$

где  $d$  – наружный диаметр резьбы;  $d_1$  – внутренний диаметр резьбы;  $e$  – величина, гарантирующая плавный вход заготовки в отверстие плашки,  $e = 0,2...0,4$  мм.

Толщину среза  $a_2$  для плашек определяют так же, как и для метчиков. Но у метчиков эта величина ( $a_2 = 0,04...0,38$  мм)

значительно больше из-за малой длины режущей части плашек  $l_1 = (3...4)P$ .

Режущую часть плашек затачивают по передней и задней поверхностям. Угол  $\gamma$  задают на внутреннем диаметре резьбы и назначают в зависимости от материала детали в пределах  $\gamma = 10...30^\circ$ .

Задний угол на режущей части задают также по внутреннему диаметру, и он равен  $\alpha = 6...9^\circ$ . Угол  $\alpha$  определяется величиной затылования

$$K = \frac{\pi d_1}{z} \operatorname{tg} \alpha.$$

**Калибрующая часть.** Длину калибрующей части плашки  $l_k$  принимают рав-

ной (3...5) $P$ ; таким образом, общая длина режущей и калибрующей частей составляет (6...9) $P$ , что и определяет ширину плашки  $H$ . При  $H > (6...9)P$  в процессе термообработки возникают значительные погрешности по шагу, и поэтому у плашек для мелких резьб с торца делают выточку для уменьшения числа ниток.

По калибрующей части плашки не затылуют, то есть угол  $\alpha = 0$ .

Плашки не шлифуют по профилю, поэтому ими нарезают резьбы не выше степени точности 6h; 8h (резьбы с посадками скольжения) и 6g; 6e; 6d (резьбы с зазором).

**Наружный диаметр плашки и форма пера.** Наружный диаметр плашки  $D$  и ширина пера  $F$  зависят от внутреннего диаметра резьбы  $d_1$ , диаметра стружечных отверстий  $d_c$  и величины  $E$ , определяющей прочность корпуса плашки (см. рис. 7.24, а),

$$D = d_1 + 2d_c + 2E.$$

По наружному диаметру  $D$  и ширине  $H$  плашки унифицированы.

Централизованно выпускаемые плашки имеют цилиндрическую форму стружечных отверстий, образуемых сверлением. На рис. 7.24, в дана схема определения диаметра стружечных отверстий. Определяющими размерами являются ширина пера  $F$  и расстояние между перьями  $c$ . Соотношение  $F/c$  должно удовлетворять условиям прочности и жесткости пера, обеспечивать надежное центрирование и направление плашки в работе, а также несколько переточек и достаточное пространство для размещения стружки. Оптимальное соотношение  $F/c = 0,65...0,8$ .

Если известно число перьев  $z$  и соотношение  $F/c$ , то величину  $c$  определяют по формуле:

$$c \approx \pi d_1 (1,65...1,8)z.$$

Число перьев  $z$  назначают в зависимости от диаметра резьбы. Так, например, для резьбы  $d = 1...80$  мм  $z = 3-12$ .

Зная размер  $c$ , из точки  $a$ , лежащей на внутреннем диаметре резьбы плашки (рис. 7.24, в), проводим прямую  $ab$  под углом  $\gamma$  к лучу  $O_1f$ . К отрезку  $ab$  в точке  $a$  восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с осевой линией  $OO_1$ . Точка пересечения  $O_1$  определяет центр стружечного отверстия, а отрезок  $aO_1$  — его радиус.

Диаметр стружечного отверстия

$$d_c = c / \cos(\theta + \gamma),$$

где  $\theta$  — угол между прямыми  $OO_1$  и  $aO_1$ .

Диаметр  $D_1$ , на котором располагаются центры стружечных отверстий,

$$D_1 = c [\text{ctg}(\theta + \gamma) + \text{ctg} \theta].$$

**Элементы крепления плашек.** Плашки закрепляют или в воротках (при ручной работе), или в патронах. Для крепления плашки на ее наружной поверхности выполняют три или четыре конических углубления (рис. 7.24, з). Нижние гнезда с углом конуса  $60^\circ$  выполнены под установочный винт  $1$ . Верхние гнезда с углом конуса  $90^\circ$  поджимные и смещены относительно оси на величину  $e = 0,5...2$  мм для лучшего закрепления плашки винтами  $2$  и  $3$ . У новых плашек сверху имеется паз, образующий перемычку, которую разрезают после двух-трех переточек. Поджимные гнезда после удаления перемычки позволяют с помощью винтов  $2, 3, 4$  регулировать диаметр нарезаемой резьбы.

### 7.5. Резьбовые фрезы

Резьбовые фрезы по конструкции подразделяют на типы: гребенчатые цилиндрические фрезы для нарезания резьбы неглубокого профиля с шагом  $0,5...6$  мм (рис. 7.25, а); дисковые фрезы для нарезания резьбы крупного профиля (рис. 7.25, б); гребенчатые сборные охватывающие фрезы (рис. 7.25, в); головки для скоростного фрезерования резьбы с крупным шагом, больших диаметров и длин (рис. 7.25, з).

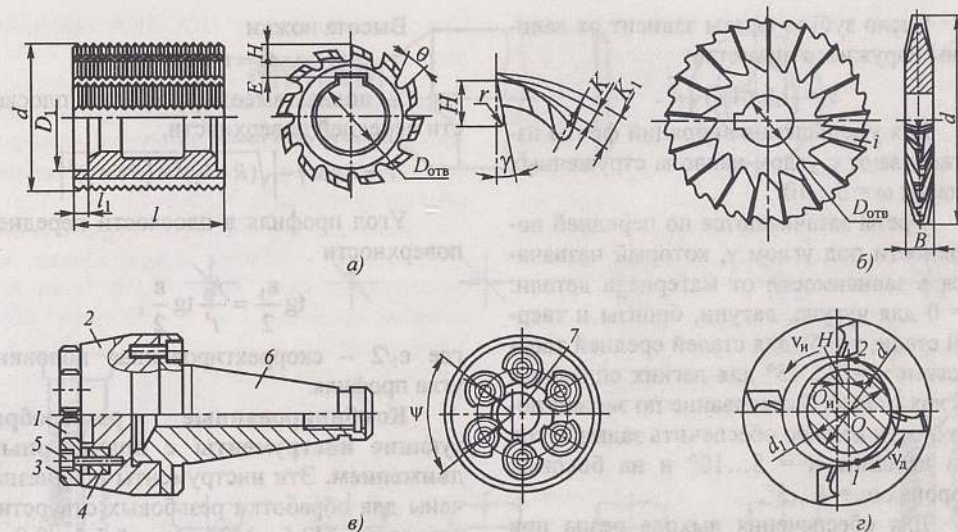


Рис. 7.25. Резьбовые фрезы:

а — гребенчатая насадная фреза; б — дисковая фреза;

в — охватывающая фреза; з — схема работы головки для скоростного нарезания резьбы

**Гребенчатые резьбовые фрезы.** Фрезерование резьбы в несколько раз производительнее нарезания резьбы резьбовыми резцами. Однако при этом из-за наличия кольцевых витков профиль резьбы искажается, и поэтому гребенчатые резьбовые фрезы (см. рис. 7.25, а) применяют в основном для нарезания крепежных резьб.

Основными конструктивными элементами гребенчатых фрез являются: диаметр фрезы, диаметр посадочного отверстия, длина фрезы, число зубьев, форма зуба и впадины, направление стружечных канавок, размеры профиля резьбы.

Диаметр фрезы определяют таким же образом, как и для других затылованных фрез, т.е.

$$d = D_{отв} + 2E + 2H,$$

где  $D_{отв}$  — диаметр посадочного отверстия;  $E$  — толщина стенки корпуса фрезы,  $E = (0,3...0,4) D_{отв}$ ;  $H$  — глубина стружечной канавки.

Глубина стружечной канавки:

$$H = h_3 + K + r + e,$$

где  $h_3$  — глубина профиля резьбы;  $K$  — величина затылования на шлифованном участке;  $r$  — радиус стружечной канавки у основания зуба;  $e$  — дополнительный размер,  $e = 1...2$  мм.

При выборе диаметра фрезы необходимо учитывать размеры деталей крепления на станке. У насадной фрезы по торцу предусмотрена выточка диаметром  $D_1$  и глубиной  $l_1$  для размещения элементов крепления.

При обработке внутренней резьбы диаметр фрезы должен быть не менее  $(0,85...0,90)$  диаметра отверстия, в котором нарезается резьба.

Длина фрезы

$$l = l_p + (2...3)Pi,$$

где  $l_p$  — длина нарезаемой резьбы;  $P$  — шаг резьбы;  $i$  — число заходов резьбы.

При этом длина фрезы не должна превышать 100 мм, так как с увеличением ее длины при термической обработке возможны большие искажения по шагу и профилю резьбы.

Число зубьев фрезы зависит от величины наружного диаметра:

$$z = (1,6...1,8)\sqrt{d}.$$

Для уменьшения вибраций фрезы изготавливают с углом наклона стружечных канавок  $\omega = 5...10^\circ$ .

Фрезы затачиваются по передней поверхности под углом  $\gamma$ , который назначается в зависимости от материала детали:  $\gamma = 0$  для чугуна, латуни, бронзы и твердой стали;  $\gamma = 5^\circ$  для сталей средней твердости и  $\gamma = 10...15^\circ$  для легких сплавов и мягких сталей. Затылование по задней поверхности должно обеспечить задний угол при вершине  $\alpha = 8...10^\circ$  и на боковых сторонах  $\alpha_N = 4...5^\circ$ .

Для обеспечения выхода реза при затыловании и круга при шлифовании профиля резьбы впадину делают как можно шире, (0,35...0,40) от окружного шага фрезы, а угол  $\theta = 30...45^\circ$ .

Величину затылования берут равной 1,25...3,0 мм при изменении диаметра в диапазоне 15...90 мм. Задние углы на вершинах и боковых сторонах профиля определяют по формулам:

$$\operatorname{tg} \alpha_B = \frac{Kz}{\pi d}; \operatorname{tg} \alpha_N = \frac{d}{d_i} \operatorname{tg} \alpha \sin \frac{\varepsilon}{2},$$

где  $d$  – наружный диаметр фрезы;  $z$  – число зубьев фрезы;  $d_i$  – диаметр окружности, на которой располагается расчетная точка;  $\varepsilon/2$  – половина угла профиля резьбы.

Размеры профиля резьбы контролируют по передней поверхности. При  $\gamma = 0$  высота головки фрезы  $t_1 = 0,288P$ , высота ножки  $t_2 = 0,325P$  для наружных резьб. Допуск на высоту головки назначают с учетом погрешностей изготовления и запаса на износ.

При наличии переднего угла  $\gamma$  проводится корректировка профиля в плоскости передней поверхности.

Высота головки в плоскости передней поверхности

$$t'_1 = R \cos \gamma - \sqrt{(R - t_1)^2 - (R \sin \gamma)^2}.$$

Высота ножки

$$t'_2 = t' - t'_1,$$

где  $t'$  – полная высота профиля в плоскости передней поверхности,

$$t' = R \cos \gamma - \sqrt{(R - h_3)^2 - (R \sin \gamma)^2}.$$

Угол профиля в плоскости передней поверхности

$$\operatorname{tg} \frac{\varepsilon_1}{2} = \frac{h_3}{t'} \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2},$$

где  $\varepsilon_1/2$  – скорректированная половина угла профиля.

**Комбинированные резьбообразующие инструменты с планетарным движением.** Эти инструменты предназначены для обработки резьбовых отверстий размерами М2,5...М22 длиной 1,5...2,0 и представляют собой соединение в одном инструменте сверла и концевой гребенчатой резьбонарезной фрезы. Обработка отверстий этими инструментами происходит в следующей последовательности (рис. 7.26): сверление отверстия передней частью инструмента с одновременным получением торца любой формы (поз. а и б), подъем инструмента на величину шага резьбы (поз. в), радиальное врезание инструмента на высоту профиля нарезаемой резьбы (поз. г), планетарное фрезерование резьбы резьбообразующей частью инструмента (поз. д), выход инструмента на ось обрабатываемого отверстия (поз. е), ускоренный вывод инструмента из отверстия (поз. ж).

К достоинствам этих инструментов можно отнести [21]: 1) возможность изготовления одним типоразмером инструмента отверстий с резьбой разного диаметра и одного шага (однозубыми инструментами можно изготавливать отверстия с резьбой разных диаметров и разных шагов); 2) получение на торце отверстия фаски произвольной формы; 3) изготовление одним инструментом резьбовых отверстий с правой, левой, одно- и многозаходной резьбой; 4) характерная для процесса планетарного резьбофрезерования мелкая стружка легко отводится из зоны резания;

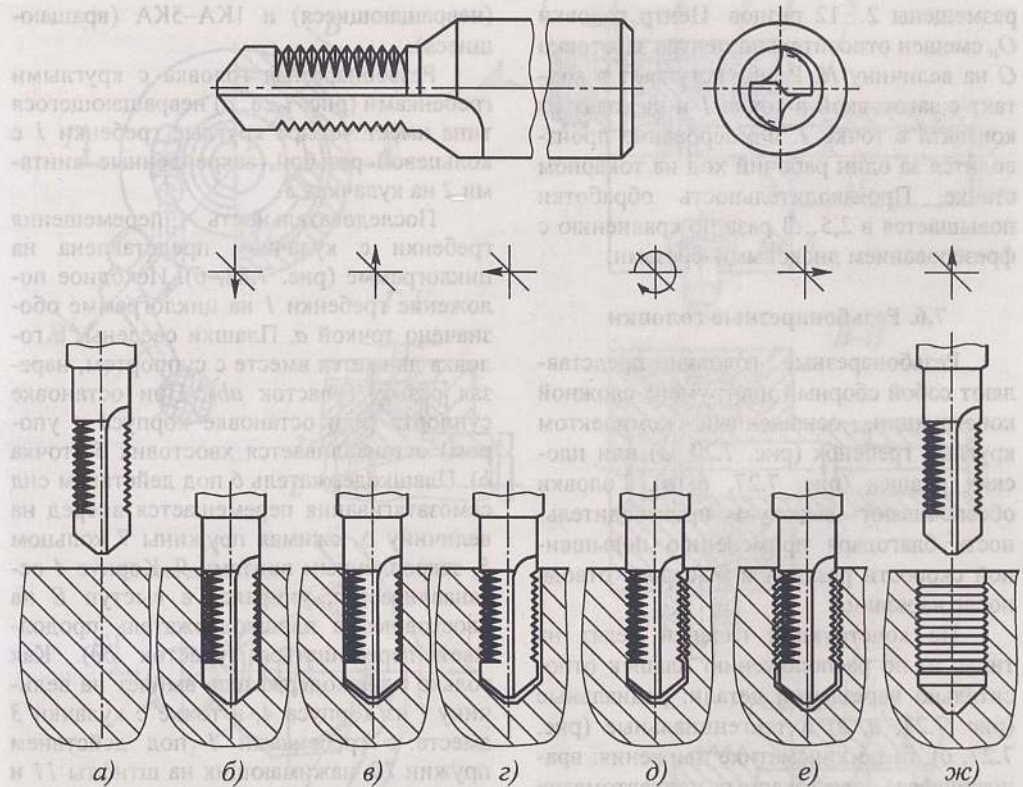


Рис. 7.26. Схема обработки резьбового отверстия комбинированным резьбообразующим инструментом с планетарным движением (патент № 3627798, Германия)

5) возможность замены комплекта инструментов, необходимого для изготовления резьбового отверстия (как правило, это сверло, зенкер и метчик); 6) получение резьбового отверстия за один технологический переход как в подготовленном отверстии, так и в сплошном материале.

**Дисковые фрезы.** Для нарезания трапецеидальных резьб с крупным шагом большого диаметра применяются дисковые резьбовые фрезы (см. рис. 7.25, б). По форме зуба фрезы выполняются острозаточенными с чередующимися через один зубьями. Для проверки профиля после перетачивания один зуб изготавливают с полным профилем.

**Охватывающие резьбовые фрезы.** Для фрезерования коротких резьб применяют гребенчатые сборные охватываю-

щие фрезы, оснащенные круглыми гребенками (см. рис. 7.25, в). Гребенки 1 закрепляют в корпусе 2 звездочками 3, втулкой 4 и винтом 5. Для крепления на станке служит конический хвостовик 6.

Угол контакта зубьев фрезы  $\psi$  с заготовкой 7 при охватывающем фрезеровании значительно больше, чем при фрезеровании гребенчатыми фрезами, что позволяет увеличить число одновременно работающих зубьев и, следовательно, производительность головки.

**Головки для скоростного фрезерования.** Для обработки наружных резьб большого диаметра применяют головки для скоростного фрезерования, которые представляют собой сборные инструменты (см. рис. 7.25, г), оснащенные твердосплавными резами. В корпусе головки

размещены 2...12 резцов. Центр головки  $O_n$  смещен относительно центра заготовки  $O$  на величину  $H$ . Резцы вступают в контакт с заготовкой в точке 1 и выходят из контакта в точке 2. Фрезерование производится за один рабочий ход на токарном станке. Производительность обработки повышается в 2,5...3 раза по сравнению с фрезерованием дисковыми фрезами.

### 7.6. Резьбонарезные головки

Резьбонарезные головки представляют собой сборный инструмент сложной конструкции, оснащенный комплектом круглых гребенок (рис. 7.27, а) или плоских плашек (рис. 7.27, б, в). Головки обеспечивают высокую производительность благодаря применению повышенной скорости резания и быстрого отвода после резания.

По конструкции головки делят на типы: а) по расположению плашек относительно нарезаемой детали: радиальные (рис. 7.27, а, в) и тангенциальные (рис. 7.27, б); б) по кинематике движения: вращающиеся – для токарных полуавтоматов и невращающиеся – для револьверных и резьбонарезных станков; в) по виду нарезаемой резьбы: для обработки наружных и внутренних резьб.

В производстве наибольшее распространение получили самооткрывающиеся головки с круглыми гребенками.

В зависимости от размеров нарезаемых резьб головки обозначаются 1К–5К

(невращающиеся) и 1КА–5КА (вращающиеся).

Резьбонарезная головка с круглыми гребенками (рис. 7.28, а) невращающегося типа имеет четыре круглые гребенки 1 с кольцевой резьбой, закрепленные винтами 2 на кулачках 3.

Последовательность перемещения гребенки с кулачком представлена на циклограмме (рис. 7.28, б). Исходное положение гребенки 1 на циклограмме обозначено точкой а. Плашки сведены, и головка движется вместе с суппортом, нарезаая резьбу (участок *ab*). При остановке суппорта (или остановке корпуса 4 упором) останавливается хвостовик 5 (точка *b*). Плашкодержатель 6 под действием сил самозатягивания перемещается вперед на величину  $\Delta$ , сжимая пружины 7 кольцом 8, закрепленным винтами 9. Корпус 4 останавливается, упираясь в выступ *E* на хвостовике, а плашкодержатель продолжает перемещаться (участок *bc*). Как только плашкодержатель выйдет на величину  $l$  из корпуса 4, в точке *c* кулачки 3 вместе с гребенками 1 под действием пружин 10, нажимающих на штифты 11 и шпильки 12, разойдутся (участок *cd*), перемещаясь в точку *d*. Головка раскрывается и в таком состоянии перемещается на расстояние *de* обратного хода. В точке *e* вручную (или с помощью упора) плашкодержатель подают в корпус 4 рукояткой 13, на которую нажимает пружина 14. Корпус 4, скользя по скосам кулачков, сводит гребенки в рабочее положение (участок циклограммы *fa*).

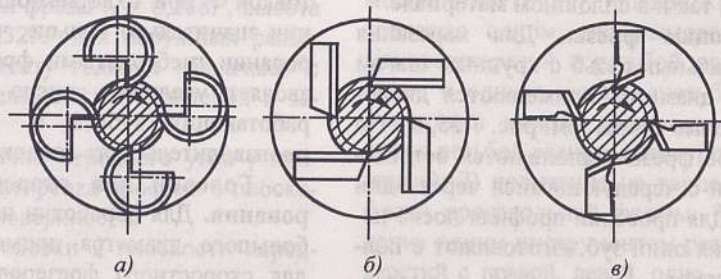


Рис. 7.27. Схема работы резьбонарезных головок:

а – с круглыми гребенками; б – с плоскими тангенциальными плашками; в – с плоскими радиальными плашками

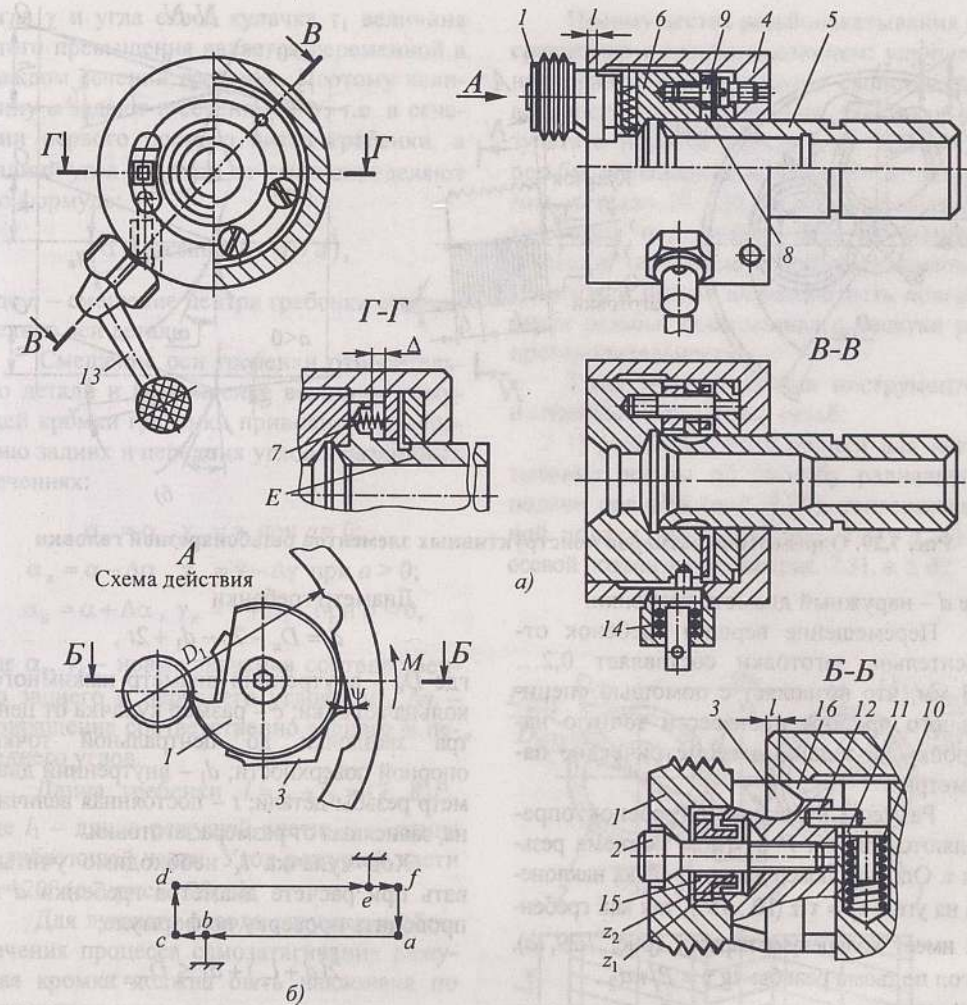


Рис. 7.28. Конструкция (а) и принцип действия (б) резьбонарезной головки с круглыми гребенками

Головка регулируется на диаметр нарезаемой резьбы. Для этого необходимо с помощью регулировочных винтов поворачивать плашкодержатель 6 относительно корпуса 5 по направлению стрелки *M*. За счет лыски на внутренней поверхности корпуса 4 и затылованной поверхности на кулачке гребенки вместе с кулачком удаляется или приближается к центру головки.

Режущая кромка гребенки должна устанавливаться относительно заготовки в определенное положение, обеспечивая

соответствующую обрабатываемому материалу геометрию. Для этого между кулачком и гребенкой установлена двухвенцовая звездочка 15. Число зубьев  $z_1$  на венце, который вставляется в отверстие звездочки, на один зуб больше по отношению к числу зубьев  $z_2$  на малом венце. Если повернуть звездочку вместе с гребенкой на величину  $1/z_1$  по часовой стрелке, а затем гребенку на величину  $1/z_1$  против часовой стрелки, то перемещение

$$a = \pi d(1/z_1 - 1/z_2),$$

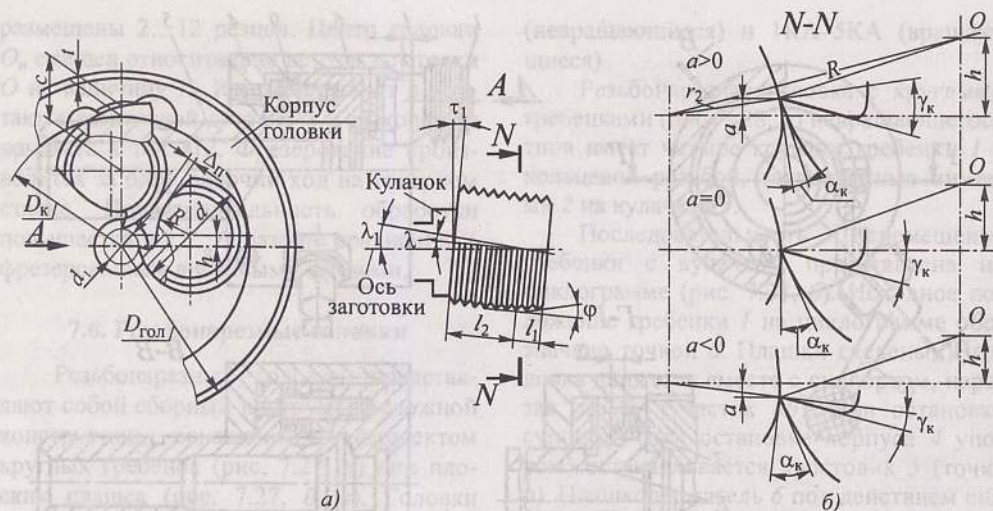


Рис. 7.29. Определение размеров конструктивных элементов резьбонарезной головки

где  $d$  – наружный диаметр гребенки.

Перемещение вершин гребенок относительно заготовки составляет 0,2...0,3 мм, что позволяет с помощью специального прибора произвести точную настройку на заданные геометрические параметры.

Размеры кулачков и гребенок определяются шагом  $P$  и углом подъема резьбы  $\tau$ . Опорная поверхность кулачка наклонена на угол  $\tau_1 = \tau \pm (10...15)'$ , так как гребенка имеет кольцевую нарезку (рис. 7.29, а). Угол подъема резьбы  $\operatorname{tg} \tau = P/\pi d_2$ .

При расположении гребенок относительно детали необходимо, чтобы кольцевые нарезки соседних гребенок располагались со смещением

$$\delta = P/z,$$

где  $z$  – число гребенок. Для этого необходимо, чтобы каждая гребенка в комплекте имела определенное расположение нарезки относительно опорного торца. Наружный диаметр гребенки  $d$  должен быть достаточно большим, чтобы обеспечить необходимую прочность гребенки, но при этом следует учитывать величину развода кулачков, диаметр головки  $D_{\text{гол}}$  и зазор между плашками  $\Delta_n$  при их сближении.

Диаметр гребенки

$$d = D_k - 2c - d_1 + 2t,$$

где  $D_k$  – внутренний диаметр нажимного кольца головки;  $c$  – размер кулачка от центра звездочки до центральной точки опорной поверхности;  $d_1$  – внутренний диаметр резьбы детали;  $t$  – постоянная величина, зависящая от размера заготовки.

Ход кулачка  $l_x$  необходимо учитывать при расчете диаметра гребенки  $d$  и проводить проверку по формуле:

$$2(d + l_x) + d_1 \leq D_{\text{гол}}.$$

В сведенном состоянии между гребенками выдерживают минимально допустимый зазор  $\Delta_n$ , размер которого должен удовлетворять неравенству

$$\sqrt{2} \left( \frac{d + d_1}{2} \right) \geq \frac{d}{2} + R + \Delta_n,$$

где  $R$  – минимальный радиус скругления срезанной части плашки.

В рабочем положении режущая кромка гребенки располагается относительно оси детали с некоторым превышением  $a$ . Из-за наличия углов наклона режущей кромки  $\lambda$  (рис. 7.29, б), переднего

угла  $\gamma$  и угла скоса кулачка  $\tau_1$  величина этого превышения является переменной в каждом сечении гребенки. Поэтому величину  $a$  задают в сечении  $N-N$ , т.е. в сечении первого полного витка гребенки, а задний угол  $\alpha$  в этом сечении определяют по формуле:

$$\alpha = \arcsin(2(h - a)/d),$$

где  $h$  – смещение центра гребенки относительно оси детали.

Смещение оси гребенки относительно детали и превышение вершины режущей кромки гребенки приводит к изменению задних и передних углов в различных сечениях:

$$\alpha_k = \alpha, \quad \gamma_k = \gamma \quad \text{при } a = 0;$$

$$\alpha_k = \alpha - \Delta\alpha, \quad \gamma_k = \gamma - \Delta\gamma \quad \text{при } a > 0;$$

$$\alpha_k = \alpha + \Delta\alpha, \quad \gamma_k = \gamma + \Delta\gamma \quad \text{при } a < 0,$$

где  $\alpha_k, \gamma_k$  – новые значения соответственно заднего и переднего углов;  $\Delta\alpha, \Delta\gamma$  – приращение соответственно заднего и переднего углов.

Длина гребенки  $l = l_1 + l_2 = (7...8)P$ , где  $l_1$  – длина режущей части;  $l_2$  – длина калибрующей части. Угол режущей части  $\phi = 20^\circ$  (см. рис. 7.29, а).

Для лучшего отвода стружки и обеспечения процесса самозатягивания режущая кромка должна быть наклонена по отношению к оси детали под углом

$$\lambda_1 = \tau_1 + \lambda,$$

где  $\lambda$  – угол наклона режущей кромки по отношению к оси гребенки.

В зависимости от длины нарезаемой резьбы и ее типа (цилиндрическая или коническая) угол  $\lambda_1 = 1^\circ 30'...7^\circ$ .

### 7.7. Инструменты для накатывания резьбы

Накатывание резьбы – наиболее производительный способ образования резьбы без снятия стружки методом пластического деформирования.

Преимущества резьбонакатывания по сравнению с резьбонарезанием: улучшенные физико-механические свойства поверхностного слоя металла, так как в результате наклепа усталостная прочность резьбы повышается на 20...40 %; экономия металла 10...30 %, так как диаметр заготовки под резьбу берется меньше диаметра получаемой резьбы; высокая точность и низкая шероховатость поверхности резьбы; повышенная в десятки раз производительность.

Типы резьбонакатных инструментов и способы накатывания резьб:

1) резьбонакатные ролики для накатывания резьбы по способу радиальной подачи роликов (рис. 7.30), тангенциальной подачи заготовок (рис. 7.31, а, б) и осевой подачи заготовок (рис. 7.31, в, з, д);

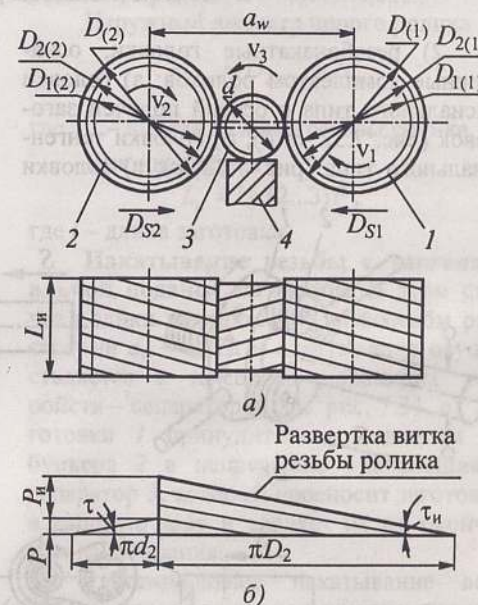


Рис. 7.30. Схема накатывания резьбонакатными роликами:

а – расположение роликов относительно заготовки; б – развертка витков резьбы заготовки и ролика; 1, 2 – ролики; 3 – заготовка; 4 – опорный нож



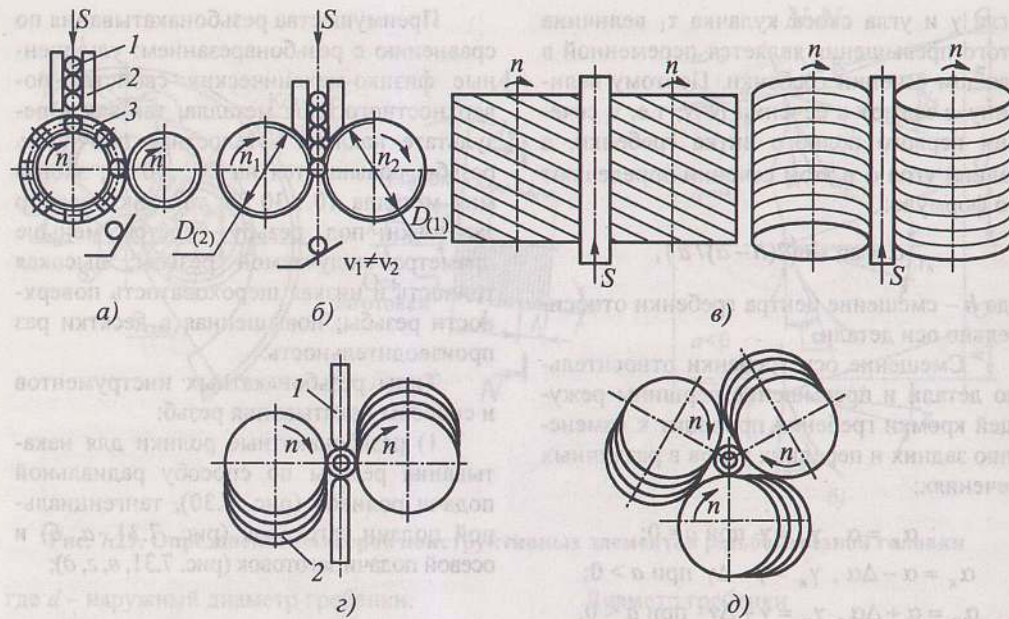


Рис. 7.31. Способы резьбонакатывания

2) резьбонакатные головки, оснащенные комплектом роликов: а) головки аксиального типа с осевой подачей заготовок (рис. 7.32, а, б); б) головки тангенциального типа (рис. 7.32, в); в) головки

радиального типа с радиальной подачей роликов на заготовку;

3) резьбонакатные плашки: а) плоского типа (рис. 7.33); б) сегментного типа; в) выдавливающие сборные плашки.

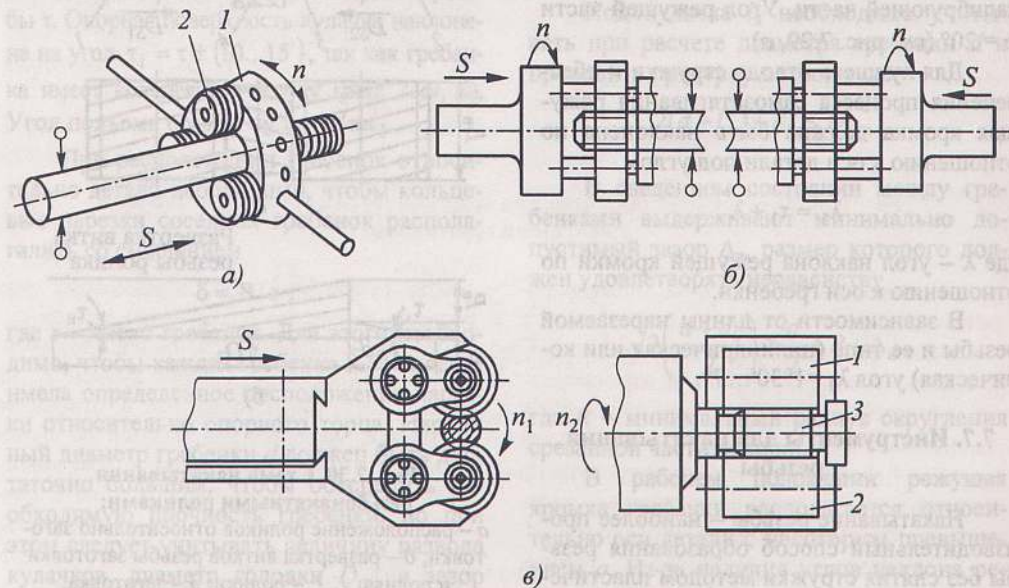


Рис. 7.32. Резьбонакатные головки

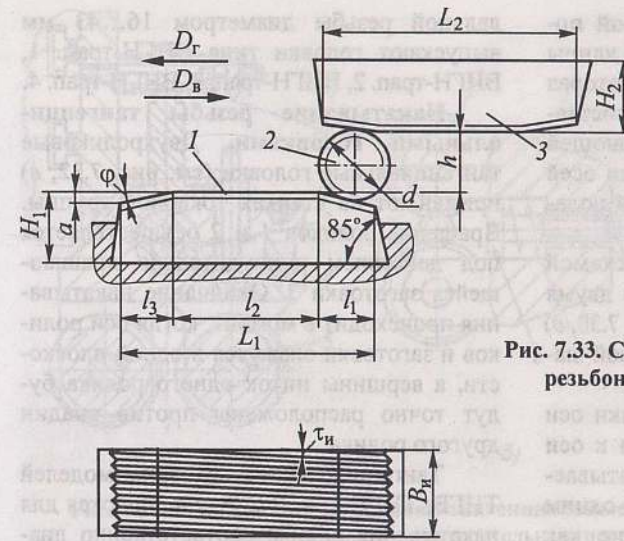


Рис. 7.33. Схема образования резьбы резьбонакатными плашками

Выбор типа инструмента и способа накатывания зависят от типа резьбы, ее размеров, точности, длины и материала заготовки.

Для улучшения процесса накатывания и увеличения стойкости инструмента диаметр ролика  $D$  должен быть максимальным. Выбор его ограничивается конструкцией станка и числом захода  $i$ . При этом число заходов должно быть не более 70, так как в противном случае ухудшается шлифование резьбы роликов.

Число заходов ролика определяется из соотношений (см. рис. 7.30, б)

$$\operatorname{tg} \tau_n = \frac{P_n + P}{\pi D_2}; \operatorname{tg} \tau = \frac{P}{\pi d_2}$$

Если  $\tau_n = \tau$ , тогда

$$\frac{P_n}{P} = \frac{D_2}{d_2} = i$$

При этом число заходов  $i$  должно быть целым.

Средний диаметр ролика назначают с учетом числа заходов ( $D_2 = d_2 i$ ), конструкции станка и запаса на износ. Новый ролик имеет завышенный средний диаметр, а перешлифованный – заниженный средний диаметр

$$D_{2 \text{ нов}} = D_2 \pm \Delta D_2$$

В этой формуле величину  $\Delta$  назначают в зависимости от диаметра самого ролика и диаметра резьбы,  $\Delta \approx 0,017 \dots 0,018$ .

Наружный диаметр нового ролика

$$D_{\text{нов}} = D_{2 \text{ нов}} + 2t'_n$$

где  $t'_n$  – высота головки резьбы ролика.

Ширина ролика

$$L_n = l + (2 \dots 3)P$$

где  $l$  – длина заготовки.

**Накатывание резьбы с тангенциальной подачей заготовок.** В этом случае ролики находятся на межосевом расстоянии  $a_w = \text{const}$  и накатывание осуществляется с помощью подающих устройств – сепараторов (см. рис. 7.31, а). Заготовки  $1$  принудительно подаются из бункера  $2$  в непрерывно вращающийся сепаратор  $3$ , который переносит заготовки в рабочую зону и удаляет их по окончании накатывания.

Тангенциальное накатывание возможно двумя роликами с разными окружными скоростями, то есть  $v_1 \neq v_2$  (см. рис. 7.31, б). При одинаковых диаметрах роликов  $D_{(1)}$  и  $D_{(2)}$  это достигается за счет различия частот вращения роликов ( $n_1 \neq n_2$ ), а при одинаковой частоте вращения роликов – за счет различия диаметров роликов ( $D_{(1)} \neq D_{(2)}$ ).

**Накатывание резьбы с осевой подачей заготовок.** Детали большой длины накатывают с осевой подачей, которая осуществляется за счет осевой составляющей силы накатывания, возникающей при скрещивающемся расположении осей роликов. При этом скорость осевой подачи достигает 9000 мм/мин.

Наиболее распространенной схемой накатывания является накатывание двумя (см. рис. 7.31, в, з) или тремя (см. рис. 7.30, д) роликами с кольцевой или винтовой нарезками резьбы.

При наличии кольцевой нарезки оси роликов наклонены по отношению к оси заготовки на угол подъема  $\tau$  накатываемой резьбы. При этом способом одним комплектом возможно накатывание как правых, так и левых резьб различного диаметра путем изменения угла наклона шпинделей роликов.

**Резьбонакатные головки аксиального типа.** Нераскрывающиеся головки выполнены в виде сборного инструмента, на корпус 1 которого установлены на осях ролики 2 (см. рис. 7.32, а). Ролики вращаются вокруг своих осей и наклонены под углом  $\tau_n$  равным углу подъема резьбы  $\tau$ . По окончании накатывания головка свинчивается и по шагу смещены относительно друг друга на величину  $1/n$ , где  $n$  – число роликов.

Наибольшее распространение получили резьбонакатные самораскрывающиеся головки (см. рис. 7.32, б). В конце накатывания резьбы ролики таких головок расходятся и заготовка освобождается. Головки подразделяются на вращающиеся и невращающиеся. Вращающиеся головки устанавливают на агрегатных станках и станках-автоматах, а невращающиеся – на револьверных станках.

Наиболее распространенной конструкцией резьбонакатных головок являются головки типа ВНГН-2, ВНГН-3, ВНГН-4, ВНГН-5, предназначенные для накатывания резьбы диаметром 4...52 мм, с шагом 0,7...5 мм. Для накатывания трапеци-

дальной резьбы диаметром 16...43 мм выпускают головки типа ВНГН-трап. 1, ВНГН-трап. 2, ВНГН-трап. 3, ВНГН-трап. 4.

**Накатывание резьбы тангенциальными головками.** Двухроликовые тангенциальные головки (см. рис. 7.32, в) применяют на станках токарной группы. Вращение роликов 1 и 2 осуществляется под действием принудительно вращающейся заготовки 3. Окончание накатывания происходит в момент, когда оси роликов и заготовки окажутся в одной плоскости, а вершины ниток одного ролика будут точно расположены против впадин другого ролика.

Тангенциальные головки моделей ТНГВ, ТНГС-1, ТНГС-2 применяются для накатывания резьбы соответственно диаметрами 3...6 мм, 6...20 мм, 24...52 мм.

Тангенциальная головка с точной установкой роликов показана на рис. 7.34, а. Здесь рычаги 2 и 4 с резьбонакатными роликами 5 установлены на одной оси 3. Ролики соединены между собой червячной парой и двумя рядами шестерен. Головку центрируют по оси накатываемой детали регулировкой усилия пружины 1.

В процессе накатывания резьбы головка с роликами перемещается вдоль оси 3 относительно неподвижной в осевом направлении детали. Осевое перемещение головки с роликами зависит от режимов накатывания: тангенциальной скорости перемещения головки, частоты вращения детали, диаметров резьбонакатных роликов и шага резьбы.

После окончания накатывания резьбы пружина (на рисунке не показана) возвращает головку в исходное положение.

Точная установка роликов со смещением их витков на полшага осуществляется вращением одного из роликов с помощью червяка. Проверку установки роликов проводят путем сближения роликов до тех пор, пока выступы витков одного из них не войдут во впадины другого. Для компенсации неточности установки ролики в пазах рычагов установлены с некоторым зазором.

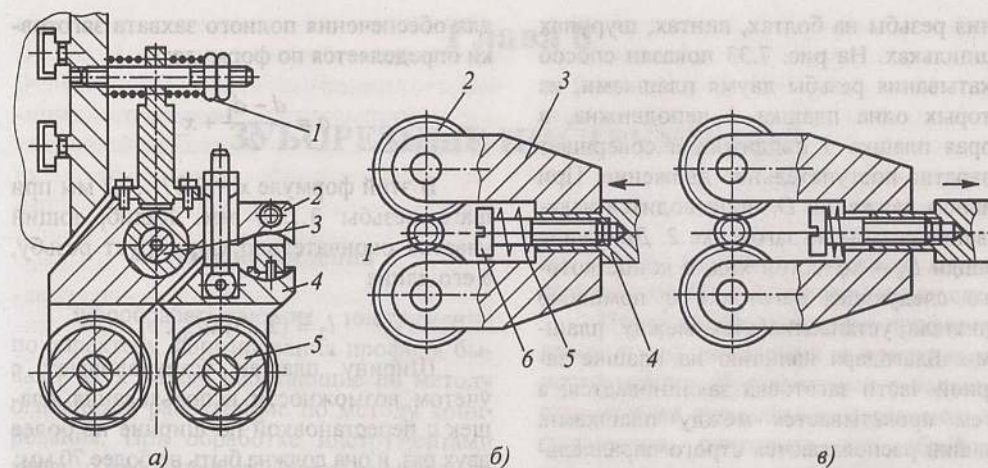


Рис. 7.34. Резьбонакатные головки тангенциальные: а – с точной установкой роликов; б, в – с возвратно-поступательным перемещением роликов

Настройка головки с целью получения необходимого среднего диаметра накатываемой резьбы обеспечивается путем изменения межцентрового расстояния.

Тангенциальные резьбонакатные головки формируют резьбу на заготовках при рабочей подаче головки из исходного положения до плоскости, в которой расположена ось заготовки, и в этом положении происходит калибрование резьбы. Однако обеспечить точное совпадение в одной плоскости оси заготовки и осей роликов во время калибрования сложно, так как для этого требуется применение дополнительных устройств. При калибровании же вне этой плоскости не достигается необходимая точность резьбы.

В конструкции головки (А.с. 659258) резьбонакатные ролики 2 размещены в корпусе 3, который установлен на державке 4. Это обеспечивает возвратно-поступательное перемещение роликов и поджатие корпуса к державке с помощью пружины 5 и винта 6 (рис. 7.34, б, в).

Из исходного положения резьбонакатная головка, закрепленная державкой 4 на суппорте станка, подается на вращающуюся заготовку 1, причем корпус 3 прижат к торцу державки пружинной 5 (рис. 7.34, б). На рабочей подаче головка проходит за

вертикальную плоскость оси детали и формирует профиль резьбы резьбонакатными роликами 2. Размер резьбы при этом получается больше, чем размер по роликам, вследствие упругих деформаций заготовки.

При обратном ходе головки (рис. 7.34, в) резьбонакатные ролики повторно контактируют с профилем резьбы детали. Разность размеров по роликам и резьбе создает усилие, которое затормаживает движение корпуса, и происходит калибрование резьбы. Державка продолжает перемещаться с суппортом станка, сжимая пружину до тех пор, пока размер резьбы не станет равным размеру по роликам и усилие сжатия пружины не превысит усилие, затормаживающее корпус. После этого корпус возвращается пружинной в исходное положение (до упора в торец державки).

## 7.8. Резьбонакатные плашки

**Плоские резьбонакатные плашки.** Плоские плашки универсальны и просты по конструкции, но не обеспечивают стабильности диаметра накатываемой резьбы, и поэтому применяются для накатывания

вания резьбы на болтах, винтах, шурупах и шпильках. На рис. 7.33 показан способ накатывания резьбы двумя плашками, из которых одна плашка 1 неподвижна, а вторая плашка 3 подвижна и совершает возвратно-поступательное движение. При главном движении  $D_r$  производится накатывание резьбы на заготовке 2. Движение плашки  $D_b$  – холостой ход, в конце которого следующая заготовка с помощью толкателя устанавливается между плашками. Благодаря наличию на плашке заборной части заготовка заклинивается, а затем прокатывается между плашками. Плашки располагаются строго параллельно, а витки резьбы смещены относительно друг друга на  $0,5P$ . Расстояние между плашками в процессе накатывания равно внутреннему диаметру накатываемой резьбы. Длина подвижной плашки

$$L_2 = L_1 + (15...25 \text{ мм}),$$

где  $L_1$  – длина неподвижной плашки.

При таком соотношении  $L_1$  и  $L_2$  обеспечивается гарантия сброса заготовки с неподвижной плашки в конце рабочего хода.

Общая длина неподвижной плашки

$$L_1 = l_1 + l_2 + l_3 = (5...8)\pi d_{\text{ср}},$$

где  $l_1$  – длина заборного участка;  $l_2$  – длина калибрующего участка;  $l_3$  – длина сбрасывающего участка.

Заборный участок выполняет основную работу по формированию профиля резьбы и должен обеспечивать достаточную точность резьбы и стойкость самой плашки. Обычно  $l_1 = l_3 = (3...4)\pi d_{\text{ср}}$ . Величина среза  $a$  в начале заборной части

для обеспечения полного захвата заготовки определяется по формуле:

$$a = \frac{d - d_1}{2} + x.$$

В этой формуле  $x = 0,07...0,2$  мм при шаге резьбы 3...24 мм. Калибрующий участок окончательно формирует резьбу, а его длина

$$l_2 = (2...3)\pi d_{\text{ср}}.$$

Ширину плашек устанавливают с учетом возможности использования плашек с перестановкой по ширине не более двух раз, и она должна быть не более 70 мм:

$$B_{\text{п}} = 2l_p + (2...3)P,$$

где  $l_p$  – длина накатываемой резьбы;  $(2...3)P$  – величина, гарантирующая обработку заготовки по длине.

Толщину плашек принимают с учетом равенства их толщин и последующей перешлифовки, то есть  $H_1 = H_2 = 25...50$  мм, где  $H_1$  – толщина подвижной плашки;  $H_2$  – толщина неподвижной плашки.

**Допуски на элементы резьбы плашек и роликов.** Допуски назначают на половину угла профиля резьбы в пределах  $10'...25'$  для точных деталей (винтов, шпилек и т. п.); на шаг резьбы на длине 10 мм – для точных деталей 0,01 мм, для неточных – 0,015 мм. Высота головки определяется с учетом запаса на износ и допускаемой минимальной величины заострения резьбы на вершине. Высота ножки назначается с учетом того, что основание впадины инструмента не должно соприкасаться с обрабатываемым материалом.

## Глава 8

### ЗУБОРЕЗНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

#### 8.1. Общие сведения

Зубообрабатывающие инструменты по характеру формирования профиля бывают двух видов: работающие по методу огибания и работающие по методу копирования. При обработке инструментами первого вида профиль зуба образуется как огибающая последовательных положений исходных инструментальных поверхностей (для давящих и абразивных инструментов) либо как огибающая семейства поверхностей резания (для лезвийных инструментов) (рис. 8.1, а). К ним относятся: гребенки, червячные фрезы, долбяки, обкаточные резцы, зубчатые хоны, шеверы. При лезвийном исполнении инструментов часть исходной инструментальной поверхности оказывается удаленной, а число производящих элементов (кромки или вершины) на инструменте – ограниченным, что приводит к образованию огранки поперек зубьев и гребешков волнистости вдоль зубьев. Это необходимо учитывать при конструировании инструментов (выборе зубьев и их оформлении) и назначении режимов обработки.

В частном случае, когда профиль обрабатываемых зубьев в каком-либо сечении определяется только одним положением инструментальной поверхности или же образуется только одной режущей кромкой инструмента, обработка происходит по методу копирования (рис. 8.1, б). К инструментам, работающим по этому методу, относятся дисковые и пальцевые фрезы, зубодолбежные головки и др.

При формировании поверхности зуба в обоих направлениях (по образующей и направляющей) все инструменты независимо от вида профилирования работают

по методу огибания (частным случаем которого является копирование или след).

Метод копирования при профилировании и его реализация в конструкциях инструментов обуславливают в большинстве случаев специальное назначение инструментов, пригодное для обработки конкретного колеса (или нескольких колес, но мало различающихся по своим размерам). Метод огибания расширяет технологические возможности и делает инструменты более универсальными. Например, дисковые фрезы используют для нарезания зубчатых колес с определенным числом зубьев  $z_1$ , а червячные фрезы – для нарезания колес с любым  $z_1$ .

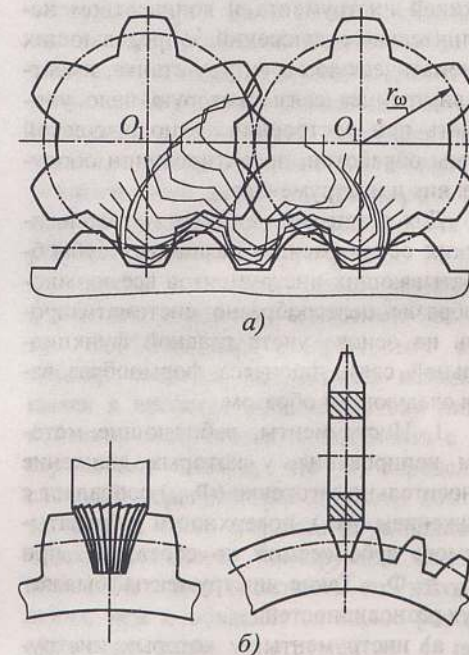


Рис. 8.1. Образование профиля зубьев колеса при обработке методами огибания (а) и копирования (б)

Реализация конструкций инструментов различных методов профилирования зависит от внутренних связей процесса обработки — характера относительного движения ( $\Phi_{отн}$ ) инструмента и заготовки.

Если это движение совпадает с движением  $\Phi_1$ , посредством которого образующая поверхности изделия воспроизводит ее, то профилирование происходит по методу копирования, а если не совпадает — то по методу огибания.

На практике применяется множество конструкций зубообрабатывающих инструментов, характеризующихся разнообразием форм и размеров обрабатываемых зубчатых колес, различными требованиями к качеству обработки, особенностями построения технологического процесса зубообработки, различными видами металлообрабатывающего оборудования, характером производства (единичное, серийное или массовое), требованиями к его мобильности и др.

Между методом обработки, конструкцией инструмента и количеством исполнительных движений, определяющих кинематическую структуру станка, имеется внутренняя связь, которую надо учитывать при построении технологической схемы обработки, проектировании оборудования и инструментов.

Для реализации единых методологических основ расчета различных зубообрабатывающих инструментов все их многообразие целесообразно систематизировать на основе учета главной функциональной связи процесса формообразования следующим образом.

1. Инструменты, работающие методом копирования, у которых движение относительно заготовки ( $\Phi_{отн}$ ) совпадает с движением ( $\Phi_1$ ) поверхности обрабатываемого зуба «самой по себе», т.е. при  $\Phi_{отн} = \Phi_1$ . Такие инструменты бывают двух разновидностей:

а) инструменты, у которых инструментальная поверхность и поверхность детали имеют поверхностный контакт. Они характеризуются большой произво-

дительностью. Причем, если транспортное движение деления заготовки на зуб материализовать в конструкции инструмента, то получаются очень высокопроизводительные инструменты (зубодолбежные многолезцовые головки, протяжки для прямо- и косозубых колес). Такие инструменты являются специальными и применяются в крупносерийном и массовом производстве колес. При нарезании колес этими инструментами отдельное движение подачи отсутствует, так как в этом случае имеется всего лишь одно формообразующее движение, выполняющее одновременно роль главного движения и движения подачи;

б) инструменты с линейным контактом исходной поверхности с поверхностью детали (пальцевые и дисковые фрезы, шлифовальные круги). Они работают методом единичного деления, обеспечивают меньшую производительность и имеют узкую область применения: индивидуальное производство и некоторые случаи массового производства колес 9–12-й степеней точности, обработка крупномодульных колес ( $m > 20$  мм), когда затруднено изготовление и применение инструментов, работающих методом огибания. Здесь имеется одно движение подачи, совпадающее с  $\Phi_{отн}$ , которое функционально не связано с главным движением резания — вращением инструмента вокруг своей оси.

2. Инструменты, работающие методом огибания ( $\Phi_{отн} \neq \Phi_1$ ):

а) инструменты с точечным контактом инструментальной поверхности с поверхностью детали (червячные фрезы, шеверы, зубчатые хоны, абразивные червяки и др.). Эти инструменты обеспечивают высокопроизводительную обработку колес в диапазоне  $m = 0,1 \dots 40$  мм с точностью в пределах 5–11-й степени и применяются в индивидуальном, серийном и массовом производстве. Помимо конструктивной вершины зубьев у этих инструментов различают кинематическую

вершину, являющуюся точкой касания режущей кромки с обрабатываемой поверхностью детали. Эта вершина разделяет режущую кромку на главную и вспомогательную, а геометрическое место кинематических вершин на всех зубьях инструмента разделяют на заборную и калибрующую части. Эти инструменты совершают два движения подачи. Одно из них функционально связано с главным движением, задаваемым значением передаточного отношения станочной пары инструмент–деталь. В этом состоит недостаток схем обработки этими инструментами, являющийся одной из причин, ограничивающих оснащение их твердыми и сверхтвердыми материалами. В результате такой подачи точка касания вершины инструмента с боковой стороной обрабатываемого зуба колеса, перемещаясь по последней, воспроизводит на ней активную действующую линию, которая для левых инструментов носит дискретный характер, что и обуславливает появление огранки на обрабатываемых поверхностях зубьев. За счет движения второй подачи  $\Phi_1$  движения обрабатываемых поверхностей зубьев «самих по себе» (активная действующая линия), перемещаясь вдоль оси колеса, полностью воспроизводит боковые стороны его зубьев;

б) инструменты с линейным контактом инструмента и детали: зуборезные долбяки, гребенки, зубострогальные резцы, резцовые головки, обкаточные резцы, работающие по методу зуботочения. За исключением последних, все эти инструменты имеют полюсную ось профилирования, расположенную параллельно оси детали, вследствие чего их инструментальная поверхность имеет неизменяемую образующую и получаются регулярными, такими, которые могут перемещаться «сами по себе». Они совершают два движения подачи. Поскольку одно из движений подачи совпадает по направлению с главным движением резания, погрешности обработки получаются меньше по

сравнению с обработкой инструментами с точечным контактом. Однако из-за наличия обратных холостых ходов производительность обработки этими инструментами несколько снижается.

Если одно из движений подачи материализовать в конструкции инструмента, то получаются весьма высокопроизводительные специальные инструменты, работающие по методу зуботочения, имеющие только одно движение подачи, являющееся кинематическим винтом  $\Phi_1(p_1)$ , которым определяется обрабатываемая поверхность детали. При обработке некоторых колес и назначении соответствующих размеров инструмента отдельное движение подачи как таковое может вообще отсутствовать. Например, это имеет место при использовании облегчающих шеверов фирмы «SICMAT» (Италия), работающих по методу «короткого хода». Чаще всего эти инструменты являются многозубыми, работающими по методу непрерывного обката, каждый зуб которых, в отличие от червячных фрез, имеет непрерывное касание с обрабатываемой поверхностью детали в течение всего времени взаимодействия с заготовкой. Линейный контакт исходных поверхностей инструмента и детали, а также винтовое мгновенное их относительное движение предопределяют весьма высокую производительность обработки такими инструментами. К этой же группе относятся также червячные фрезы для нарезания червячных колес и др. Особенностью инструментов этой группы является непрерывно изменяющаяся в процессе взаимодействия линия контакта поверхности инструмента с поверхностью детали, что и определяет сложный нерегулярный характер контакта. Это, в свою очередь, обуславливает нетехнологичность конструкции инструмента, большую сложность его изготовления, чем и объясняется малое распространение таких инструментов в прошлом. Внедрение в инструментальное производство станков с ЧПУ, а также применение в обработке методов гибкого

кинематического формообразования создают благоприятные возможности для перспективного их использования.

С точки зрения общего характера образования поверхностей при их обработке все инструменты независимо от вида профилирования работают по методу огибания.

Геометрическое место осей мгновенного относительного движения инструмента и детали в системах, связанных с перемещающимися в процессе обработки инструментом и деталью, образуют начальные поверхности инструментов и детали – аксоиды. Характер взаимодействия аксоидов, заключающийся в определенном перемещении их друг по другу, характеризует собой понятие обката. Поскольку относительное движение инструмента и детали в общем случае является винтовым, то самым общим видом взаимодействия аксоидов является качение с одновременным скольжением их относительно общей образующей (например, для станочных пар типа червячные фрезы – обрабатываемые колеса и др.). В частном случае оно сводится к чистому качению (например, для пар зуборезные долбяки – нарезаемые колеса и др.) или к чистому скольжению. Схемы обработки, построенные на основе аксоидов качения и скольжения, обеспечивают непрерывность основных профилирующих движений как совмещенных с движением деления заготовки на зуб, являются вследствие этого более производительными, а следовательно, и более предпочтительными. Если перемещающийся относительно своей оси инструмент жестко связать с его аксоидом и сообщить последнему перемещение по аксоиду детали, то получим картину, характерную для любой обкаточной обработки. С этой точки зрения все зубообрабатывающие инструменты являются обкаточными. Только термин «обкат» следует понимать в более широком смысле – как взаимное качение аксоидов с одновременным проскальзыванием вокруг и вдоль их общей образующей. Поверхности аксоидов материально

не существуют, а как воображаемые они воспроизводятся кинематикой соответствующих механизмов станков. Обкаточное движение – всегда движение станочное, так как первоисточником движения является привод станка.

В сечениях аксоидов принятыми плоскостями являются центроиды обработки детали и инструмента. Использование их позволяет подвести единую методологическую основу под теорию профилирования самых различных зубообрабатывающих инструментов согласно приведенной выше систематике.

Вид инструмента, его конструктивные особенности, технико-экономические показатели, возможность правильной обработки им детали, особенно сложной формы, зависят от геометрической формы аксоидов обработки (центроид) и их размеров. Правильная обработка деталей этими инструментами и их высокая работоспособность возможны при выполнении следующих условий.

1. Оптимальные размеры аксоида детали являются такими, при которых нормали к обрабатываемой поверхности детали во всех ее точках являются лучами винтов  $\Phi_{отн}$ , оси которых – образующие аксоида детали. Лучом любого винта  $\Phi_{отн}(p)$  с параметром  $p$  принято считать любую прямую в пространстве, расстояние  $n$  и угол  $v$  между которой и осью винта  $\Phi_{отн}(p)$  удовлетворяет соотношению:  $p = n \operatorname{tg} v$ . При  $p_{отн} = 0$  нормали к поверхности детали должны пересекать аксоид или центроиду детали.

2. Нормали к поверхности детали пересекают центроиду в последовательном порядке. В противном случае применительно к зубчатым деталям со сложным профилем, состоящим из отдельных участков, при обработке возникает опасность образования переходных кривых в местах перехода от одного участка профиля к другому.

3. Из двух возможных точек пересечения нормали к поверхности детали с центроидой (аксоидом) для правильного

профилирования следует выбирать ту точку, которая соответствует точке нормали, наиболее удаленной от тела детали. В противном случае имеет место нереальное сопряжение инструмента и детали, когда инструмент касается внутренней, телесной стороны поверхности детали, что приводит к ее подрезанию.

При окончательном выборе размеров аксоидов или центроидов надо учитывать и другие, дополнительные условия.

1. Зубья инструмента для обеспечения их оптимальной стойкости должны иметь достаточную ширину площадки при вершине с учетом высоты, требуемой для обработки впадин зубьев детали на нужную глубину.

2. Размеры переходных кривых, образующиеся у основания профиля зубьев, не должны превышать значения, допустимого по условиям эксплуатации детали. С целью уменьшения размеров переходных кривых размеры центроидов обработки следует назначать по возможности меньшими и в каждом конкретном случае определять соответствующими расчетами (см. ниже).

3. Получение углов профиля зубьев инструмента (не менее  $8 \dots 10^\circ$ ) с целью обеспечения достаточных значений задних углов резания (что особенно важно для затылованных инструментов) и повышения их суммарной стойкости.

**Инструментальная (производственная) рейка.** Она играет такую же роль для инструментов, построенных на основе инструментальных колес, как и зубчатая рейка для цилиндрических колес, т.е. лежит в основе образования исходных инструментальных поверхностей и служит для определения основных размеров зубьев инструмента. По своему рабочему профилю обе эти рейки конгруэнтны.

**Определение профиля инструментальной косозубой рейки для зубчатых деталей с винтовыми зубьями произвольного профиля.** На рис. 8.2 представлена схема пространственного (точного) способа профилирования рейки для обработки

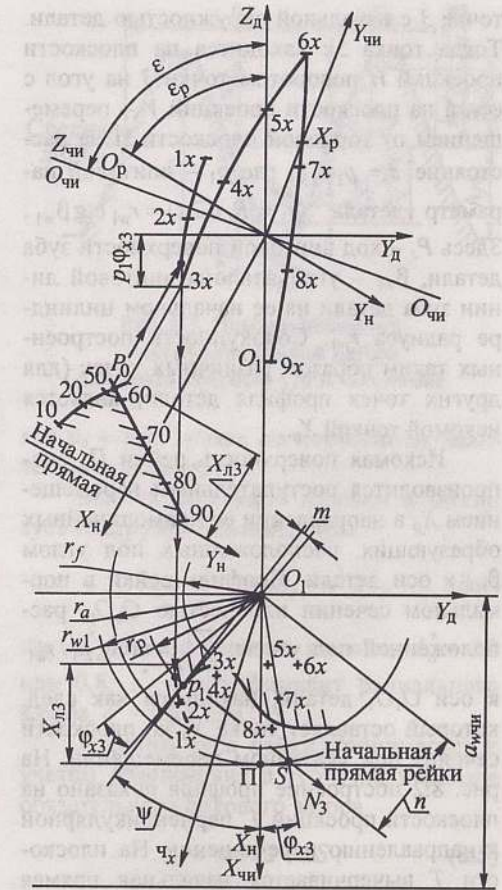


Рис. 8.2. Косозубая инструментальная рейка для деталей произвольного профиля

зубчатой детали с произвольным профилем 1...9 в торцовом сечении. Центроидой детали является окружность радиусом  $r_{w1} = O_1\Pi$ , центроидой рейки – прямая, проходящая касательно к окружности в полюсе  $\Pi$ . Определение линии касания рейки и детали, характеристики  $X_p$ , показано на примере нахождения ее для произвольной точки торцового профиля детали – точки 3. Винтовое перемещение точки 3, после которого она станет точкой 3x характеристики, определяется на плоскости проекций  $H$  углом поворота  $\phi_{x3} = \angle PO_1S$ , где  $S$  – точка пересечения нормали  $N_3$  к винтовой поверхности зуба в

точке 3 с начальной окружностью детали. Тогда точка 3х находится на плоскости проекций  $H$  поворотом точки 3 на угол  $\varphi_{x3}$ , а на плоскости проекций  $V$  – перемещением от торцевой плоскости  $\Pi$  на расстояние  $z = p_1 \varphi_{x3}$ , где  $p_1$  – винтовой параметр детали  $p_1 = P_z / (2\pi) = r_{w1} \operatorname{ctg} \beta_{w1}$ . Здесь  $P_z$  – ход винтовой поверхности зуба детали,  $\beta_{w1}$  – угол наклона винтовой линии зуба детали на ее начальном цилиндре радиуса  $r_{w1}$ . Совокупность построенных таким образом различных точек (для других точек профиля детали) является искомой точкой  $X_p$ .

Искомая поверхность рейки  $P_p$  воспроизводится поступательным перемещением  $X_p$  в направлении ее прямолинейных образующих, расположенных под углом  $\beta_{w1}$  к оси детали. Профиль рейки в нормальном сечении плоскостью  $O_p O_p$ , расположенной под углом  $\sum_p = \arctg p_1 / r_{w1}$

к оси  $O_1 O_1$  детали, находится как след, который оставляет точка  $X_p$  на плоскости сечения при указанном перемещении. На рис. 8.2 построение профиля показано на плоскости проекций  $T$ , перпендикулярной к направлению перемещения. На плоскости  $T$  вычерчивается начальная прямая параллельно линии  $O_p O_p$  на плоскости  $V$ . Через точки  $X_p$  на плоскости  $V$  проводятся прямые, перпендикулярные к линии  $O_p O_p$ , до пересечения их с начальной прямой на плоскости  $T$ . На этих прямых от точек их пересечения с начальной прямой откладывают отрезки, равные расстояниям соответствующих точек  $X_p$  до начальной прямой на плоскости  $H$  (например, отрезок  $X_{пз}$  для точки 3х). Геометрическое место концов этих отрезков и образует искомый профиль рейки. Аналитическое описание данного графического метода дает следующую расчетную методику профилирования.

Для упрощения решения задачи профилирования и получения его в обобщенном виде, пригодном для зубчатых деталей любых профилей (как эвольвентных,

так и неэвольвентных), целесообразно поверхность зубчатой детали задавать винтовым параметром  $p_1$  и системой обобщенных координат  $m, n, \psi$  точек профиля детали в торцовом сечении (см. рис. 8.2), означающими для каждой точки  $i$ :  $m$  – расстояние касательной к профилю от оси детали;  $n$  – расстояние нормали  $N_i$  к поверхности детали от оси детали;  $\psi$  – угол между положительными направлениями оси  $X_d$  и касательной к профилю. Знаки этих координат принимаются условно следующим образом. При обходе профиля в направлении от точки 1 к точке 9 вектор касательной направлен навстречу обхода. При этом  $m > 0$ , если центр  $O_1$  детали находится справа от касательной, и  $n > 0$ , если центр  $O_1$  располагается выше  $N_i$ .

В произвольной точке  $X_p$  угол между касательной к профилю зуба детали и осью  $X_d$  и угол между профильной нормалью и осью  $Y_d$  равны углу  $\varphi_i = \arccos n_i / r_{w1}$ . Тогда уравнения  $X_p$  в системе  $X_d Y_d Z_d$  (см. рис. 8.2) как суммы проекций отрезков  $m_i, n_i, p_i$  ( $\varphi_i - \psi_i$ ) на соответствующие оси принимают вид:

$$\left. \begin{aligned} X_d &= -m_i \sin \varphi_i + n_i \cos \varphi_i; \\ Y_d &= -m_i \cos \varphi_i - n_i \sin \varphi_i; \\ Z_d &= -p_i (\varphi_i - \psi_i). \end{aligned} \right\} (8.1)$$

Профиль рейки в нормальном сечении как ортогональная проекция  $X_p$  на нормальную плоскость (следом которой на плоскости  $W$  является линия  $O_p O_p$ , определяется в системе  $X_n Y_n Z_n$  уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} X_n &= -m_i \sin \varphi_i + n_i \cos \varphi_i - r_{w1}; \\ Y_n &= (-m_i \cos \varphi_i - n_i \sin \varphi_i) \sin \sum_p + \\ &+ p_i (\varphi_i - \psi_i) \cos \sum_p. \end{aligned} \right\} (8.2)$$

Зубья инструментальной рейки определяются размерами: торцовый шаг зубьев

$$p_{t0} = \frac{2\pi r_{w1}}{z_1}, \quad \text{нормальный шаг}$$

$$p_{nw0} = \frac{2\pi r_{w1}}{z_1} \cos \beta_w, \quad \text{торцовая толщина}$$

зубьев (по начальной прямой)  $S_{tw0} = p_{t0} - 2\psi r_{w1}$ ; нормальная толщина зубьев (по начальной плоскости)  $S_{mw0} = S_{tw0} \cos \beta_{w1}$ ; высота начальной головки зуба рейки без коррекции ее из условия получения переходных кривых указанных величин  $h_{a0} = h_{w1} = r_{w1} - r_{f1}$ ; высота начальной ножки зуба  $h_{wf0} = h_{wa1} + c$ . Здесь и далее  $z_1$  – число зубьев детали,  $2\psi$  – угловая толщина зуба детали по начальной окружности,  $h_{w1}$  – высота начальной ножки зуба детали,  $r_{f1}$  – радиус впадин зубьев колеса,  $h_{wa1}$  – высота начальной головки зуба детали,  $r_{a1}$  – радиус вершин зубьев детали,  $c$  – радиальный зазор между наружным цилиндром детали и прямой впадин рейки, принимаемый равным 1,5...3,0 мм при наличии заднего угла по дну канавок между зубьями рейки.

Размеры зубьев инструментов, обрабатывающих эвольвентные цилиндрические колеса, определяются параметрами исходной инструментальной рейки (рис. 8.3), элементы которой пропорциональны модулю, мм,

$$m = p_n / \pi, \quad (8.3)$$

8.1. Утолщение зуба инструментальной рейки и допуск на толщину зуба, мм

$m$	$\Delta S$	Допуск для класса точности		$m$	$\Delta S$	Допуск для класса точности	
		A	B			A	B
1...2	0,10	0,025	0,032	9...10	0,26	0,050	0,063
2,25...3,75	0,14	0,032	0,040	11...16	0,34	0,063	0,080
4,0...5,5	0,16	0,040	0,050	18	0,37	0,080	0,100
6	0,20	0,040	0,050	20	0,42	0,080	0,100
6,5...8	0,22	0,050	0,063	22...25	0,46	0,080	0,100

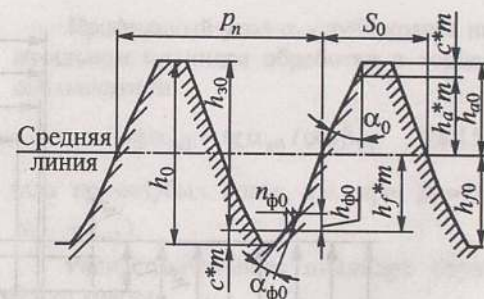


Рис. 8.3. Исходный контур инструментальной рейки для эвольвентных зубчатых колес

где  $p_n$  – шаг зубьев по нормали на делительном цилиндре.

Высота начальной головки и ножки зуба инструментальной рейки

$$h_{a0} = h_{f0} = (h_a^* + c^*)m, \quad (8.4)$$

где  $h_a^*$  – коэффициент высоты,  $h_a^* = 1,0$  или  $0,8$ ;  $c^*$  – коэффициент радиального зазора,  $c^* = 0,25$  или  $0,3$ .

Толщина зуба рейки принимается с учетом обеспечения в зубчатой передаче обязательного бокового зазора

$$S_0 = \pi m / 2 + \Delta S, \quad (8.5)$$

где  $\Delta S$  – утолщение зуба рейки (табл. 8.1).

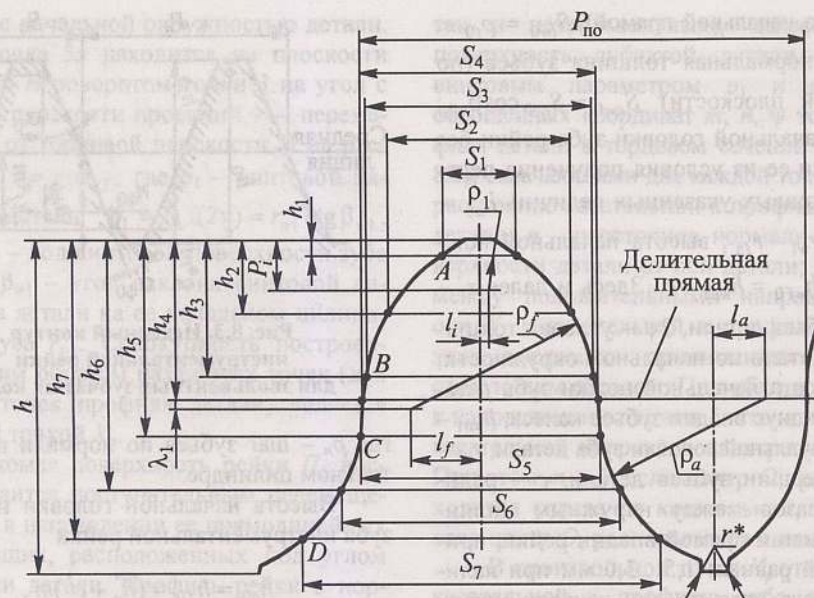


Рис. 8.4. Исходный контур инструментальной рейки для цилиндрических зубчатых колес зацепления Новикова

У инструментов для предварительной обработки высоту увеличивают примерно на  $0,1\sqrt{m}$  с целью разгрузки от работы вершин зубьев чистовых инструментов, а толщину зубьев уменьшают на величину припуска  $\Delta S_n$  под последующую обработку. Величина  $\Delta S_n$  принимается  $1,2\sqrt[3]{m_n} \operatorname{tg} \alpha$  – для чистового зубофрезерования или зубодолбления;  $0,5\sqrt[3]{m_n} \operatorname{tg} \alpha$  – для шлифования;  $0,035\sqrt[3]{m_n} \operatorname{tg} \alpha$  – для шевингования [4].

Размеры фланков инструментальной рейки  $n_{\phi 0}$ ,  $h_{\phi 0}$  и  $\alpha_{\phi 0}$  принимают в соответствии с размерами их у стандартной зубчатой рейки.

Профиль зубьев универсальных инструментов для обработки цилиндрических колес зацепления Новикова. Для колес Новикова с двумя линиями зацепления профиль зубьев определяется исходным контуром инструментальной рейки (см. рис. 8.4).

Инструментальная рейка отличается от зубчатой высотой головки, которая берется больше на размер радиального зазора в передаче, и толщиной зуба, принимаемой из условия обеспечения бокового зазора в передаче и припуска под последующую обработку зубчатых колес.

Профиль рейки принимается за профиль зубьев зубострогальных гребенок в проекции на торцовую плоскость заготовки, а также может быть принят за профиль зубьев червячных фрез в нормальном сечении, если к их точности не предъявляют повышенных требований. В других случаях он используется в качестве исходных данных для расчета профиля зубьев инструмента.

В машиностроении наибольшее распространение получили зубчатые передачи с эвольвентным зацеплением. При расчете инструментов для их изготовления необходимо знать геометрические параметры зубчатых колес и их зацепления.

**Геометрические параметры цилиндрических эвольвентных зубчатых колес и их зацепления.**

Торцовый модуль

$$m_{t1} = m_{n1} / \cos \beta_1 \text{ при } \beta_1 = 0, m_{t1} = m_{n1}. \quad (8.6)$$

Делительный диаметр

$$d_1 = m_{t1} z_1. \quad (8.7)$$

Профильный угол в торцовом сечении

$$\alpha_{t1} = \arctg(\operatorname{tg} \alpha_{n1} / \cos \beta_1). \quad (8.8)$$

Радиус основного цилиндра

$$r_{b1} = r_1 \cos \alpha_{t1} = d_1 / (2 \cos \alpha_{t1}). \quad (8.9)$$

Угол давления эвольвенты на цилиндре произвольного радиуса  $r_{11}$ :

$$\alpha_{11} = \arccos r_{b1} / r_{11}. \quad (8.10)$$

Угол развернутости эвольвенты зуба (см. рис. 8.10)

$$v = \operatorname{tg} \alpha. \quad (8.11)$$

Эвольвентный угол профиля зуба (см. рис. 8.10)

$$\operatorname{inv} \alpha = \operatorname{tg} \alpha - \alpha_{11}. \quad (8.12)$$

Угол  $\beta_{11}$  наклона зуба колеса на цилиндре произвольного радиуса  $r_{11}$ :

$$\operatorname{tg} \beta_{11} = r_{11} \operatorname{tg} \beta_1 / r_1. \quad (8.13)$$

Угол  $\beta_{w1}$  наклона зуба колеса с профильным углом  $\alpha_{n1}$  на начальном цилиндре при обработке инструментом с профильным углом  $\alpha_{n0}$  (в общем случае, когда  $r_{w1} \neq r_1$ ):

$$\sin \beta_{w1} = \sin \beta_1 \cos \alpha_{n1} / \cos \alpha_{n0}. \quad (8.14)$$

Профильный угол  $\alpha_{w1}$  зуба колеса на начальном цилиндре обработки в торцовой плоскости

$$\operatorname{tg} \alpha_{w1} = \operatorname{tg} \alpha_{n0} / \cos \beta_{w1} \quad (8.15)$$

(для прямозубых колес, т.е. при  $\beta_1 = 0$ ,  $\alpha_{w1} = \alpha_{n0}$ ).

Радиус начального цилиндра обработки колеса

$$r_{w1} = r_{b1} / \cos \alpha_{w1}. \quad (8.16)$$

Толщина зуба корригированного колеса в сечении, нормальном к винтовой линии на делительном цилиндре, при коэффициенте смещения исходного контура  $x$ :

$$S_{n1} = \frac{\pi m_{n1}}{2} - \Delta S + 2x m_{n1} \operatorname{tg} \alpha_{n1}. \quad (8.17)$$

Высота делительной головки зуба корригированного колеса

$$h_{a1k} = h_{a1} + xm = (h_a^* + x)m. \quad (8.18)$$

Высота делительной ножки зуба корригированного колеса

$$h_{f1k} = h_{f1} - xm = (h_{f1}^* + c^* - x)m. \quad (8.19)$$

Радиус окружности вершин зубьев

$$r_{a1} = r_1 + h_{a1k}. \quad (8.20)$$

Радиус окружности впадин зубьев

$$r_{f1} = r_1 + h_{f1k}. \quad (8.21)$$

Толщина зуба колеса в сечении, нормальном к винтовой линии зуба на начальном цилиндре:

$$S_{nw1} = 2r_{w1} \left( \frac{S_{n1}}{2r_1 \cos \beta_1} + \operatorname{inv} \alpha_{t1} - \operatorname{inv} \alpha_{w1} \right) \cos \beta_{w1}. \quad (8.22)$$

Угол зацепления корригированных колес

$$\operatorname{inv} \alpha_{w12} = \operatorname{inv} \alpha_t + 2 \frac{x_1 + x_2}{z_1 + z_2} \operatorname{tg} \alpha_t. \quad (8.23)$$

Если сопряженные колеса заданы окружными делительными толщинами их зубьев  $S_{11}$  и  $S_{12}$ , то

$$\text{inv} \alpha_{rw12} = \text{inv} \alpha_t + \frac{S_{11} + S_{12} - \pi m}{m(z_1 + z_2)} \quad (8.24)$$

При известном угле зацепления диаметры начальных окружностей

$$d_{w1} = mz_1 \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_{rw}}; \quad d_{w2} = mz_2 \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_{rw}} \quad (8.25)$$

а межцентровое расстояние

$$\alpha_{w12} = \frac{d_{w1} + d_{w2}}{2} = \frac{m(z_1 + z_2) \cos \alpha_t}{2 \cos \alpha_{rw}} \quad (8.26)$$

Приведенные формулы пригодны также и для расчета параметров колеса с  $z_2$ , сопряженного с обрабатываемым колесом, и для расчета зуборезных инструментов. При этом следует присваивать определяемым величинам, относящимся к парному колесу, индекс 2, к инструменту – индекс 0, а величинам, относящимся одновременно к обоим элементам рассматриваемой пары, соответственно индексы 12, 10, 20. Например, при определении параметров сопряжения пары зубчатая деталь–инструмент в последних формулах надо заменить параметры, характеризующие сопряженное колесо  $z_2$ , параметрами инструмента.

При проектировании зубообрабатывающих инструментов приходится решать задачи, связанные не только с обеспечением нужной точности обработки эвольвентных участков зубьев, но и с получением требуемых размеров других их участков: срезов на вершинах зубьев и соответствующих им флангов на зубьях инструментов, различного рода модификаций у ножек зубьев и соответствующих им профилей на вершинах зубьев инструмен-

тов и др. Это относится к инструментам с различными конструктивными и технологическими модификациями профиля зубьев. В связи с этим возникает необходимость в определении сопряженных участков профилей зубьев колес и инструментов.

**Определение сопряженных участков профилей зубьев эвольвентных колес и инструментов.** Размеры сопряженных участков для пары инструментальная рейка–колесо находятся из схемы зацепления этой пары в торцовом сечении (рис. 8.5), на которой показано П – полюс профилирования,  $A_1B_1$  – часть линии профилирования, соответствующая образованию эвольвентного профиля на зубе колеса,  $A_0B_0$  – участок зуба рейки высотой  $h_0^r + h_0^h$ , необходимый для обработки эвольвентного участка  $h_1^r + h_1^h$  зуба колеса, скругление  $h_0^3$  при вершине и утолщение высотой  $h_0^f$  у основания ножки зуба.

Эти участки должны быть сопряженными с соответствующими участками профиля зуба колеса. Эта схема характеризует общий случай, когда угол  $\alpha_{10}$  профиля рейки отличен от угла  $\alpha_{11}$  профиля нарезаемого колеса, при этом радиус начального цилиндра обработки колеса  $r_{w1} = r_1 \frac{\cos \alpha_{11}}{\cos \alpha_{10}}$ .

Исходя из геометрических соотношений (см. рис. 8.5), размеры сопряженных участков определяются следующими зависимостями:

$$h_0^h = \sin \alpha_{10} \times \sqrt{r_{w1}^2 \sin^2 \alpha_{10} + 2r_{w1}h_1^r + (h_1^r)^2} - r_{w1} \sin \alpha_{10}; \quad (8.27)$$

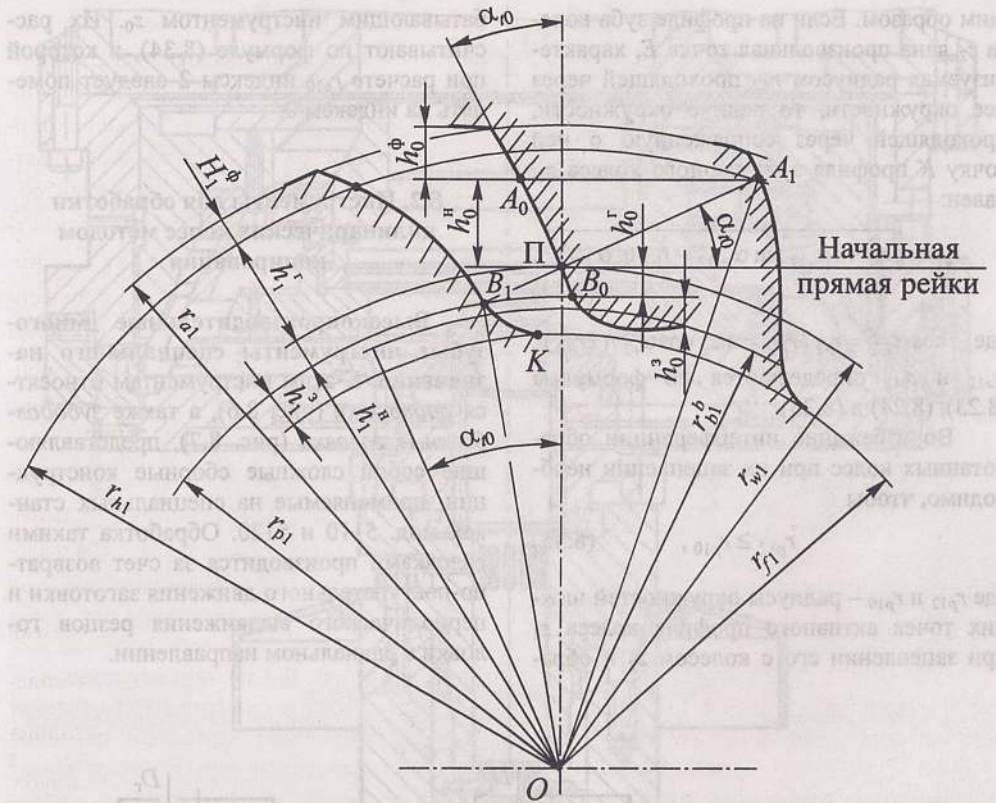


Рис. 8.5. Схема зацепления инструментальной рейки с эвольвентным колесом

$$h_0^f = \sin \alpha_{10} \times \left[ r_{w1} \sin \alpha_{10} - \sqrt{r_{w1}^2 \sin^2 \alpha_{10} - 2r_{w1}h_1^h + (h_1^h)^2} \right], \quad h_{н.кр} = h_{f1} - h_1^h. \quad (8.31)$$

Радиусы окружностей, проходящих через верхние и нижние точки активных профилей зубьев колеса, равны

$$r_{h1} = r_{w1} + h_1^r = \sqrt{r_{w1}^2 + 2r_{w1}h_0^h + (h_0^h)^2} \cos^2 \alpha_{10}; \quad (8.32)$$

$$r_{p1} = r_{w1} + h_1^h = \sqrt{r_{w1}^2 + 2r_{w1}h_0^f + (h_0^f)^2} \cos^2 \alpha_{10}. \quad (8.33)$$

Для пары колес сопряженные участки профилей их зубьев находятся через соответствующие им сопряженные точки профиля, которые определяют следующие



щим образом. Если на профиле зуба колеса  $z_2$  дана произвольная точка  $E$ , характеризуемая радиусом  $r_{E2}$  проходящей через нее окружности, то радиус окружности, проходящей через сопряженную с ней точку  $K$  профиля зуба парного колеса  $z_1$ , равен:

$$r_{k1} = \sqrt{r_{b1}^2 + (a_{w12} \sin \alpha_{w12} - r_{b2} \operatorname{tg} \alpha_{E2})^2}, \quad (8.34)$$

где  $\cos \alpha_{E2} = r_{b2} / r_{E2} = m z_2 \cos \alpha_{t2} / (2 r_{E2})$ ;  $a_{w12}$  и  $a_{t2}$  определяются по формулам (8.23), (8.24) и (8.26).

Во избежание интерференции обработанных колес при их зацеплении необходимо, чтобы

$$r_{p12} \geq r_{p10}, \quad (8.35)$$

где  $r_{p12}$  и  $r_{p10}$  — радиусы окружностей нижних точек активного профиля колеса  $z_1$  при зацеплении его с колесом  $z_2$  и обра-

батываемым инструментом  $z_0$ . Их рассчитывают по формуле (8.34), в которой при расчете  $r_{p10}$  индексы 2 следует поменять на индексы 0.

## 8.2. Инструменты для обработки цилиндрических колес методом копирования

**Высокопроизводительные многозубые инструменты специального назначения.** К этим инструментам относятся *протяжки* (рис. 8.6), а также *зубодолбежные головки* (рис. 8.7), представляющие собой сложные сборные конструкции, применяемые на специальных станках мод. 5110 и 5120. Обработка такими головками производится за счет возвратно-поступательного движения заготовки и периодического выдвижения резцов головки в радиальном направлении.

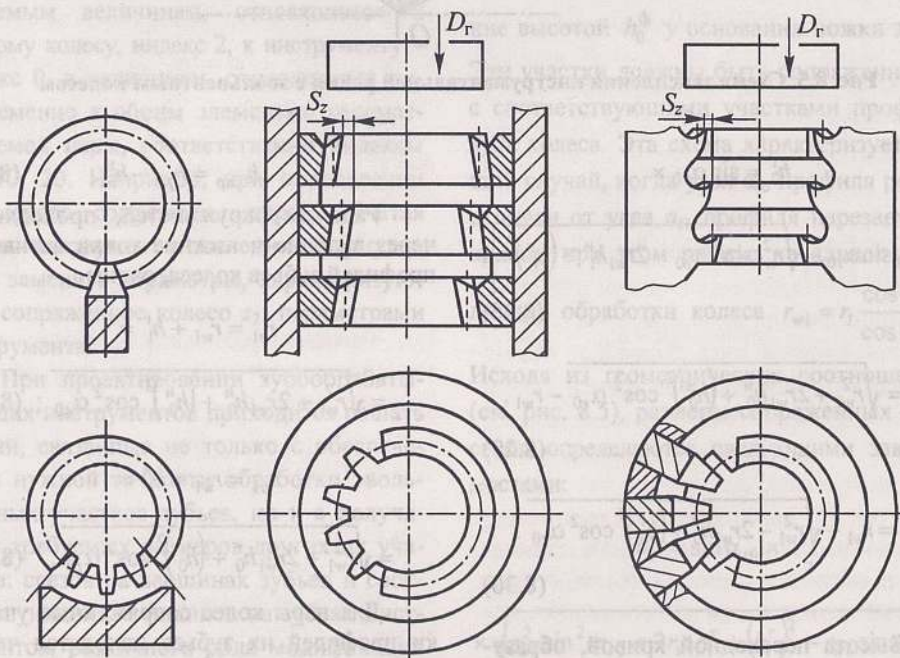


Рис. 8.6. Протяжки для зубчатых колес

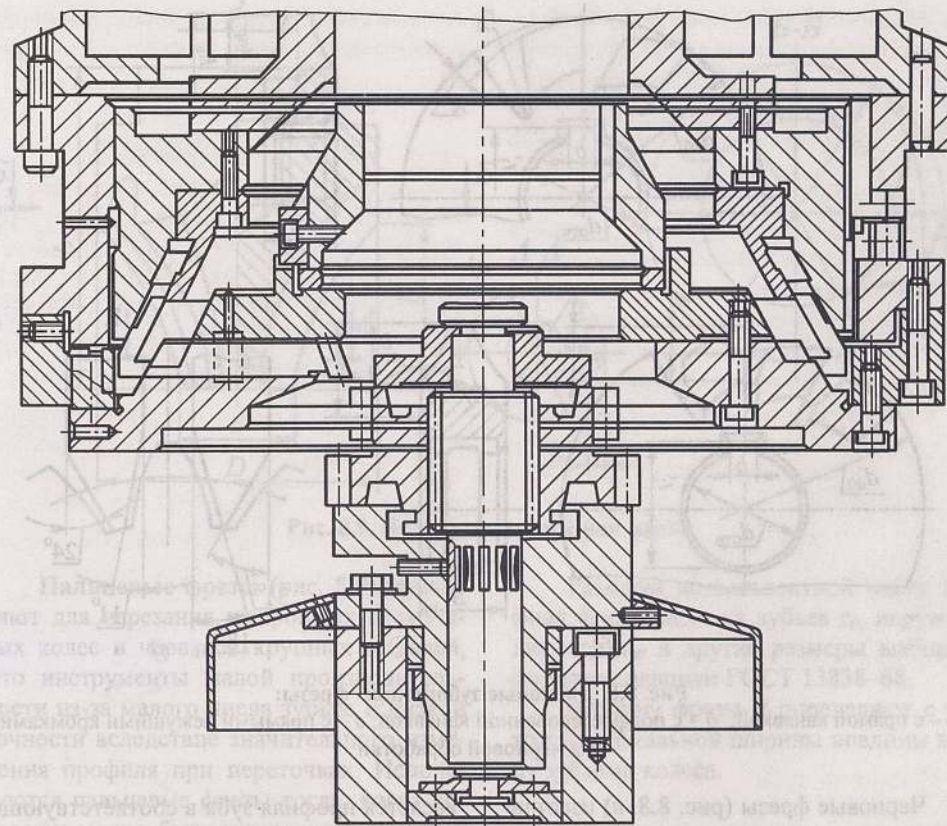


Рис. 8.7. Зубодолбежная головка

**Дисковые фрезы** (рис. 8.8) применяют для нарезания колес с прямыми, косыми и шевронными зубьями (при наличии канавки между зубчатыми венцами на ободе для выхода фрезы) 9-й (и грубее) степени точности. Иногда их используют для предварительного нарезания прямозубых конических колес. В производстве эвольвентных колес применяются следующие типы дисковых фрез.

**Стандартные фрезы** изготавливают комплектами, состоящими из восьми фрез (для нарезания колес с модулем до 8 мм включительно) и 15 фрез (для колес с модулем свыше 8 мм). Они применяются для обработки колес с  $z_1 = 12 - \infty$ . Каждая фреза комплекта предназначена для наре-

зания колес в определенном диапазоне  $z_1$  (табл. 8.2). Эти фрезы применяют в основном в единичном производстве. Зубья фрез, изготовленных из легированных инструментальных сталей, после термообработки не шлифуют по профилю, и поэтому из-за наличия обезуглероженного слоя их изготавливать из быстрорежущей стали нельзя.

Специальные чистовые фрезы изготавливают с профилем зубьев, полностью соответствующим профилю впадин обрабатываемого колеса. В целях повышения стойкости и производительности эти фрезы в отличие от стандартных проектируют с увеличенным наружным диаметром и числом зубьев.

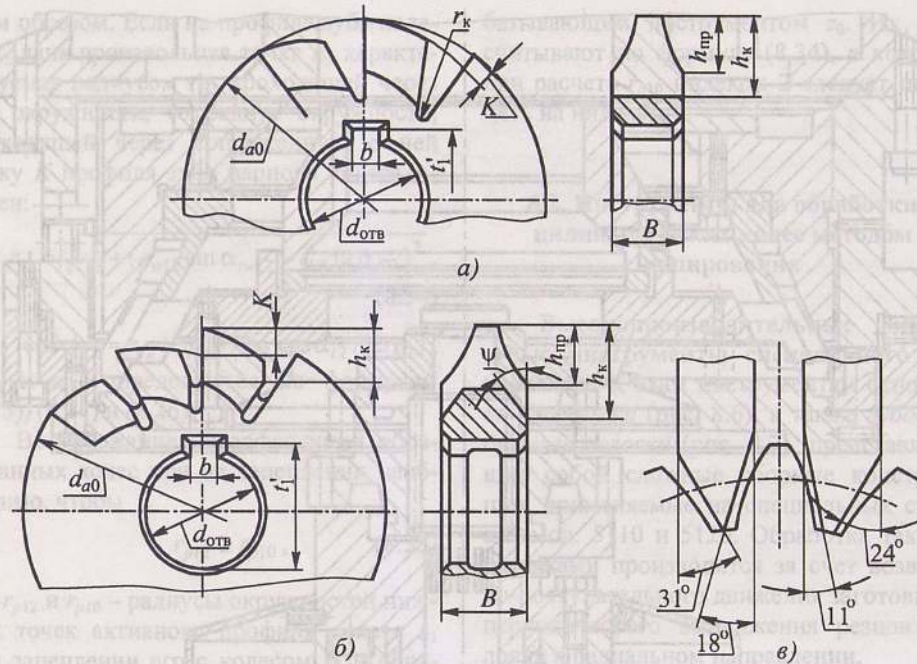


Рис. 8.8. Дисковые зуборезные фрезы:

*a* – с прямой канавкой; *б* – с подфрезерованной канавкой; *в* – с прямыми режущими кромками для черновой обработки

Черновые фрезы (рис. 8.8, *в*) изготавливают с прямолинейным профилем режущих кромок с оптимальным углом профиля, что обеспечивает повышение их стойкости. Для повышения производительности предварительную обработку производят иногда набором черновых фрез из нескольких штук. Каждая из фрез

касается профиля зуба в соответствующей впадине между зубьями нарезаемого колеса. Поэтому каждая боковая сторона зуба колеса получается как образованная несколькими положениями режущих кромок фрез. После прохода впадин набором фрез нарезаемое колесо поворачивается на зуб.

### 8.2. Номера фрез и число зубьев обрабатываемых ими колес

Номер фрезы	Число фрез в комплекте		Номер фрезы	Число фрез в комплекте	
	8	15		8	15
1	12; 13	12	5	26–34	26–29
1,5	–	13	5,5	–	30–34
2	14–16	14	6	35–54	35–41
2,5	–	15; 16	6,5	–	42–54
3	17–20	17; 18	7	55–134	55–79
3,5	–	19; 20	7,5	–	80–134
4	21–25	21; 22	8	135	135–∞
4,5	–	23–25			

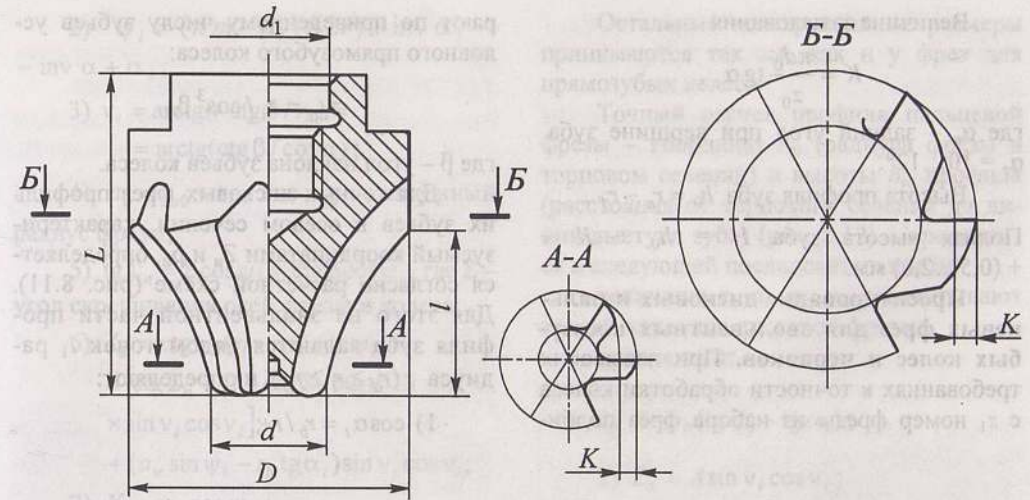


Рис. 8.9. Пальцевая зуборезная фреза

Пальцевые фрезы (рис. 8.9) применяют для нарезания шевронных и зубчатых колес и червяков крупных моделей. Это инструменты малой производительности из-за малого числа зубьев и низкой точности вследствие значительного изменения профиля при переточках. Используются пальцевые фрезы тогда, когда колесо не может быть изготовлено другими инструментами.

Проектирование инструментов для эвольвентных прямозубых колес. Расчет координат точек эвольвентной части профиля производится согласно схеме (рис. 8.10). Для этого задаются рядом точек (от 6 до 25 в зависимости от требуемой точности профилирования) на эвольвентном профиле зуба колеса, определяемых радиусами  $r_i$ , а затем определяют: 1)  $\cos \alpha_i = r_b / r_i$ ; 2)  $e_i = \pi m - S_i$ ; 3)  $\psi_i = e_i / (2r) - \text{inv } \alpha + \text{inv } \alpha_i$ ; 4)  $x_i = r_i \sin \psi_i$ ; 5)  $y_i = r_i \cos \psi_i$ .

Неэвольвентный участок профиля инструмента при  $z_1 < 17$  оформляют по прямой, касательной к удлиненной эвольвенте, описываемой вершиной рейки при зацеплении с колесом. Эта прямая наклонена к оси симметрии впадины зубьев под углом  $5^\circ$ .

Размеры неэвольвентной части профиля фрез, число их зубьев  $z_0$ , наружный диаметр  $d_{a0}$  и другие размеры выбирают по рекомендациям ГОСТ 13838–68.

Ширину фрезы  $B$  определяют с учетом максимальной ширины впадины между зубьями колеса.

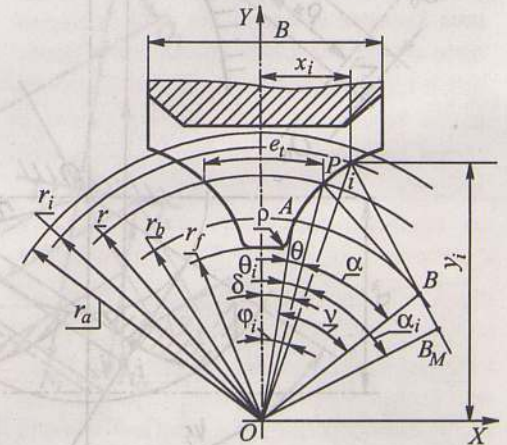


Рис. 8.10. Схема для расчета профиля дисковых и пальцевых фрез для нарезания эвольвентных прямозубых колес (здесь  $\phi_i = \psi_i$ )

Величина затылования

$$K = \frac{\pi d_0}{z_0} \operatorname{tg} \alpha_n,$$

где  $\alpha_n$  – задний угол при вершине зуба,  $\alpha_n = 10 \dots 12^\circ$ .

Высота профиля зуба  $h_0 = r_a - r_f$ .

Полная высота зуба  $H = h_0 + K + (0,5 \dots 2,0)$  мм.

**Проектирование дисковых и пальцевых фрез для эвольвентных косозубых колес и червяков.** При невысоких требованиях к точности обработки колеса с  $z_1$  номер фрезы из набора фрез подби-

рают по приведенному числу зубьев условного прямозубого колеса:

$$z_{\text{пр}} = z_1 / \cos^3 \beta,$$

где  $\beta$  – угол наклона зубьев колеса.

Для точных дисковых фрез профиль их зубьев в осевом сечении, характеризуемый координатами  $Z_n$  и  $\rho_n$ , определяется согласно расчетной схеме (рис. 8.11). Для этого на эвольвентной части профиля зуба задаются рядом точек  $i_1$  радиуса  $r_i$  ( $r_a \geq r_i \geq r_p$ ) и определяют:

$$1) \cos \alpha_i = r_b / r_i;$$

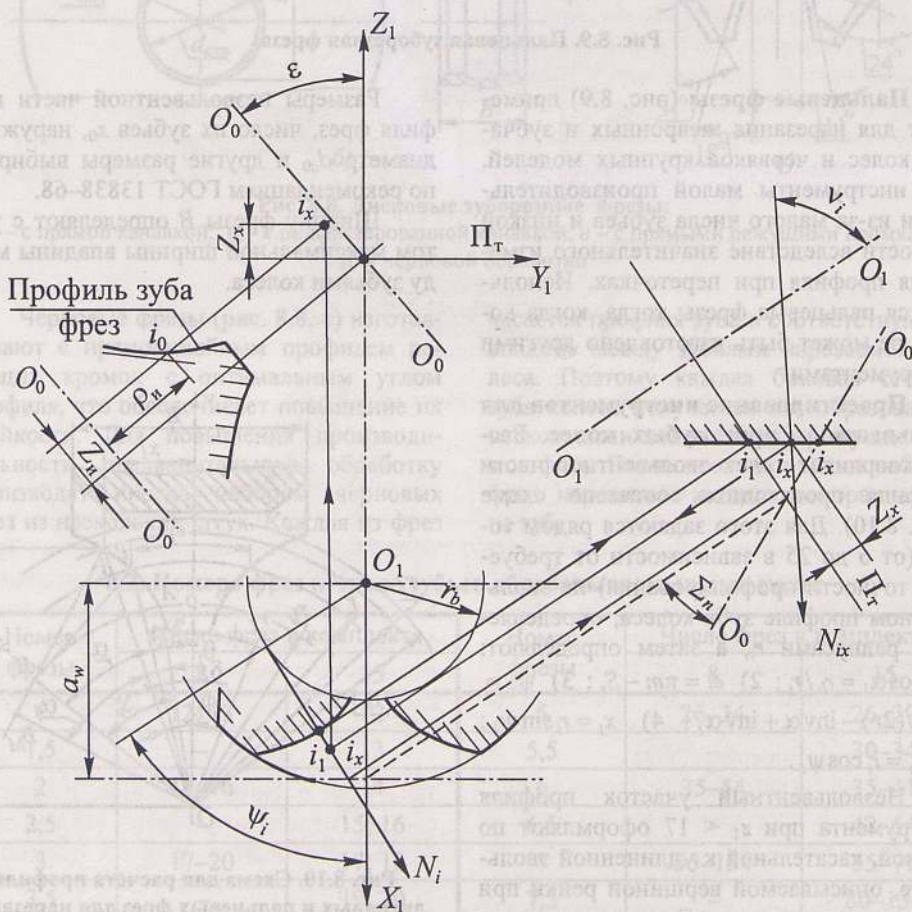


Рис. 8.11. Схема для расчета профиля дискового инструмента для нарезания косозубых колес и эвольвентных червяков

$$2) \psi_i = (\pi m - S_i) / (2r) + \operatorname{inv} \alpha_i - \operatorname{inv} \alpha + \alpha_i;$$

$$3) v_i = \operatorname{arctg}(r \operatorname{ctg} \beta / r_b) = \operatorname{arctg}(\operatorname{ctg} \beta / \cos \alpha);$$

$$4) a_w = r_{a0} + r_f, \text{ где } r_{a0} - \text{наружный радиус фрезы};$$

$$5) \operatorname{tg} \Sigma_n = \Sigma \cos \psi_i = \operatorname{ctg} \beta \cos \psi_i, \text{ где } \Sigma - \text{угол скрещивания осей фрезы и колеса};$$

$$6) Z_x = \operatorname{ctg} \psi_i (r_b - a_w \cos \psi_i) \times \\ \times [\operatorname{ctg} \Sigma_n - (1 + \operatorname{ctg} \Sigma_n \operatorname{ctg} v_i) \times \\ \times \sin v_i \cos v_i] + \\ + (a_w \sin \psi_i - r_b \operatorname{tg} \alpha_i) \sin v_i \cos v_i;$$

$$7) X_x = r_b \cos \psi_i + \\ + (r_b \operatorname{tg} \alpha_i + Z_x \operatorname{tg} v_i) \sin \psi_i;$$

$$8) Y_x = (r_b \operatorname{tg} \alpha_i + Z_x \operatorname{tg} v_i) \cos \psi_i - \\ - r_b \sin \psi_i;$$

$$9) Z_n = Y_x \sin \Sigma - Z_x \cos \Sigma;$$

$$10) \rho_n = \sqrt{(a_w - X_x)^2 + (Y_x \cos \Sigma + Z_x \sin \Sigma)^2}.$$

Остальные конструктивные размеры принимаются так же, как и у фрез для прямозубых колес.

Точный расчет профиля пальцевой фрезы – координат  $r_{i0}$  (радиуса фрезы в торцовом сечении) и высоты  $h_{i0}$  профиля (расстояния от торцового сечения до линии выступа зуба) (рис. 8.12) – проводится в следующей последовательности:

величины  $r_i$ ,  $\alpha_i$ ,  $\psi_i$ ,  $v_i$ , рассчитывают так же, как и для дисковой фрезы; определяют:

$$1) A = r_b (\operatorname{tg} \psi_i - \operatorname{tg} \alpha_i);$$

$$2) Z_x = A \sin v_i \cos v_i;$$

$$3) Y_x = -A \sin^2 v_i \cos \psi_i;$$

$$4) r_{i0} = \sqrt{Z_x^2 + Y_x^2} = \\ = A \sin v_i \sqrt{\cos^2 v_i + \sin^2 v_i \cos^2 \psi_i};$$

$$5) h_{i0} = r_b \cos \psi_i - A \sin v_i \sin \psi_i - r_f.$$

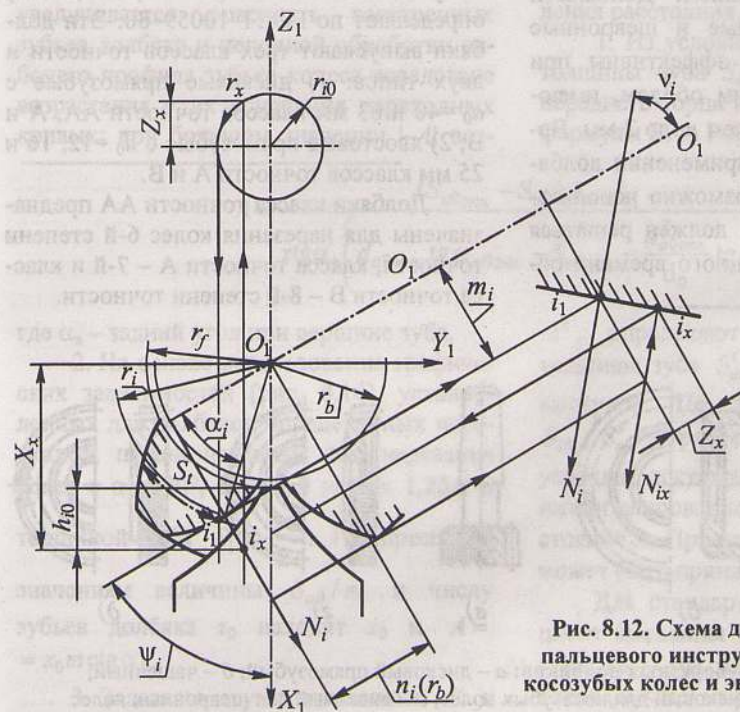


Рис. 8.12. Схема для расчета профиля пальцевого инструмента для нарезания косозубых колес и эвольвентных червяков

Число зубьев фрез  $z_0 = 4$  при  $d_{a0} = 40 \dots 70$  мм,  $z_0 = 6$  при  $d_{a0} = 75 \dots 140$  мм,  $z_0 = 8$  при  $d_{a0} = 160 \dots 220$  мм.

Угол профиля основной стружечной канавки принимают равным  $60 \dots 70^\circ$ , радиус скругления основания  $1 \dots 2$  мм; угол профиля канавки на торце  $18 \dots 20^\circ$ , радиус скругления  $0,5 \dots 1,0$  мм.

### 8.3. Зуборезные долбяки

В основу конструкций долбяков положено цилиндрическое инструментальное колесо с непрерывно изменяющейся высотной коррекцией его зубьев от одного торцового сечения к другому, что необходимо для создания на нем задних углов. В подавляющем большинстве случаев ось долбяка располагается параллельно оси нарезаемого колеса. Долбяки применяют для нарезания колес с прямыми и винтовыми зубьями, с внешним и внутренним их расположением. Долбяками можно нарезать блочные и шевронные колеса. Они особенно эффективны при обработке колес с узким ободом, имеющих большое  $z_1$  с модулем  $m$  до 2 мм. Вопрос о рациональном применении долбяков в случаях, когда возможно использование червячных фрез, должен решаться путем сравнения машинного времени обработки.

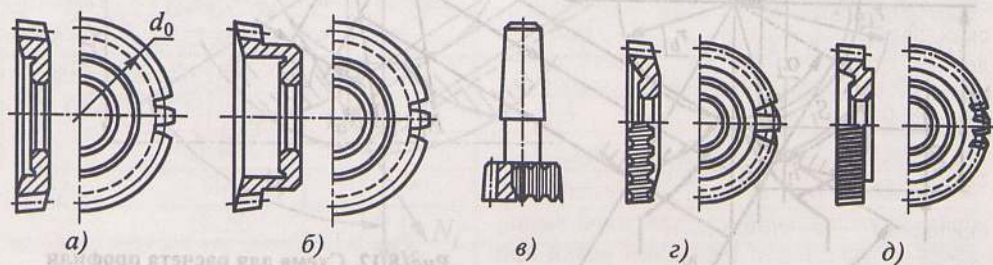


Рис. 8.13. Типы зуборезных долбяков: а – дисковый прямозубый; б – чашечный; в – хвостовой; г – дисковый для косозубых колес; д – дисковый для шевронных колес

Для эвольвентных колес зуборезные долбяки (ГОСТ 9323–79) выпускают трех классов точности и следующих типов.

1. Дисковые прямозубые классов точности АА, А и В для нарезания колес, главным образом, с наружными зубьями, с номинальными делительными диаметрами  $d_0 = 80, 100, 125, 160$  и  $200$  мм и  $m = 1 \dots 12$  мм (рис. 8.13, а).

2. Чашечные прямозубые классов точности АА, А и В с  $d_0 = 80, 100$  и  $125$  мм и  $m = 1 \dots 9$  мм (рис. 8.13, б), классов точности А и В с  $d_0 = 50$  мм.

3. Хвостовые прямозубые классов точности А и В с  $d_0 = 25$  и  $38$  мм,  $m = 1 \dots 4$  мм (рис. 8.13, в) и косозубые классов точности В с  $d_0 = 38$  мм, углами наклона зубьев  $15$  и  $23^\circ$  и  $m = 1 \dots 4$  мм, применяемые для колес внутреннего зацепления.

4. Дисковые косозубые классов точности А и В с номинальным диаметром до  $100$  мм (для косозубых колес) с углами наклона зубьев  $\beta_0 = 15$  и  $23^\circ$  (рис. 8.13, г).

Конструктивные параметры мелко-модульных долбяков ( $m = 0,1 \dots 0,9$  мм) определяют по ГОСТ 10059–80. Эти долбяки выпускают трех классов точности и двух типов: 1) дисковые прямозубые с  $d_0 = 40$  и  $63$  мм классов точности АА, А и В; 2) хвостовые прямозубые с  $d_0 = 12, 16$  и  $25$  мм классов точности А и В.

Долбяки класса точности АА предназначены для нарезания колес 6-й степени точности, класса точности А – 7-й и класса точности В – 8-й степени точности.

Долбяки изготавливают из быстрорежущих сталей и режущих из твердых сплавов.

Для получения задних углов на боковых режущих кромках долбяк выполняется как производящее зубчатое колесо с непрерывно изменяющейся высотной коррекцией зубьев по их длине. Поэтому диаметральные размеры венца долбяка и размеры зубьев меняются по длине зуба. В плоскости переднего торца обычно коэффициент смещения  $x_0 > 0$  и уменьшается к заднему торцу долбяка. Сечение, в котором  $x_0 = 0$ , называется исходным, а расстояние  $A$  от него до плоскости переднего торца называется смещением исходного сечения:  $A = x_0 m \operatorname{ctg} \alpha_b$ , где  $\alpha_b$  – задний угол на вершине зуба долбяка.

Размер  $|+A| + |-A|$  определяет число возможных переточек долбяка. В целях повышения срока его службы целесообразно назначать составляющие этого размера возможно большими с учетом следующих ограничений: при большем  $|+A|$  увеличивается опасность заостренных зубьев долбяка и неполной обработки рабочего профиля зубьев колеса вследствие возрастания у их основания переходных кривых; при большом значении  $|-A|$  воз-

никает опасность подрезания профиля зубьев колеса у их головок и ножек.

Исходными данными для проектного и контрольного расчета долбяков являются параметры зубодолбежного станка и пары сопряженных колес: профильный угол  $\alpha_n$ , модуль нормальный  $m_n$ , число зубьев  $z_1$  и  $z_2$ , угол  $\beta$  наклона зубьев, коэффициенты смещения исходного контура  $x_1$  и  $x_2$ , толщины зубьев по нормали на делительных цилиндрах  $S_{n1}$  и  $S_{n2}$ , диаметры вершин зубьев  $d_{a1}$  и  $d_{a2}$ , диаметры впадин зубьев  $d_{f1}$  и  $d_{f2}$ , межосевое расстояние в передаче.

При проектировании долбяков их конструктивные размеры (число зубьев, номинальный делительный диаметр, углы резания) являются обычно исходными (задаваемыми) данными. Поэтому при использовании различных методик расчет долбяков в основном заключается в определении значений исходных расстояний  $A$ , оптимальных для принимаемых условий обработки.

Имеется несколько способов определения расстояния  $A$ .

1. Из условия обеспечения заданной толщины зуба  $S_{a0}$  долбяка в плоскости переднего торца на основе использования формулы В.Ф. Романова:

$$A = \frac{(S_{a0\text{исх}} - S_{a0})d_{a0\text{исх}}}{z \operatorname{tg} \alpha_b \left( d_{a0\text{исх}} \operatorname{tg} \alpha_{a0\text{исх}} - S_{a0\text{исх}} - \frac{d_{a0\text{исх}}^2 \operatorname{tg} \alpha}{d_0} \right)}, \quad (8.36)$$

где  $\alpha_b$  – задний угол при вершине зуба.

2. На основе использования графических зависимостей (рис. 8.14), установленных для долбяков определенных параметров, предназначенных для нарезания колес с  $\alpha = 20^\circ$ , высотой ножки  $1,25m$  и толщиной зуба  $S_1 = \frac{\pi m}{2}$ . По принятым значениям величины  $S_{a0}/m$  и числу зубьев долбяка  $z_0$  находят  $x_0$  и  $A = x_0 m \operatorname{ctg} \alpha_b$ .

3. Задаваясь двумя значениями  $A'$  и

$A''$ , определяют соответствующие им толщины зуба  $S'_{a0}$  и  $S''_{a0}$  на окружности выступов. По полученным значениям  $S'_{a0}$ ,  $S''_{a0}$  и требуемой толщине зуба  $S_{a0}$  по условию достаточной стойкости долбяка интерполированием находят искомое расстояние  $A$ . При этом зависимость  $S_{a0}$  от  $A$  может быть принята прямолинейной.

Для стандартных долбяков коэффициент смещения исходного контура  $x_0 = 0,01(z_0 - 10)$ , для мелко-модульных долбяков ( $m < 0,9$  мм)  $x_0 = 0,3$ .

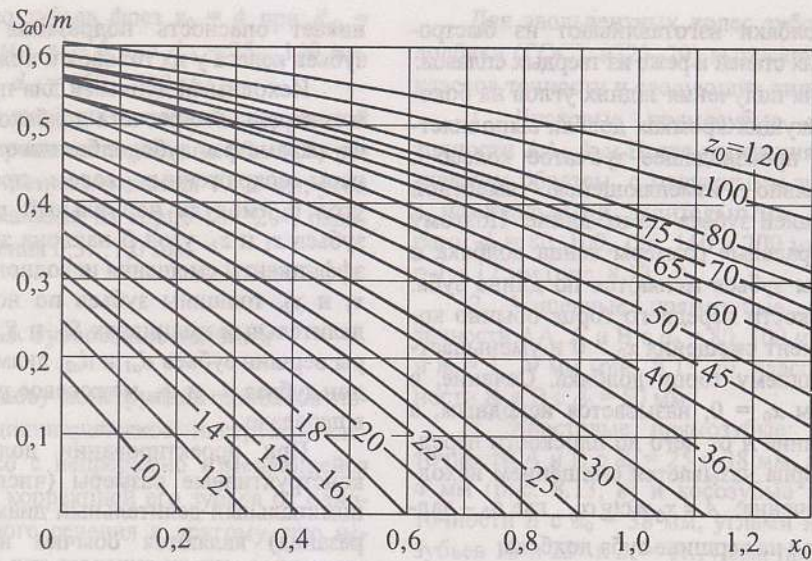


Рис. 8.14. Зависимость коэффициента смещения от ширины площадки при вершине зуба долбяка

Проектный расчет прямозубых долбяков для нарезания заданной пары сопряженных колес с внешним зацеплением. Число зубьев долбяка  $z_0 = d'_0 / m$ , где номинальный делительный диаметр

$d'_0$  выбирается из имеющегося нормированного ряда в зависимости от модели зубодолбежного станка (табл. 8.3). Расчетное число округляется до ближайшего целого  $z_0$ , и по нему определяется диаметр делительной окружности долбяка  $d_0 = mz_0$ .

### 8.3. Основные параметры зубодолбежных станков, мм

Параметр	Модели станков							
	5111	5A12, 5B12, 5M12	5121, 5122, 5122B	5122Б	514, 5M14	5140, 5140Б	5150, 5A150, 5B150, 5M150	5161, 5M161, 5B161, 5B161
Наибольший модуль нарезаемого колеса	1	4	5	4,5	6	8	12	12
Наибольший диаметр заготовки	80	208	200	200	500	500	800	1250
Наибольшая ширина венца зубчатого колеса	20	50	50	30	105	100	160	160
Делительный диаметр долбяка	40	80	100	100	100	100	200	200
Диаметр посадочного отверстия долбяка	—	31,75	44,45	44,45	44,45	44,5	101,6	101,6

Определяют размеры долбяка в исходном сечении, характеризуемом значением  $A = 0$ :

– высота головки  $h_{a0исх}$  и ножки  $h_{f0исх}$  зуба рассчитываются по формуле (8.4);

– диаметры окружностей выступов и впадин

$$d_{a0исх} = d_0 + 2h_{a0исх};$$

$$d_{f0исх} = d_0 - 2h_{f0исх};$$

– толщина зуба по дуге делительной окружности

$$S_{0исх} = \pi m - S_1;$$

– угол давления эвольвенты на головке зуба

$$\cos \alpha_{0исх} = d_{h0} / d_{a0исх} = d_0 \cos \alpha / d_{a0исх};$$

– толщина зуба на окружности выступов

$$S_{0исх} = d_{a0исх} \left( \frac{S_{0исх}}{d_0} + \text{inv} \alpha - \text{inv} \alpha_{0исх} \right).$$

Минимально допустимая по условию стойкости ширина головки зуба нового долбяка

$$S_{a0} = 0,51 \sqrt{m}.$$

Расстояние  $A$  смещения исходного сечения определяют способами, указанными выше, например на основании зависимости (8.36).

Делают проверку отсутствия интерференции зубчатых колес  $z_1$  и  $z_2$ , нарезанных спроектированным долбяком, по условию

$$\begin{aligned} a_{w12} \sin \alpha_{rw12} - r_{b2} \text{tg} \alpha_{a2} &\geq \\ &\geq a_{w10} \sin \alpha_{rw10} - r_{b0} \text{tg} \alpha_{a0}. \end{aligned} \quad (8.37)$$

Входящие в эти формулы параметры  $\alpha_{rw}$ ,  $a_w$ ,  $\alpha_a$  рассчитывают соответственно по формулам (8.24), (8.26) и (8.10) с соответствующей заменой в них индексов, причем параметры, относящиеся к паре колес  $z_1$  – долбяк  $z_0$ , рассчитывают из условия зацепления колеса с долбяком в плоскости его переднего торца.

При невыполнении этого условия произойдет интерференция траектории вершины зуба колеса  $z_2$  с переходной кривой, образованной у ножки зуба нарезанного парного колеса  $z_1$ . Во избежание этого следует или увеличить число  $z_0$  зубьев долбяка, если это допустимо по условию выбора другого значения делительного диаметра долбяка, или уменьшить коррекцию зубьев долбяка, т.е. принять уменьшенную величину  $A_{ум}$ .

Окончательно принимаемое при проектировании долбяка исходное расстояние  $A = A_{ум}$ , если  $A_{ум} < 0,5H$  и  $A = 0,5H$ , если  $A_{ум} \geq 0,5H$ , где  $H$  – высота долбяка по стандарту (при выполнении условия (8.37) в последних формулах  $A_{ум} = A_{расч}$ ).

Рассчитывают размеры долбяка в плоскости его переднего торца:

$$h_{a0} = h_{a0исх} + A \text{tg} \alpha_b;$$

$$h_{f0} = h_{f0исх} + A \text{tg} \alpha_b;$$

$$d_{a0} = d_{a0исх} + 2A \text{tg} \alpha_b;$$

$$d_{f0} = d_{f0исх} + 2A \text{tg} \alpha_b;$$

$$S_0 = S_{0исх} + 2A \text{tg} \alpha \text{tg} \alpha_b,$$

где  $\alpha_b$  – задний угол при вершине зуба, обычно  $\alpha_b = 6^\circ$ .

Высота головки зуба по передней поверхности

$$h'_{a0} = h_{a0} / \cos \gamma,$$

где  $\gamma$  – передний угол,  $\gamma = 5^\circ$  – для чистовых долбяков,  $\gamma = 10^\circ$  – для черновых долбяков.

Для уменьшения искажений профиля режущих кромок долбяка от наличия углов  $\alpha$  и  $\gamma$  корректируют профильный угол  $\alpha_0$  долбяка по формуле:

$$\text{tg} \alpha_0 = \frac{\text{tg} \alpha}{1 - \text{tg} \alpha_b \text{tg} \gamma_b}. \quad (8.38)$$

Знание значения угла  $\alpha_0$  необходимо для изготовления долбяка, так как  $\alpha_0$  принимается и в качестве профильного угла инструментальной рейки для образования зубьев долбяка.

Фактический диаметр  $d_{b0}$  основного цилиндра долбяка:

$$d_{b0} = mz_0 \cos \alpha_0.$$

#### Контрольный расчет долбяков.

Этот расчет применяется для проверки возможности использования долбяков для нарезания пары колес с заданными параметрами. Для стандартных долбяков он заключается в следующем (в приведенных ниже формулах верхние знаки относятся к внешнему зацеплению, а нижние – к внутреннему, для прямозубых колес надо принимать  $\beta = 0$ ,  $m_f = m$ ,  $\alpha_i = \alpha$ ).

1. Определяют геометрические параметры пары нарезаемых колес. Торцовый модуль  $m_t$  и профильный угол  $\alpha_{n1}$  (только для колес с винтовыми зубьями) по формулам (8.6) и (8.15):

$$m_t = m_n / \cos \beta_1 \text{ и } \operatorname{tg} \alpha_{n1} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_{n1}}{\cos \beta_1}.$$

Угол  $\alpha_{n12}$  зацепления колес в передаче рассчитывают по формулам (8.23), (8.24), (8.26) или

$$\cos \alpha_{n12} = \frac{m_t(z_1 \pm z_2) \cos \alpha_{n1}}{2a_{w12}}.$$

Диаметры  $d_{b1}$  и  $d_{b2}$  основных цилиндров колес рассчитывают по формулам (8.9):

$$d_{b1} = mz_1 \cos \alpha_{n1};$$

$$d_{b2} = mz_2 \cos \alpha_{n2}.$$

Радиус окружности нижних точек активных профилей зубьев колеса

$$r_{p12} =$$

$$= \sqrt{(d_{b1}/2)^2 + (\pm a_{w12} \sin \alpha_{n12} \mp d_{b2}/(2 \operatorname{tg} \alpha_{a2}))^2},$$

где  $\cos \alpha_{a2} = d_{b2}/(2r_{a2}) = d_{b2}/d_{a2}$ .

2. Определяют следующие параметры станочной пары долбяк–нарезаемое колесо. Угол зацепления станочной пары по формуле (8.24) с заменой индекса «2» на «0»:

$$\operatorname{inv} \alpha_{n10} = \operatorname{inv} \alpha_{n1} + \frac{S_1 + S_0 - \pi m}{m_t(z_1 \pm z_2)},$$

где  $S_1$  и  $S_2$  – толщины зубьев на делительных цилиндрах колеса и долбяка в плоскости переднего торца.

Межосевое расстояние по формуле (8.26) с заменой индекса «2» на «0»:

$$a_{w10} = \frac{(d_1 \pm d_0) \cos \alpha_{n1}}{2 \cos \alpha_{n10}}.$$

Диаметр впадин зубьев колеса после нарезания долбяком

$$d_{f1\phi} = 2a_{w10} \mp d_{a0}.$$

При исходном контуре по ГОСТ 13755–81 допускается уменьшение  $d_{f1\phi}$  не более чем на  $0,2m$  против  $d_{f1} = d_1 - 2(h_f^* + c' - x_1)m$ , где  $c'$  – коэффициент радиального зазора передачи,  $x_1$  – коэффициент смещения нарезаемого колеса.

Радиус окружности нижней точки активного профиля зуба колеса:

$$r_{p10} = \sqrt{(d_{b1}/2)^2 + (\pm a_{w10} \sin \alpha_{n10} - d_{a0}/(2 \operatorname{tg} \alpha_{a0}))^2},$$

где  $\cos \alpha_{a0} = d_{b0}/d_{a0}$ .

3. Делают проверку отсутствия интерференции колес передачи, нарезанных принятым долбяком, на основе выполнения условия (8.35) или условий:

$r_{p12} \geq r_{p10}$  – для колес внешнего зацепления,

$r_{p12} \leq r_{p10}$  – для колес внутреннего зацепления. (8.39)

4. Проверяют отсутствие подрезания зубьев колеса на соблюдение условия

$$\sqrt{r_{b0}^2 + (a_{w10} \sin \alpha_{n10})^2} \geq r_{a0}. \quad (8.40)$$

Опасность подрезания зубьев колеса увеличивается с уменьшением  $z_1$  и величины  $A$ , т.е. по мере стачивания долбяка.

5. Проверяют отсутствие срезания долбяком головок зубьев колеса по уравнению

$$\sqrt{r_{b2}^2 + (a_{w20} \sin \alpha_{n20})^2} \geq r_{h2}, \quad (8.41)$$

где  $r_{h2}$  – радиус окружности верхних точек активных профилей зубьев колеса.

Если долбяк имеет модифицированный профиль ножек зубьев и известен радиус  $r_{g0}$  окружности, проходящей через начало модификации, то условие отсутствия срезания головок зубьев колеса имеет вид:

$$a_{w20} \sin \alpha_{n20} - \sqrt{r_{g0}^2 - r_{b0}^2} \geq \sqrt{r_{h2}^2 - r_{b2}^2}. \quad (8.42)$$

Опасность срезания головок зубьев возрастает с увеличением  $z_2$  и при работе предельно сточенным долбяком.

На основании проверок (8.40) и (8.41) или (8.42) можно определить такое расстояние  $A'$ , на которое отстоит от исходного сечения долбяка плоскость, до которой можно его перетачивать.

При проверке косозубого долбяка помимо равенства модулей  $m_{n0} = m_{n1}$  и профильных углов  $\alpha_{n0} = \alpha_{n1}$  требуется еще выполнение условия равенства углов  $\beta$  наклона зубьев колеса и долбяка (равенства шагов  $P$  винтовой линии зубьев долбяка и винтового копира зуба долбежного станка), исходя из которого число зубьев долбяка

$$z_0 = \frac{P_{\text{коп}} \sin \beta_0}{\pi m_{n0}},$$

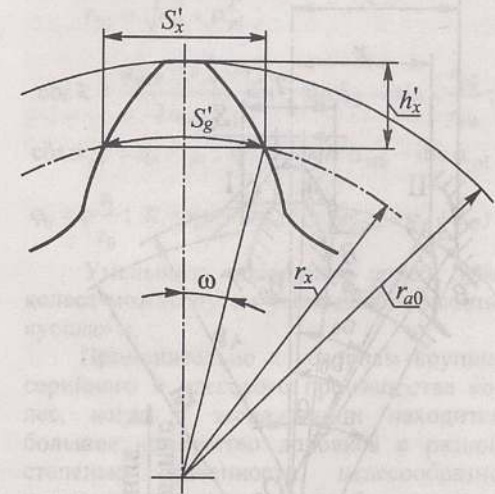
где  $P_{\text{коп}}$  – шаг винтового копира. Стандартные долбяки предназначены для нарезания колес с  $\beta_1 = 15$  и  $23^\circ$ . Они выполняются комплектами из двух штук (правого и левого направлений) и рассчитаны на применение копиров с  $P_{\text{коп}} = 1198, 0004$  и  $751, 9566$  мм.

Для долбяков, имеющих в наличии, а также бывших в употреблении (сточенных до определенной степени), поверочный расчет проводится в следующем порядке.

Измеряют наружный диаметр  $d_{a0}(r_{a0})$  и толщину хорды  $S'_x$  зуба на произвольной его высоте  $h'_x$  (рис. 8.15). Подсчитывают размер дуги  $S'_g$ , соответствующий хорде  $S'_x$ ,

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{S'_x}{2(r_{a0} - h'_x)}; \quad r_x = \frac{r_{a0} - h'_x}{\cos \omega};$$

$$S'_g = 2r_x \omega.$$



8.15. Размер зуба долбяка по передней поверхности

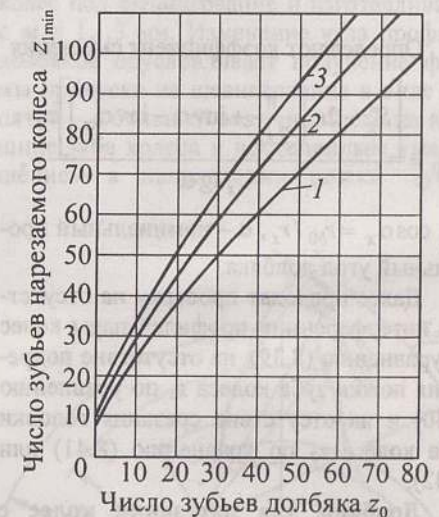


Рис. 8.16. График для определения чисел зубьев долбяков для колес с внутренними зубьями: 1 – при  $\alpha = 20^\circ$  с высотой головки зуба 0,8 от нормальной; 2 – при  $\alpha = 20^\circ$  с нормальной высотой головки зуба; 3 – при  $\alpha = 14,5$  и  $15^\circ$  с нормальной высотой головки зуба

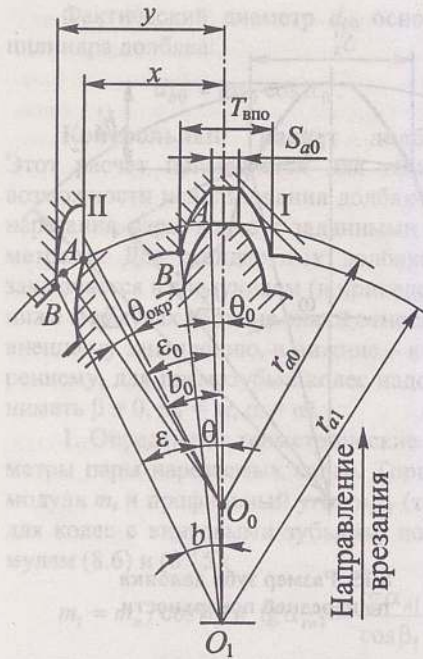


Рис. 8.17. Схема проверки долбяка при нарезании колеса с внутренними зубьями

Определяют коэффициент смещения

$$x_0 = \frac{\left[ S'_g - 2r_x \left( \frac{\pi}{2z_0} + \text{inv } \alpha - \text{inv } \alpha_x \right) \right] z_0}{4r_x \text{tg } \alpha},$$

где  $\cos \alpha_x = r_{b0} / r_x$ ,  $\alpha$  – номинальный профильный угол долбяка.

Далее проводят проверку на отсутствие интерференции профилей пары колес по уравнению (8.39), на отсутствие подрезания ножки зуба колеса  $z_1$  по уравнению (8.40) и на отсутствие срезания головки зуба колеса  $z_2$  по уравнению (8.41) или (8.42).

Долбяки для нарезания колес с внутренними зубьями. По конструкции они не отличаются от долбяков для колес с внешними зубьями и могут быть прямыми и косозубыми. Стандартные долбяки могут также применяться для нарезания колес с внутренними зубьями.

Особенностью обработки колес с

внутренними зубьями является то, что для нарезания колес с заданным  $z_1$  должен быть принят долбяк, число зубьев  $z_0$  которого не превышает определенного значения. Минимальное число  $z_{1\text{min}}$  зубьев колеса, которое может быть нарезано долбяком с числом зубьев  $z_0$ , может быть определено по рис. 8.16.

Если разность  $(z_1 - z_0)$  получается меньше, то проводят проверку на срезание вершин зубьев колеса. Срезания не будет, если в любой момент взаимодействия станочной пары выполняется условие  $y > x$  (рис. 8.17). Для этого предварительно находят угол  $\theta_0$  головки зуба долбяка и угол  $\theta$  впадины между вершинами зубьев колеса:

$$\theta_0 = S_{0t} / d_0 + \text{inv } \alpha_{0t} - \text{inv } \alpha_{a0t};$$

$$\theta = T_{bn1t} / d_1 + \text{inv } \alpha_{1t} - \text{inv } \alpha_{a1t},$$

где  $T_{bn1t}$  и  $S_{0t}$  – соответственно ширина впадины и толщина зубьев колеса и долбяка;  $\alpha_{a0t} = \arccos r_{b0} / r_{a0}$ ,  $\alpha_{a1t} = \arccos r_{b1} / r_{a1}$ .

Затем рассчитывают углы поворота ( $\theta_{окр} + \theta_0$  долбяка и  $(\theta + \varphi_0)$  колеса, при которых может произойти срезание зубьев,

$$\sin(\theta_{окр} + \varphi_0) = \sqrt{\frac{1 - \eta^2 i^2}{1 - i^2}};$$

$$\sin(\theta + \varphi_0) = \frac{\sin(\theta_{окр} + \varphi_0)}{\eta},$$

где  $\eta = d_{a1} / d_{a0}$ ,  $i = z_0 / z_1$ .

По этим формулам определяют критическую величину угла  $\theta_{окр}$ . Если  $\theta_{окр} < \theta_0$ , то имеет место срезание зубьев и долбяк оказывается непригодным для нарезания данного колеса. Уменьшить или исключить срезание зубьев можно путем уменьшения размера смещения исходного сечения долбяка.

Долбяки для нарезания колес под шевингование. Они являются специальными инструментами, предназначенными для обработки колес с определенным  $z_1$  либо в весьма узком диапазоне  $z_1$ . Их осо-

бенностью является модификация профиля зубьев, служащая для получения благоприятного распределения припуска под последующее шевингование по высоте зубьев колес. Для нарезания колес под шевингование применяют две разновидности долбяков в зависимости от формы модификации их зубьев.

1. Долбяки с «усиком» в виде утолщения на головке зуба. Основные конструктивные размеры назначаются, как и для обычных долбяков, за исключением размеров «усика». Последние рассчитываются из условия образования ими подреза у основания зуба колеса, который не должен распространяться на активную часть его профиля. Расчет может быть выполнен следующим образом (рис. 8.18).

Радиус кривизны профиля зуба нарезаемого колеса  $z_1$  в точке начала его активной части

$$\rho_{p1} = a_{w12} \sin \alpha_{112} - \sqrt{r_{h2}^2 - r_{b2}^2}.$$

Радиус окружности, проходящей через начало «усика»,

$$r_{h0} = \sqrt{r_{b0}^2 + (a_{w10} \sin \alpha_{110} - \rho_{p1})^2}.$$

Угол развернутости «усика»  $\tau_y = \text{tg } \alpha_{a0} - \text{tg } \alpha_y$ , где  $\alpha_{a0} = \arccos(r_{b0} / r_{a0})$ ,  $\alpha_y = \arccos(r_{b0} / r_{h0})$ . Угол развернутости до начала фланка

$$\tau_\phi = \text{tg } \alpha_{a0} - \text{tg } \alpha_\phi - \frac{n}{r_0 \cos \alpha_0},$$

где  $\alpha_0$  – профильный угол долбяка (8.38);  $\alpha_\phi = \arccos(r_{b0} / r_{\phi 0})$ ;  $n = \Delta S / 2 + (0,02 \dots 0,03)$ ;  $\Delta S$  – размер припуска на шевингование.

При обработке таким долбяком в некоторых случаях возможно распространение подрезания и на активную часть профиля зубьев колес. Проверка на отсутствие подрезания проводится по условию:

$$n < K \cos \alpha_{a0}.$$

Значение входящего в него параметра  $K$  определяется в следующей последовательности:

$$r_{p1} = \sqrt{r_{b1}^2 + \rho_{p1}^2};$$

$$\cos \lambda = \frac{a_{w10}^2 + r_{p1}^2 - r_{a0}^2}{2a_{w10}r_{p1}}; \sin \lambda_0 = \sin \lambda \frac{r_{p1}}{r_{a0}};$$

$$\cos \alpha_{p1} = r_{b1} / r_{p1}; \varphi = \lambda + \text{inv } \alpha_{110} - \text{inv } \alpha_{p1};$$

$$\varphi_0 = \varphi \frac{z_1}{z_0}; K = r_{a0} (\text{inv } \alpha_0 - \text{inv } \alpha_{110} - \varphi_0 + \lambda_0).$$

Уменьшить подрезание ножки зуба колеса можно путем уменьшения высоты «усика»  $n$ .

Применительно к условиям крупносерийного и массового производства колес, когда в эксплуатации находится большое количество долбяков с разной степенью сточенности, целесообразно применять метод расчета долбяков с «усиками», при котором задний угол  $\alpha_b$  долбяка не задается, а рассчитывается исходя из условия постоянства размера зуба колеса и его подрезания при любой степени сточенности (независимо от переточек) долбяка.

2. Долбяки с уменьшенным углом профиля применяют реже для нарезания колес под шевингование и изготавливают с  $m = 1 \dots 3$  мм. Изменение угла профиля долбяков обуславливает получение формы припуска на шевингование в виде запытой – с большей величиной его на вершине зуба колеса и постепенным уменьшением в направлении ножки зуба.

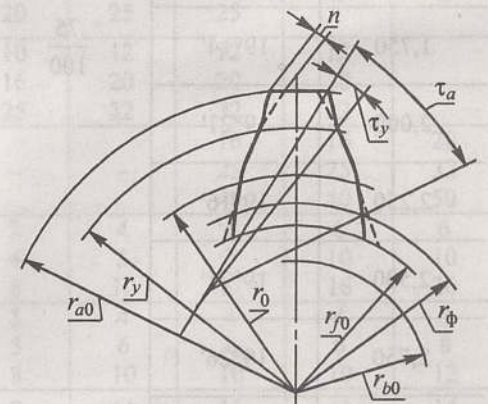


Рис. 8.18. Модификация профиля зуба долбяка под шевингование ( $r_\phi = r_{\phi 0}$ )

Отличие расчета этих долбяков от расчета обычных долбяков заключается в том, что размеры зубьев в исходном сечении – толщина и угол профиля исходного контура – определяются из условия получения следующего припуска на толщину зуба по окружности вершин зубьев:

$m$ , мм	0...1,375	1,5...2,02	2,25...3,01
$\Delta S$ , мм	0,1	0,12	0,15

В табл. 8.4 приведены основные размеры дисковых прямозубых долбяков  $m = 1...3$  мм с уменьшенным профильным

углом. Долбяки рассчитывают с учетом высоты головки зуба в исходном сечении  $h_{a0} = 1,35m_n$ .

**Технические требования, предъявляемые к долбякам.** Они назначаются в соответствии с ГОСТ 9323–79. Согласно ему принимаются общие конструктивные размеры долбяков: толщина, диаметр посадочного отверстия и др. Долбяки изготавливают из быстрорежущей стали, а специальные их конструкции в целях повышения производительности и стойкости –

**8.4. Основные размеры по передней поверхности дисковых прямозубых долбяков с уменьшенным углом профиля, мм**

$m$	Угол профиля $\alpha_0$	$d_0$	$z_0$	$S$	$h_{a0}$
1,000	18°49'		76	2,05	1,98
			100	2,33	2,40
1,125	18°58'		67	2,28	2,20
			90	2,54	2,57
1,250	19°06'		60	2,51	2,41
			80	2,73	2,74
1,375	19°11'		56	2,73	2,60
			73	2,96	2,94
1,500	19°05'		50	2,92	2,78
			68	3,16	3,13
1,750	19°14'	75	43	3,35	3,17
		100	58	3,59	3,52
2,000	19°21'		38	3,77	3,54
			50	3,99	3,86
2,250	19°16'		34	3,96	3,63
			45	4,40	4,25
2,500	19°21'		30	4,35	3,95
			40	4,72	4,48
2,750	19°26'		28	4,77	4,32
			36	5,12	4,82
3,000	19°29'		25	5,09	4,70
			34	5,44	5,21

из твердых сплавов. Твердость режущей части из быстрорежущей стали 63...66 HRC, из быстрорежущей стали повышенной производительности 64...68 HRC.

Параметры шероховатостей поверхностей долбяков не должны превышать: передних и задних –  $Rz 1,6$  для классов точности AA, A и  $Rz 2,5$  для класса точно-

сти B; опорной поверхности –  $Ra 0,2$ ; внутренней опорной поверхности –  $Ra 0,8$ ; посадочного отверстия –  $Ra 0,2$ ; поверхности хвостовика хвостовых долбяков  $Ra 0,4$  для класса точности A и  $Ra 0,8$  для B; остальные поверхности –  $Rz 2,5$ .

Допуски и предельные отклонения параметров долбяков приведены в табл. 8.5.

**8.5. Предельные отклонения параметров долбяков**

Параметр и его обозначение	$d_0$ , мм	Класс точности	Допуски, мкм, при $m_{н0}$ , мм				
			От 1 до 2	Св. 2 до 3,5	Св. 3,5 до 6,3	Св. 6,3 до 10	Св. 10
Отклонение от параллельности опорных поверхностей $f_{xr}$	50	A	5	6	–	–	–
		B	8	10	–	–	–
	Св. 50 до 125	AA	3	4	4	4	–
		A	5	6	6	6	–
Св. 125 до 200	B	8	10	10	10	–	
	AA	–	–	5	5	6	
Торцовое биение передней поверхности $f_{yr}$	До 50	A	14	14	14	–	–
		B	20	20	20	–	–
	Св. 50 до 125	AA	12	12	12	12	–
		A	16	16	16	16	–
	Св. 125 до 200	B	25	25	25	25	–
		AA	–	–	20	20	20
Биение окружности вершин зубьев $f_{ra0r}$	До 50	A	12	16	16	–	–
		B	20	25	25	–	–
	Св. 50 до 125	AA	10	12	12	12	–
		A	16	20	20	20	–
	Св. 125 до 200	B	25	32	32	32	–
		AA	–	–	16	16	20
Погрешность профиля $f_{for}$	–	AA	3	4	4	6	6
		A	4	5	7	10	10
	–	B	8	10	12	16	20
		AA	3	4	4	4	5
	–	A	5	6	6	6	8
		B	8	10	10	10	12
Накопленная погрешность окружного шага $F_{por}$	–	AA	9	11	11	11	14
		A	14	18	18	18	22
		B	20	24	30	30	36



Продолжение табл. 8.5

Параметр и его обозначение	$d_0$ , мм	Класс точности	Допуски, мкм, при $m_{n0}$ , мм				
			От 1 до 2	Св. 2 до 3,5	Св. 3,5 до 6,3	Св. 6,3 до 10	Св. 10
Радиальное биение зубчатого венца $F_{r0r}$	До 50	A	14	14	16	—	—
		B	20	24	26	—	—
	Св. 50 до 125	AA	12	14	14	14	—
		A	16	18	20	20	—
		B	24	26	32	32	—
		AA	—	—	18	18	20
Св. 125 до 200	A	—	—	24	24	24	
	B	—	—	36	36	40	

#### 8.4. Зуборезные червячные фрезы

Червячные зуборезные фрезы применяют для черновой, получистовой и чистовой обработки прямозубых и косозубых цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем с модулем 0,1...40 мм и изготавливают классов точности AAA, AA, A, B, C и D, которые предназначены для нарезания зубчатых колес соответственно 5–9-й и 11-й степеней точности (ГОСТ 1643–81).

Червячные фрезы являются многолезвийными инструментами с конструктивным обкаточным движением. При обработке ось фрезы и ось нарезаемого колеса (шестерни) перекрещиваются.

Метод зубофрезерования является высокопроизводительным, универсальным и достаточно точным, поэтому червячные фрезы получили большое распространение в промышленности при всех типах производства. При обработке применяют специальные зубофрезерные станки отечественного производства мод. 53А10, 5К310, 5А324П и др., а также станки зарубежных фирм. Точность зубонарезания колес зависит от класса точности применяемой червячной фрезы и точности станка.

В основу червячных фрез для нарезания эвольвентных цилиндрических зубчатых колес положен эвольвентный чер-

вяк. Для точного нарезания зубьев колеса необходимо, чтобы режущие кромки червячной фрезы находились на поверхности эвольвентного червяка. Однако такие фрезы применяются очень редко из-за сложности их изготовления и контроля.

Широкое распространение получили фрезы, разработанные на приближенных методах профилирования, с расположением боковых режущих кромок на винтовых поверхностях, достаточно близких к эвольвентной винтовой поверхности.

Наибольшее распространение получили следующие приближенные методы профилирования: а) профиль зубьев принимают прямолинейным в осевом сечении (Архимедов червяк); б) профиль зубьев принимают прямолинейным в нормальном к виткам сечении (конволютный червяк). В этих сечениях задают углы профиля фрезы. При этом режущие кромки зубьев фрезы уже не находятся на поверхности основного эвольвентного червяка, в результате чего возникает погрешность профиля зуба нарезаемого колеса. Погрешность профилирования у фрезы, спроектированной на основе Архимедова червяка, меньше, чем у фрезы, спроектированной на основе конволютного червяка. В обоих случаях погрешности приближенного профилирования направлены из тела зубьев фрезы, за счет чего получаются небольшие срезы профиля у голо-

вок и ножек зубьев нарезаемых колес. Однако по своему характеру и числовому значению погрешности профиля зубчатых колес иногда бывают больше размеров срезов, допустимых на исходный контур.

Погрешность профилирования червячных фрез по нормальному сечению можно уменьшить путем корректирования угла профиля. При профилировании по нормальному сечению с углом профиля  $20^\circ$  для фрез с модулем  $m_0 = 3; 5; 8; 12$  и  $16$  мм, погрешность соответственно составляет 2; 6; 16; 34 и 72 мкм, а для фрез с углом профиля  $20^\circ 3'$  при тех же модулях соответственно равна 2; 4,2; 11,4; 28 и 55 мкм, т.е. для фрез  $m_0 > 5$  мм погрешность профилирования меньше в среднем в 1,3 раза, чем в первом случае.

Червячные фрезы изготавливают насадными и хвостовыми. Насадные получили наибольшее распространение, а хвостовые применяют только для нарезания червячных колес.

По направлению витков червячные фрезы делят на право- и левозаходные, а по числу заходов ( $z_{10}$ ) на однозаходные и многозаходные.

По ГОСТ 9324–80 чистовые червячные фрезы классов точности AAA, AA и A изготавливают с модификацией профиля зубьев и без модификации. Фрезы изготавливают трех типов: тип 1 – цельные прецизионные с  $m_0 = 1...10$  мм, класса точности AAA; тип 2 – цельные с  $m_0 = 1...14$  мм классов точности AA, A, B, C, D;  $m_0 = 16...20$  классов точности AA и A; тип 3 – сборные с  $m_0 = 8...25$  мм классов точности A, B, C и D.

Червячные фрезы типа 2 изготавливают нормальной и увеличенной длины, а типа 3 – нормальных и уменьшенных габаритов. Червячные фрезы типов 2 и 3 могут изготавливать с заборным конусом.

Мелкомодульные червячные фрезы с  $m_0 = 0,15...9$  мм (ГОСТ 10331–81) изготавливают классов точности AAA, AA, A и B.

При проектировании и расчете чер-

вячных фрез исходными данными являются следующие параметры колеса:  $m_n$ ,  $\alpha$ ,  $h_a$ ,  $h_f$ ,  $S_m$ ,  $z_2$ , направление (правое или левое) и угол наклона зубьев  $\beta_2$ , обрабатываемый материал, его твердость и  $\sigma_2$ , степень точности и параметр шероховатости поверхности  $Ra$  ( $Rz$ ), вид последующей обработки, размеры модификации профиля зубьев. При этом необходимо также учитывать конструкцию и технические характеристики применяемого зубофрезерного станка.

Выбор и порядок расчета основных конструктивных параметров. Наружный диаметр новой фрезы  $d_{a0}$ . С увеличением  $d_{a0}$  уменьшается погрешность профилирования у однозаходных и многозаходных фрез. Например, у однозаходных фрез с  $m_0 = 2...8$  мм и  $\gamma_{a0} = 0$  увеличение наружного диаметра в 1,5 раза уменьшает погрешность профилирования в 3...5 раз. При больших значениях диаметра появляется возможность увеличения числа зубьев по окружности  $z_0$  и посадочного диаметра отверстия  $d$ , что способствует повышению прочности и жесткости фрезы. Все это приводит к повышению производительности зубофрезерования, уменьшает шероховатость  $Ra$  и огранку по профилю зуба обработанного колеса. При этом увеличивается количество переточек, а следовательно, и срок службы фрезы. Однако с увеличением  $d_{a0}$  повышаются расход инструментального материала, момент резания, длина и время резания, а также трудоемкость изготовления и стоимость фрезы. Поэтому для прецизионных фрез  $d_{a0}$  рекомендуется принимать большим, а для фрез общего назначения – меньшим. Для сборных и составных фрез с  $m_0 > 8$  мм диаметр выбирается с учетом выбранного числа зубьев, способа их крепления и конструктивных особенностей, обеспечивающих достаточную жесткость и виброустойчивость.

Основные габаритные размеры ( $d_{a0}$ ,  $d$  и др.) червячных фрез (рис. 8.19) можно выбрать по табл. 8.6.

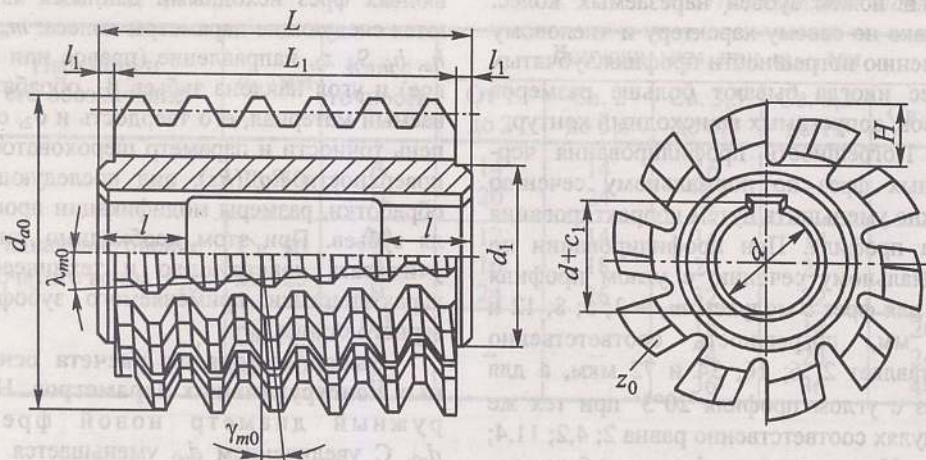


Рис. 8.19. Основные конструктивные размеры цельной червячной фрезы

## 8.6. Основные размеры червячных фрез, мм (ГОСТ 9324-80)

$m_0$ , мм	$d_{a0}$			$d$			$L$			$z_0$		
	Тип фрезы											
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1		40			16							
1,125	71					71	32					
1,25		50		32	22			40		16		
1,375												
1,5	80					80					12	
1,75		63										
2,0												
2,25	90				27		90	56				
2,5		71		40			100	63				
2,75	100											
3,0												
3,5	112	80					112	71		14		
4,0												
4,5	125	90					125	90			10	
5,0					50				100			
5,5	140	100					140					
		112						112				
6,0												
7,0	160	118		60	40		155	125		12	9	
8,0	180	125	180			50	175	132	165			10

Продолжение табл. 8.6

$m_0$ , мм	$d_{a0}$			$d$			$L$			$z_0$		
	Тип фрезы											
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
9,0	180	140	200	60	40		180	150	170	12		
10		150						170	210			
11		160	212					180	215		9	
12		170	225		50			200	240			
14		190	250					224	240			
16		212	265					250	270			
18		236	280		60			280	290		8	
20		250	300					300	310			
22			320						330			
25			340						360			

Примечание. У фрез типа 2 значения  $L$  и у фрез типа 3 все размеры приведены для 1 исполнения.

При  $d_{a0} \geq 2(H + \rho + c_1 - 0,5d)$ , где  $H$  – высота зуба;  $\rho$  – толщина тела фрезы в опасном сечении,  $\rho = (0,25 \dots 0,3)d$ ;  $c_1$  – размер шпоночной канавки (ГОСТ 9472-90);  $d$  – диаметр посадочного отверстия фрезы, у обычных фрез  $d \approx 20m^{0,37}$ , у прецизионных фрез  $d \approx 27m^{0,4}$ .

По значению  $d$  выбираются тип крепления на станке и размеры осевого или торцового шпоночного паз (ГОСТ 9472-90).

Число заходов фрезы ( $z_{10}$ ). Однозаходные червячные фрезы ( $z_{10} = 1$ ) получили наибольшее распространение, так как они дают высокую точность обработки, проще в изготовлении и эксплуатации, чем многозаходные фрезы.

Многозаходные фрезы применяют с целью повышения производительности зубонарезания, но при этом снижается точность обработки и увеличивается шероховатость  $Ra$  обработанной поверхности. Число заходов не должно быть кратным числу зубьев нарезаемого колеса  $z_2$  и числу  $z_0$ . При одновременной некратности  $z_{10}$ ,  $z_0$  и  $z_2$  через каждый оборот колеса профилирование будет производиться на различных заходах фрезы и на разных

участках обрабатываемых зубьев, что аналогично профилированию большим количеством реек. Многозаходные фрезы рекомендуется выполнять длиной в 1,25...1,5 раза большей длины стандартных фрез, что обеспечивает работу этих фрез с передвижкой.

Для нарезания цилиндрических колес можно применять конструкцию многозаходных ( $z_{10} = 2 \dots 4$ ) червячных фрез четырех типов с  $m_0 = 1 \dots 10$  мм. Фрезы изготавливают нормальной и увеличенной длины с передними углами на вершине зуба, равными 0 и 5°. Причем фрезы с  $\gamma_{a0} > 0$  могут иметь прямые осевые и винтовые стружечные канавки.

Предельные отклонения параметров многозаходных фрез регламентируют для классов точности А, В, С и D по ГОСТ 9324-80 за исключением предельных отклонений шага захода и шага между заходами, которые устанавливаются отраслевым стандартом. Расчет параметров многозаходных фрез аналогичен расчету обычных однозаходных фрез, за исключением осевого и нормальных шагов.

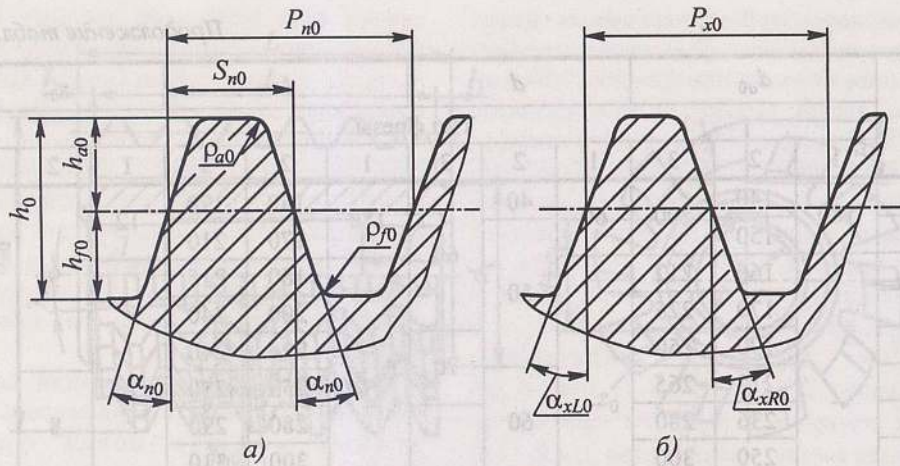


Рис. 8.20. Размеры профиля зубьев червячной фрезы без модификации в нормальном (а) и осевом (б) сечениях

Параметры зуба фрезы. Профиль и размеры зуба фрезы зависят от модификации профиля и назначения фрезы и принимаются по размерам инструментальной рейки. По ГОСТ 9326–2002 зубья изготавливаются без модификации (рис. 8.20) и с модификацией (рис. 8.21, а). Профиль зубьев у многозаходных фрез по отраслевому стандарту имеет модификацию на вершине зуба – утолщения в виде «усиков» (рис. 8.21, б) или утолщения на ножке зуба – в виде флангов (рис. 8.21, в). Основные рекомендуемые значения  $h_y$ ,  $n$ ,  $a_y$  и др. приведены для каждого модуля в отраслевом стандарте. Модификация профиля значительно облегчает и

улучшает процесс последующей обработки зубьев колес.

Основные размеры зубьев рассчитывают по следующим формулам.

Нормальный шаг  $P_{n0} = \pi m_0 z_{10}$ , а осевой шаг  $P_{x0} = P_{n0} / \cos \gamma_{m0}$ , где  $\gamma_{m0}$  – угол подъема винтовой линии на делительном диаметре в расчетном сечении. Толщина зуба в нормальном сечении на начальной прямой для прецизионных и чистовых фрез  $S_{n0} = P_{n0} - S_n$ , а для черновых фрез  $S_{n0} = P_{n0} - S_n - a$ , где  $S_n$  – толщина зуба колеса по дуге делительной окружности с учетом требуемого бокового

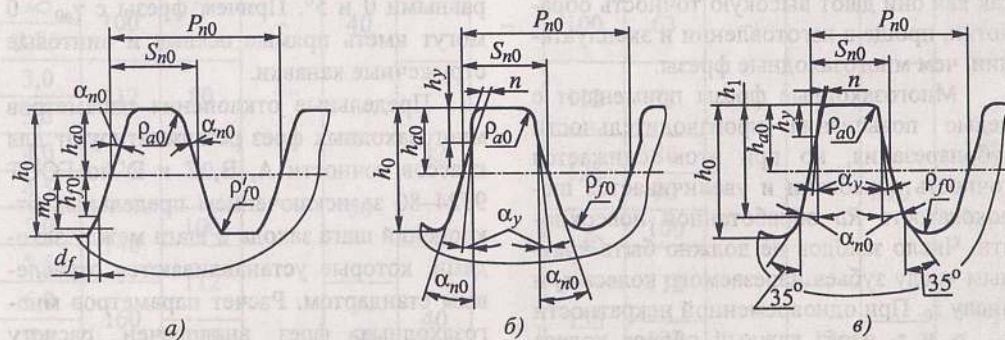


Рис. 8.21. Размеры в нормальном сечении профилей зубьев с разной модификацией

зазора в зубчатой передаче (ГОСТ 9178–81),  $a$  – припуск под последующую обработку. Значение  $a$  зависит от  $m_0$  и вида последующей обработки. Например, с увеличением модуля от 2 до 10 мм при последующем шлифовании колес значение  $a$  изменяется соответственно от 0,25 до 0,6 мм, а при последующем шевинговании – от 0,1 до 0,18 мм.

Высота головки  $h_{a0} = h_{a0}^* m$ , а высота ножки  $h_{f0} = h_{f0}^* m$ , где  $h_{a0}^*$  и  $h_{f0}^*$  – соответственно коэффициент высоты головки и ножки зуба (для некорректированных колес  $h_{a0}^* = h_{f0}^* = 1,25$ ). Высота зуба  $h_0 = h_{a0} + h_{f0}$ . Радиусы переходной кривой у головки  $\rho_{a0} = \rho_{a0}^* m_0$ , а у ножки  $\rho_{f0} = \rho_{f0}^* m$  (коэффициент радиуса головки зуба  $\rho_{a0}^* = 0,38$ , коэффициент радиуса ножки зуба  $\rho_{f0}^* = 0,3$ ).

Геометрия зубьев фрезы. Стандартные червячные фрезы имеют передний угол на вершине зуба  $\gamma_{a0} = 0$ , а задний угол на наружном диаметре  $\alpha_{a0} = 9...12^\circ$ . При  $\gamma_{a0} = 0$  облегчаются расчет параметров, контроль и технология изготовления фрез. Однако с увеличением переднего угла улучшаются условия резания и повышается стойкость фрез. При этом точность обработки фрезами с  $\gamma_{a0} > 0$  может быть значительно повышена за счет выбора оптимального переднего угла. Например, у фрез с  $m_0 = 4; 6; 12$  и  $14$  мм, оптимальный передний угол, исключая погрешность профилирования, будет соответственно равен  $2,5; 3; 5$  и  $7,5^\circ$ . Поэтому при проектировании червячной фрезы целесообразно угол  $\gamma_{a0}$  выбирать в зависимости от обрабатываемого материала и назначения фрезы. Так, при обработке черновыми фрезами зубчатых колес из конструкционных и легированных сталей угол  $\gamma_{a0}$  следует выбирать в пределах  $8...15^\circ$ , что обеспечит увеличение их стойкости до 1,5...2 раз по сравнению с

фрезами с  $\gamma_{a0} = 0$ . У прецизионных и чистовых фрез угол  $\gamma_{a0}$  выбирают в зависимости от  $m_0$  и берут равным  $2,5...7,5^\circ$ , что обеспечивает повышенную точность обработки.

Задние углы на вершинах и боковых сторонах зубьев получают путем радиального затылования зубьев по Архимедовой спирали, что не дает возможности широкого выбора значений заднего угла. Падающие затылка при выбранном значении  $\alpha_{a0}$  определяют по формуле:

$$K = \frac{\pi d_{a0}}{z_0} \operatorname{tg} \alpha_{a0}.$$

Фрезы с острозаточенными зубьями позволяют увеличить угол  $\alpha_{a0}$ , что приводит, как правило, к повышению их стойкости, но при этом усложняется переточка фрез.

Задние углы на боковых сторонах зубьев в нормальном сечении рассчитывают по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha_{a0} \approx r_{a0} \operatorname{tg} \alpha_{a0} \sin \alpha_{n0} / r_y,$$

где  $r_y$  – радиус окружности в любой точке профиля зуба.

Рекомендуется, чтобы боковые задние углы были больше  $2^\circ$ , так как при меньших углах наблюдаются интенсивный износ зубьев по задним поверхностям и снижение стойкости фрез.

Число стружечных канавок (число зубьев по окружности) и размеры канавок. Выбор  $z_0$  зависит от назначения фрезы, модуля,  $d_{a0}$  и других параметров. В табл. 8.6 приведены значения  $z_0$  для стандартных фрез типов 1–3 при различных значениях  $m_0$  и  $d_{a0}$ . От числа зубьев зависят окружные шаги зубьев и размеры стружечных канавок. С увеличением  $z_0$  при постоянном  $d_{a0}$  уменьшаются огранка и волнистость поверхности, повышается производительность обработки. При этом уменьшаются ширина и прочность зуба, сокращается число переточек. Поэтому для прецизионных фрез типа 1 число зубьев выбира-

ется большим, а для фрез типа 2 – меньшим. Для обеспечения требуемой точности профиля и повышения стойкости фрез задние поверхности зубьев шлифуют. Длина шлифованной части должна быть у стандартных фрез с  $m_0 < 4$  мм не менее 1/2, а у фрез с  $m_0 > 4$  мм не менее 1/3 длины зуба по окружности его вершины.

Зубья со шлифованным профилем имеют первый затылок величиной  $K$  и второй затылок величиной  $K_1 = (1,2 \dots 1,5) K$ . Расчетные значения  $K$  и  $K_1$  округляются в большую сторону до 0,5 мм при  $m_0 < 7$  мм и до 1 мм при  $m_0 > 8$  мм. Угол  $\nu$  принимают равным 22; 25 и 30°, а радиус скругления канавки  $r'$  выбирается из ряда 0,5; 1; 1,5; 2 мм и т.д. Размеры стружечных канавок фрез выбирают из условий свободного выхода затыловочного резца и шлифовального круга, а также размещения срезаемой стружки. Размеры абразивного круга должны быть такими, чтобы при шлифовании задних поверхностей круг не задевал соседний зуб. При этом диаметр круга ( $D_k$ ) должен быть не менее 60 мм.

Окончательные значения величин  $z_0$ ,  $d_{a0}$ ,  $K$  и др. принимаются после прочерчи-

вания канавки зуба и определения величины  $D_k$  при затыловании фрезы.

Высота канавки у фрез с нешлифованным профилем  $H = h_0 + K + r'$ , а у фрез со шлифованным профилем  $H = h_0 + 0,5(K + K_1) + r'$ .

Диаметр начального (делительного) цилиндра  $d_{m0}$ . Начальный диаметр является исходной величиной для расчета основных параметров червячной фрезы. По мере переточки фрезы с затылованным зубом по передней поверхности величины  $h_{a0}$ ,  $h_f$  и  $P_{x0}$  остаются постоянными, а изменяются величины  $d_{a0}$ ,  $d_{m0}$ ,  $P_{n0}$  и  $\gamma_{m0}$ , что приводит к изменению нормального шага фрезы на величину  $\Delta$  и возникновению погрешности при зубонарезании. Поэтому, чтобы дольше сохранить близкими к расчетным значения  $P_{n0}$  и использовать положительную и отрицательную части допуска на окружной шаг колеса ( $TP_i$ ), необходимо расчетное сечение у фрезы располагать внутри зуба на угле  $\varepsilon$  от передней поверхности инструмента (рис 8.22, а). В этом случае предел переточки располагается на угол  $2\varepsilon$  от передней поверхности фрезы.

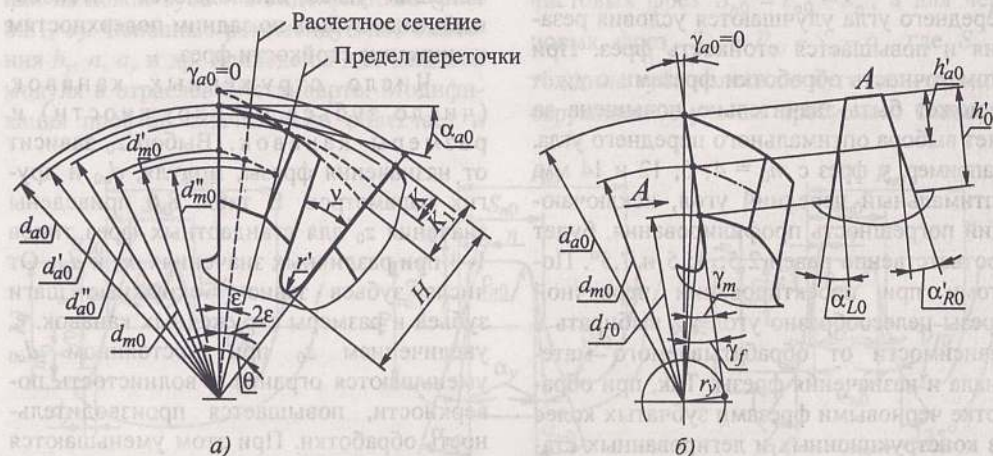


Рис. 8.22. Форма зуба и размер стружечной канавки червячных фрез с  $\gamma_{a0} = 0$  (а) и с  $\gamma_{a0} > 0$  (б)

### 8.7. Методика расчета параметров червячных фрез с учетом переточек

Вид сечения	Расчетные формулы
Расчетное сечение фрезы	1. $d'_{a0} = d_{a0} - 0,5K$ . 2. $d'_{m0} = d'_{a0} - 2h_{a0}$ . 3. $\sin \gamma'_{m0} = P_{n0} / (\pi d'_{m0})$ . 4. $P_{x0} = P_{n0} / \cos \gamma'_{m0}$
Сечение новой фрезы	1. $d_{m0} = d_{a0} - 2h_{a0}$ . 2. $\text{tg } \gamma_{m0} = P_{x0} / (\pi d_{m0})$ . 3. $P_{n0} = P_{x0} \cos \gamma_{m0}$
Сечение в пределе переточки изношенной фрезы	1. $d''_{a0} = d_{a0} - K$ . 2. $d''_{m0} = d''_{a0} - 2h_{a0}$ . 3. $\text{tg } \gamma''_{m0} = P_{n0} / (\pi d''_{m0})$ . 4. $P''_{x0} = P_{x0} \cos \gamma''_{m0}$

Примечание. В таблице принято  $\gamma_{a0} = 0$ ;  $\varepsilon = 0,25\theta$ , где  $\theta = 360^\circ / z_0$ .

Рекомендуют принимать  $\varepsilon = (0,1 \dots 0,25)\theta$ , где  $\theta$  – центральный угол,  $\theta = 360^\circ / z_0$ .

В табл. 8.7 приведена методика расчета основных параметров фрезы при ее переточках. Исходными данными при расчете являются величины  $d_{a0}$ ,  $K$ ,  $h_{a0}$ ,  $P_{n0}$ ,  $\varepsilon$  и  $\theta$ .

Расчет рекомендуют проводить для прецизионных и чистовых червячных фрез с  $m_0 < 5$  мм и определять величину  $\Delta = P_{n0} - P''_{n0}$ . Считается, что параметры фрезы выбраны правильно, если выдерживается условие

$$\Delta \leq (0,3 \dots 0,5) TP_i.$$

Здесь допуск  $TP_i$  выбирают в зависимости от степени точности, модуля и размеров нарезаемого колеса. По ГОСТ 1643–81 на шаг колеса задают предельные отклонения ( $\pm f_{pv}$ ), и тогда допуск  $TP_i = f_{pv}$ . В случае, если требуемое условие не выполняется, необходимо уменьшить значения  $\alpha_{a0}$  и  $\varepsilon$  или увеличить  $d_{a0}$ . Например, у колес с  $m_0 = 6$  мм диаметром 125 мм 5-й и 6-й степеней точности допуск  $TP_i$  составляет соответственно 0,016 и 0,026 мм, а у червячных фрез с тем же модулем  $d_{a0} = 90$  мм,  $z_0 = 12$ ,  $\gamma_{a0} = 0$ ,  $\alpha_{a0} = 12^\circ$  и  $\varepsilon = 7,5^\circ$ ,  $\Delta = 0,007$  мм, т.е.  $TP_i$  составляет достаточное значение.

Направление, угол наклона ( $\lambda_{m0}$ ) и ход винтовых стружеч-

ных канавок ( $P_z$ ). Направление стружечных канавок при нарезании прямозубых колес не имеет значения, поэтому обычно проектируют правозаходные фрезы. Причем для колес с правым направлением зубьев применяют правозаходные, а для колес с левым направлением зубьев – левозаходные фрезы.

Червячные фрезы изготавливают с прямыми осевыми ( $\lambda_{m0} = 0$ ) или винтовыми ( $\lambda_{m0} = \gamma_{m0}$ ) стружечными канавками, которые нарезают нормально к виткам червяка и имеют противоположное направление.

На прямых осевых канавках в процессе фрезерования передние углы на боковых режущих кромках с одной стороны зуба получаются положительными, а с другой стороны зуба – отрицательными, что создает разные условия резания. Прямые канавки обеспечивают большую равномерность фрезерования по сравнению с фрезами, имеющими винтовые канавки, при этом значительно упрощаются операции заточки и переточки. Фрезы с углом подъема витка  $\gamma_{m0} \leq 6^\circ$  могут быть изготовлены с прямыми осевыми стружечными канавками. У фрез с винтовыми канавками  $\gamma_{a0} = 0$  передние углы на боковых кромках равны нулю, режущие кромки зубьев одновременно вступают в контакт с заготовкой, что вызывает некоторую неравномерность фрезерования, однако с

помощью таких фрез достигается большая точность обработки.

Ход (шаг) винтовых стружечных канавок  $P_z = \pi d_{m0} \operatorname{ctg} \lambda_{m0}$ .

Профильный угол исходного контура инструментальной рейки фрезы (угол профиля зуба). Угол профиля зуба является важным параметром и выбирается в зависимости от принятого основного червяка и назначения фрезы.

Для червячной правозаходной фрезы на основе Архимедова червяка углы профиля задают в осевом сечении и определяют по формуле:

$$\operatorname{ctg} \alpha_{xL0} = \operatorname{ctg} \alpha_r \pm Kz_0 / P_z,$$

где  $\alpha_r$  – профильный угол основного червяка,  $\operatorname{ctg} \alpha_r \approx \operatorname{ctg} \alpha \cos \gamma_{m0}$ . Знак «+» принимают для левой, а знак «-» для правой сторон профиля зуба.

Для левозаходных фрез вторые члены в формулах меняют знаки на обратные.

Профильные углы у стандартных фрез типов 1 и 2 с модулем 1...20 мм изменяются для  $\alpha_{xR0}$  от 20°01' до 20°14' и для  $\alpha_r$  от 19°58' до 19°57'.

Для червячной правозаходной стандартной фрезы на основе конволютного червяка углы профиля для левой и правой сторон принимают равными между собой и задают в нормальном сечении фрез ( $\alpha_{n0} = 20^\circ$ ). Для повышения точности обработки рекомендуется у фрез, имеющих  $\gamma_{m0} \geq 3^\circ$  увеличить угол  $\alpha_{n0}$  на величину  $\Delta\alpha$ . У фрез с  $\gamma_{m0}$ , равным 3; 4; 5; 6 и 7°,  $\Delta\alpha$  соответственно принимают равным 1'; 1,5'; 2,5'; 4' и 6'.

Червячные фрезы могут иметь уменьшенный профильный угол, что способствует увеличению продолжительности зацепления фрезы при нарезании, приводит к снижению шероховатости  $Ra$  и гранности обработанной поверхности. При этом создаются благоприятные условия для увеличения числа заходов фрезы,

а следовательно, и производительности зубофрезерования. Практика показывает, что профильный угол не рекомендуется принимать меньше 12°, так как на боковых сторонах зуба получаются углы меньше 2°. С уменьшением угла профиля фрезы наблюдается подрезание профиля зубьев колес с  $d_b > d_f$ , что в ряде случаев является недопустимым.

Размеры профиля зуба фрезы по передней поверхности необходимы для контроля профиля зуба новой фрезы с помощью профильных калибров и расчета их исполнительных размеров.

Для фрез с  $\gamma_{a0} = 0$  размеры  $h_{a0}$ ,  $h_0$ ,  $S_{r0}$  остаются без изменения, а у фрез с  $\gamma_{a0} > 0$  высоту головки  $h'_{a0}$  и высоту зуба  $h'_0$  по передней поверхности у новой фрезы (см. рис. 8.22, б) определяют по формулам:

$$h_{a0} = \frac{(d_{a0} - 2h_{a0}) \sin(\gamma_m - \gamma_{a0})}{2 \sin \gamma_{a0}};$$

$$h'_0 = \frac{(d_{a0} - 2h_{a0}) \sin(\gamma_f - \gamma_{a0})}{2 \sin \gamma_{a0}},$$

где  $\sin \gamma_m = 2r\gamma / (d_{a0} - 2h_{a0})$ ;  $\sin \gamma_f = 2r\gamma / (d_{a0} - 2h_0)$ ;  $r\gamma = 0,5 d_{a0} \sin \gamma_{a0}$ .

Общая длина фрезы  $L = L_1 + 2l_1$ , где  $L_1$  – длина нарезанной части;  $l_1$  – длина буртиков,  $l_1 = 3...6$  мм.

Диаметр буртиков  $d_1 = d_{a0} - 2H - (3...5)$  мм. Буртики шлифуют по диаметру и торцу, так как они служат для контроля биения фрезы при ее изготовлении и установке на станке. Длина  $L_1 \approx 2h_{a0} \operatorname{ctg} \alpha_{n0} + X\pi m_0$ , где  $X$  – коэффициент, выбирается в зависимости от  $m_0$ :

$m_0$ , мм	До 2	Св. 2 до 5	Св. 5 до 15	Св. 15
$X$	13...7	5,5...3,5	3...2	1,8...1,4

При работе с передвижками рабочую длину рекомендуется увеличить в 1,2...1,8 раза, что повышает общий срок службы фрезы.

При нарезании косозубых колес с  $\beta > 20^\circ$  у червячных фрез рекомендуется делать заборный конус с углом 7...10° и длиной (5...7) $m_0$ , что позволяет более равномерно распределять припуск между зубьями. Для правозаходных фрез заборный конус делается на левой стороне, а для левозаходных – на правой стороне фрезы, если смотреть на ее переднюю поверхность. Длина поясков на посадочном диаметре отверстия  $l = (0,25...0,3)L$ .

После расчета общей длины фрезы проводится проверка возможности применения выбранного зубофрезерного станка.

Допуски и технические требования на параметры и размеры червячных фрез рекомендуют выбирать с учетом степени точности нарезаемого колеса и действующих государственных стандартов (ГОСТ 9324–80, ГОСТ 10331–81).

Выбор марки инструментального материала. Цельные червячные фрезы и зубчатые рейки к сборным фрезам изготавливают из быстрорежущих сталей марок Р6М5, 10Р6М5, Р9К10, Р6М5К5, Р6М5Ф2К8 и др. (ГОСТ 19265–73). Фрезы из сталей марок Р6М5 и 10Р6М5 рекомендуют применять для обработки углеродистых и легированных конструкционных сталей ( $\sigma_b < 900...1000$  Н/мм<sup>2</sup>), а сложнолегированные быстрорежущие стали Р9К10, Р6М5К5 и другие целесообразно применять для изготовления фрез, предназначенных для обработки труднообрабатываемых материалов ( $\sigma_b > 1000$  Н/мм<sup>2</sup>). Твердость рабочей части фрезы 63...66 HRC. Для повышения стойкости в 1,3...2 раза и срока службы червячных фрез из быстрорежущих сталей при их изготовлении рекомендуется наносить на передние и задние поверхности износостойкие покрытия (карбид и нитрид титана, карбид ниобия и др.) толщиной 0,004...0,008 мм.

Для сборных червячных фрез, предназначенных для высокоскоростного нарезания зубьев зубчатых колес из конст-

рукционных и труднообрабатываемых сталей и сплавов, чугунов и других материалов (45...60 HRC), рекомендуют применять твердые сплавы марок ВК6М, ВК8, ВК10-ОМ, Т5К10, ТТ7К12 и др. Твердосплавные фрезы позволяют в ряде случаев заменить трудоемкую операцию зубошлифования чистовым фрезерованием. При этом производительность и стойкость таких фрез в зависимости от обрабатываемого материала и режимов резания в 2...20 раз больше, чем у фрез из быстрорежущих сталей. К недостаткам твердосплавных фрез следует отнести большую трудоемкость и сложность их изготовления, обязательное применение высокоскоростных зубофрезерных станков, обладающих повышенной жесткостью и точностью.

Схемы резания и конструкции червячных зубофрезерных фрез. Зубья стандартных червячных фрез работают в тяжелых условиях и срезают слой по замкнутому контуру  $ABCD$  (рис. 8.23, а). При этом наиболее погруженными являются вершинные режущие кромки, срезающие до 80% общего припуска. В процессе работы наблюдается неравномерный износ зубьев по передней поверхности с образованием лунок и по задней поверхности с образованием неравномерных по профилю площадок износа. Максимальный износ, как показывает практика, имеют задние поверхности в уголках выходной режущей кромки, что связано с торможением свободного схода и взаимодействием стружек, снимаемых вершинной и двумя боковыми кромками. При этом усиливаются наростообразование, дробление и нестабильность процесса резания, что снижает точность и качество обработки. Для исключения этих недостатков и уменьшения износа зубьев можно применять схемы резания, отличающиеся от схемы резания стандартных фрез и предназначенные в основном для черновых и получистовых фрез.

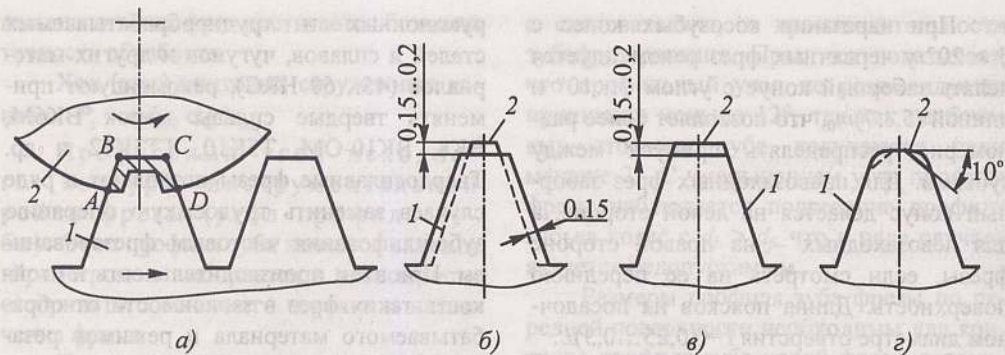


Рис. 8.23. Схема резания стандартной фрезой (а) и профиль зубьев (б-з) у фрез с новыми схемами резания

При прогрессивной схеме резания (рис. 8.23, б) все четные зубья 2 имеют уменьшенную высоту и номинальную толщину, а все нечетные зубья – нормальную высоту и уменьшенную толщину, что приводит к более равномерному износу зубьев при работе фрезы. При вершинонагруженной схеме (рис. 8.23, в) все зубья имеют одинаковую номинальную толщину, но все нечетные зубья 1 занижены по высоте относительно четных зубьев 2, что улучшает условия резания. Применение на зубьях фрезы фасок (рис. 8.23, з) на правой стороне нечетных зубьев 1 и на левой стороне четных зубьев 2 способствует разделению стружки на две части, а также уменьшает износ зубьев.

Изготовление червячных фрез по описанным схемам гораздо сложнее и

требует изготовления зубьев с разными размерами по профилю.

Цельные фрезы нашли широкое применение, так как просты в изготовлении и эксплуатации, обладают достаточной жесткостью и виброустойчивостью.

Перспективным является применение прогрессивных конструкций составных и сборных фрез. Причем составные червячные фрезы являются переходными по своим конструктивным особенностям между цельными и сборными конструкциями. В составных фрезах соединение режущих элементов с корпусом производят пайкой или склеиванием. Метод склеивания с помощью термостойких клеев является достаточно надежным и простым. На рис. 8.24 показана одна из таких конструкций, состоящая из корпуса 1,

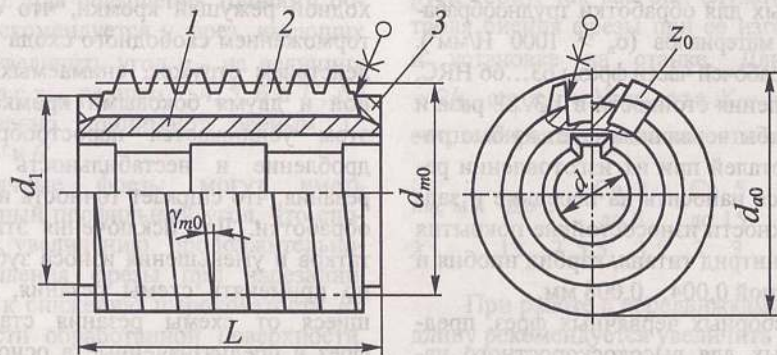


Рис. 8.24. Составная червячная фреза клееной конструкции

зубчатой рейки 2 и двух опорных крышек 3. Все детали перед склеиванием подвергаются требуемой термообработке. Пастообразный клей марки УП-5-207 наносят по всему периметру базовых поверхностей, после чего зубчатые рейки устанавливают в пазы со взаимным центрированием и базированием по конической поверхности одной из крышек, а затем одевается вторая крышка.

Собранную фрезу выдерживают в течение двух часов при температуре 150...170 °С, в результате чего происходит отверждение клея. В дальнейшем обработка фрезы производится по обычной технологии.

Из сборных конструкций фрез широкое распространение получили фрезы с поворотными зубчатыми рейками с модулем 1...12 мм на основе Архимедова червяка с прямыми осевыми стружечными канавками классов точности А и В. Особенность этих фрез состоит в том, что шлифование профиля зубчатых реек производится не на затыловочных, а на резьбошлифовальных станках без затылующего движения. Это становится возможным при определенной установке реек в специальных технологических или рабочих корпусах, когда поверхности вершин зубьев находятся на цилиндрической поверхности основного червяка, а боковые – на винтовой. Обработка по такой схеме

позволяет изготовить профиль зуба с высокой производительностью и точностью. После этого рейки переносят в требуемое рабочее положение и закрепляют в корпусе.

Фрезы таких конструкций по сравнению с обычными затылованными фрезами имеют в 2...2,5 раза больше переточек, увеличенные задние углы и повышенную производительность. К недостаткам их относятся высокие требования к точности изготовления посадочных мест в корпусах и самих реек, при этом требуются их взаимное центрирование и надежность крепления.

Червячная фреза фирмы «Клингелберг» (Германия) – КазАЗ (рис. 8.25, а) состоит из корпуса 1 с прямоугольными пазами, в которых по глухой посадке устанавливаются взаимно выставленные в осевом направлении зубчатые рейки 2. После этого они окончательно фиксируются крышками 3. Сборная фреза конструкции ВНИИинструмент (рис. 8.25, б) отличается от предыдущей конструкции тем, что в корпусе 1 имеются пазы в форме трапеции. Крепление зубчатых реек 2 производят с помощью радиальных клиньев 3, обеспечивающих надежное центрирование их по основанию и боковым сторонам пазов, а также быструю сборку и разборку фрезы. Окончательное закрепление реек с торцов осуществляют крышками.

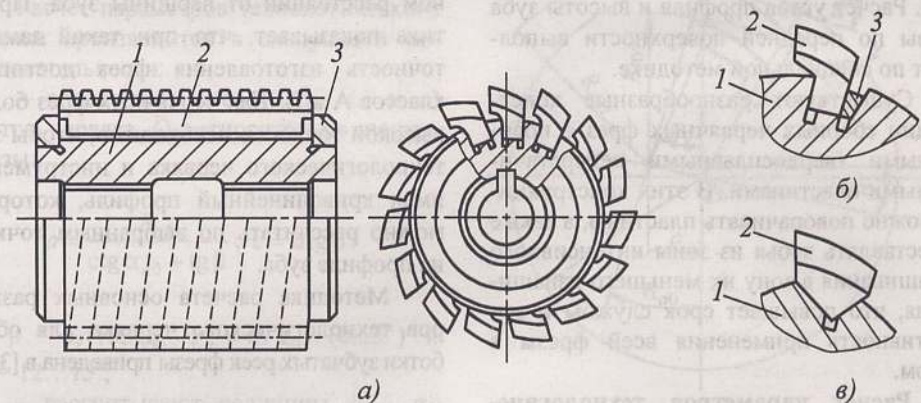


Рис. 8.25. Сборная червячная фреза с поворотными рейками

Особенностью червячной фрезы фирмы «Сампутенсили» (Италия) – ВА3 (рис. 8.25, в) является наличие в корпусе 1 пазов трапецевидной формы, по сторонам которых базируются зубчатые рейки 2. Крепление реек производят с торцов крышками с помощью винтов. Недостатком конструкции является малая жесткость зубчатых реек.

Перспективным является применение полочистовых и чистовых твердосплавных червячных фрез, которые в зависимости от модуля выполняют цельными, составными или сборными. Задние поверхности изготавливают с острозаточенными или затылованными зубьями.

Цельные твердосплавные червячные фрезы изготавливаются с  $m_0 = 0,1...2,5$  мм,  $d_{a0} = 25...70$  мм и не имеют особых конструктивных особенностей.

Составные и сборные червячные фрезы ( $m_0 = 1,5...10$  мм) позволяют значительно экономить дорогостоящий твердый сплав и, тем самым, снижать стоимость инструмента.

При обработке закаленных (48...62 HRC) зубчатых колес с  $m_0 > 4$  мм можно применять составные твердосплавные червячные фрезы с отрицательным передним углом  $10...30^\circ$ . Фреза состоит из корпуса 1, к зубьям которого прикрепляют режущие твердосплавные пластины 2 с помощью пайки или клея (рис. 8.26). Профиль зубьев выполняют затылованным. Расчет углов профиля и высоты зуба фрезы по передней поверхности выполняют по специальной методике.

Существуют разнообразные конструкции сборных червячных фрез с поворотными твердосплавными неперетачиваемыми пластинами. В этих конструкциях можно поворачивать пластины, а также переставлять зубья из зоны интенсивного изнашивания в зону их меньшего изнашивания, что повышает срок службы и эффективность применения всей фрезы в целом.

Расчет параметров технологического червяка для обработки реек

сборных червячных фрез\*. Обработку профиля зубчатых реек сборных фрез производят в корпусах технологических червяков, а затем рейки переносят и закрепляют в рабочих корпусах червячных фрез. При таком переносе точность профиля, достигнутая при круглом шлифовании реек, несколько снижается.

Для повышения точности рекомендуется ужесточать нормы точности изготовления всех элементов конструкций рабочего и технологического корпусов, установочных баз и др. Например, рекомендуют, чтобы радиальное биение и непараллельность основания пазов корпуса осевой плоскости, неплоскостность и непрямолинейность базовых поверхностей зубчатых реек была не более 0,003 мм [36]. Без соблюдения таких высоких требований к точности изготовления отдельных элементов невозможно обеспечить точную сборку и выполнить требования, которые регламентируются техническими условиями или стандартами на червячные фрезы.

Все червячные фрезы с поворотными зубчатыми рейками изготавливают на базе более точного основного Архимедова червяка с прямыми осевыми стружечными канавками. При этом теоретический криволинейный профиль заменяют прямой линией, проходящей через две крайние точки, расположенные на определенном расстоянии от вершины зуба. Практика показывает, что при такой замене точность изготовления фрез достигает классов А и В. Для червячных фрез более высокой точности необходимо, чтобы зуб технологического червяка и инструмента имел криволинейный профиль, который можно рассчитать по выбранным точкам на профиле зуба.

Методика расчета основных размеров технологического червяка для обработки зубчатых реек фрезы приведена в [36].

\* Автор Ю.И. Иванов

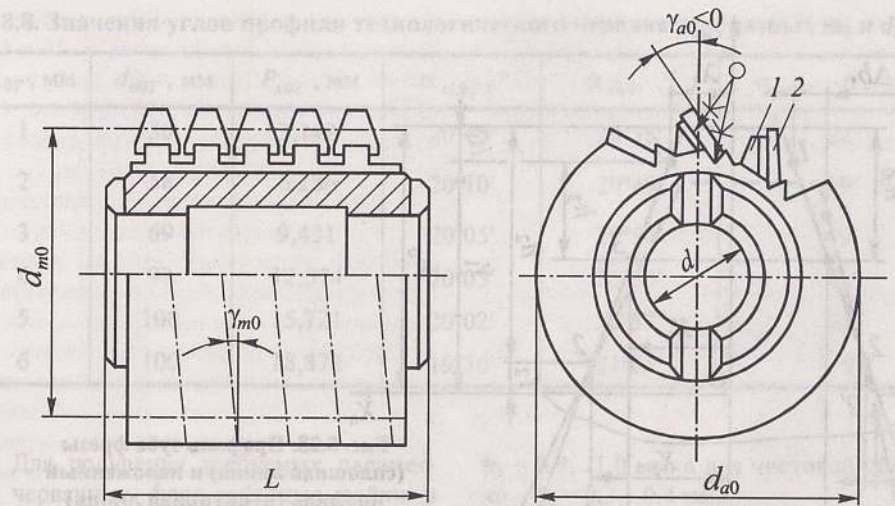


Рис. 8.26. Червячная фреза с твердосплавными пластинами для обработки закаленных зубчатых колес

Исходными данными являются следующие параметры червячной фрезы:  $m_0$ ,  $d_{a0}$ ,  $d_{m0}$ ,  $z_0$ ,  $z_{10}$ ,  $\gamma_{m0}$ ,  $P_{x0}$ ,  $S_{x0}$ ,  $\alpha_{x0}$ ,  $h_0$ .

Основные размеры технологического червяка имеют следующие обозначения:

- $R_{a0T}$  – радиус наружной окружности червяка;
- $R_{f0T}$  – радиус внутренней окружности червяка;
- $h_{0T}$  – высота профиля зуба червяка.

Расчетная схема установки зубчатой рейки в технологическом червяке показана на рис. 8.27.

Расчет параметров технологического червяка производится в следующей последовательности:

- определяют координаты ( $a$  и  $c$ ) центра червяка  $O_T$  относительно центра фрезы:

$$a = \frac{R_{a0}}{\operatorname{ctg} \alpha_{a0} + \operatorname{tg} \beta}; \quad c = a \operatorname{tg} \beta,$$

где  $\beta = 0,4133\psi_k$ ,  $\psi_k = \pi/z_0 + (0...3^\circ)$  и  $\alpha_{a0} = 12...15^\circ$ ;

- рассчитывают величины  $R_{a0T}$ ,  $\alpha_f$ ,  $R_{f0T}$  и  $h_{0T}$ :

$$R_{a0T} = a / \sin \alpha_{a0}; \quad \alpha_f = \arctg \frac{a}{R_{a0} - c - h_0};$$

$$R_{f0T} = R_{a0T} \frac{\sin \alpha_{a0}}{\sin \alpha_f}; \quad h_{0T} = R_{a0T} - R_{f0T};$$

- определяют координаты  $X$  и  $Y$  двух расчетных точек 1 и 2 на профиле зуба фрезы (рис. 8.28):

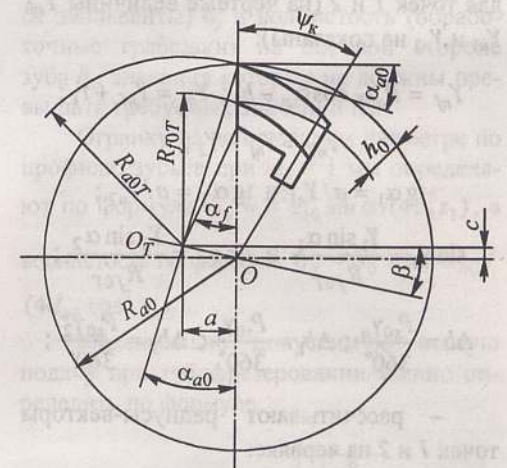


Рис. 8.27. Схема установки зубчатой рейки

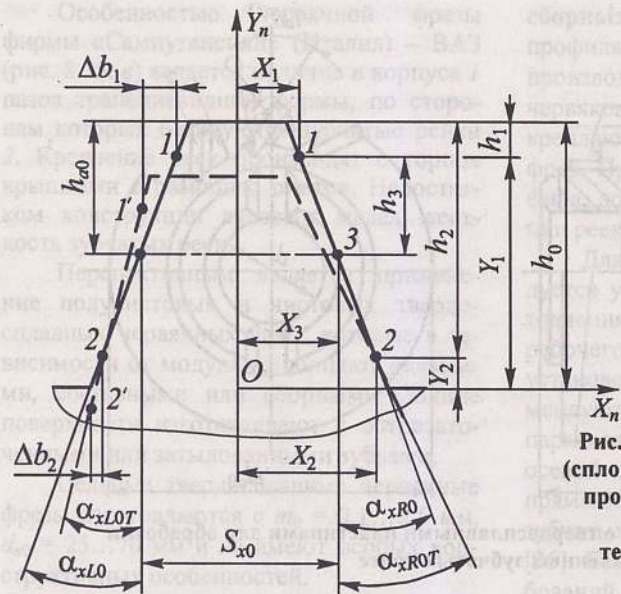


Рис. 8.28. Профиль зуба фрезы (сплошная линия) и наложенный профиль (пунктирная линия) осевого сечения технологического червяка

$$Y_1 = h_0 - h_1; X_1 = 0,5S_{x0} - (h_{a0} - h_1) \operatorname{tg} \alpha_{x0};$$

$$Y_2 = h_0 - h_2; X_2 = 0,5S_{x0} - (h_1 - h_{a0}) \operatorname{tg} \alpha_{x0},$$

где  $h_1 = 0,6m_0$ , а  $h_2 = 2,125m_0$ ;

– рассчитывают координаты ( $Y_{n1}$  и  $Y_{n2}$ ) и углы профиля в осевом сечении технологического червяка (см. рис. 8.28) для точек 1 и 2 (на чертеже величины  $Y_{nf}$ ,  $Y_{n1}$  и  $Y_{n2}$  не показаны):

$$Y_{nf} = R_{a0T} \cos \alpha_a - h_0; Y_{n1} = Y_{nf} + Y_1;$$

$$Y_{n2} = Y_{nf} + Y_2;$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = a/Y_{n1} \text{ и } \operatorname{tg} \alpha_2 = a/Y_{n2};$$

$$\sin \gamma_1 = \frac{Y_1 \sin \alpha_1}{R_{f0T}} \text{ и } \sin \gamma_2 = \frac{Y_2 \sin \alpha_2}{R_{f0T}};$$

$$\Delta b = \frac{P_{x0} Y_n}{360^\circ}; \Delta b_1 = \frac{P_{x0} Y_1}{360^\circ}; \Delta b_2 = \frac{P_{x0} Y_2}{360^\circ};$$

– рассчитывают радиусы-векторы точек 1 и 2 на червяке:

$$R_{1T} = Y_{n1} / \cos \alpha_1; R_{2T} = Y_{n2} / \cos \alpha_2;$$

– определяют высотные размеры точек 1 и 2:

$$h_{1T} = R_{1T} - R_{f0T}; h_{2T} = R_{2T} - R_{f0T};$$

– рассчитывают абсциссы точек 1 и 2 на правой и левой сторонах профиля червяка:

$$X_{R1T} = X_1 - \Delta b_1; X_{L1T} = X_1 + \Delta b_1;$$

$$X_{R2T} = X_2 - \Delta b_2; X_{L2T} = X_2 + \Delta b_2;$$

– определяют разность абсцисс и расстояние по высоте между точками 1 и 2 профиля технологического червяка:

$$b_R = X_{R2T} - X_{R1T}; b_L = X_{L2T} - X_{L1T};$$

$$\Delta h_T = h_{1T} - h_{2T};$$

– рассчитывают углы профиля с правой и левой стороны зуба технологического червяка в осевом сечении:

$$\operatorname{tg} \alpha_{xROT} = b_R / \Delta h_T \text{ и } \operatorname{tg} \alpha_{xLOT} = b_L / \Delta h_T.$$

Для сравнения в табл. 8.8 приведены рассчитанные значения углов профиля технологического червяка однозаходной зуборезной фрезы [24].

8.8. Значения углов профиля технологического червяка при разных  $m_0$  и  $d_{a0T}$

$R_{a0T}$ , мм	$d_{a0T}$ , мм	$P_{x0T}$ , мм	$\alpha_{xLOT}$ , °	$\alpha_{xROT}$ , °	$\alpha_{xROT} - \alpha_{xLOT}$ , °
1	50	3,142	20°16'	20°38'	22'
2	58	6,286	20°10'	20°49'	39'
3	69	9,431	20°05'	20°54'	49'
4	93	12,574	20°05'	20°53'	48'
5	100	15,721	20°02'	20°57'	55'
6	100	18,872	19°56'	21°05'	1°9'

Для получения требуемых параметров червячных фрез зубчатые рейки в технологическом червяке окончательно шлифуют кругами с учетом расчетных значений углов технологического червяка.

В точках 3, расположенных на правой и левой сторонах зуба между точками 1 и 2 (см. рис. 8.28) и имеющих координаты  $h_3 = 0,5(h_2 - h_1)$  и  $X_3$ , возникают погрешности справа –  $\Delta b_{3п}$  и слева –  $\Delta b_{3л}$ .

Размеры  $X_3$  рассчитывают с учетом профильных углов правой и левой сторон, а по значениям  $h_3$  и  $X_3$  рассчитывают величины погрешности по приведенным выше формулам.

Следует отметить, что червячными фрезами с поворотными рейками можно обрабатывать изделия и с незвольвентными профилями (шлицевые валы, звездочки и др.). Для расчета таких фрез применяют описанную выше методику, задаваясь при этом большим числом расчетных точек (5; 6).

**Эксплуатация червячных фрез.** Эффективность применения червячных фрез во многом зависит от правильной эксплуатации, применяемых режимов и условий обработки. Практика показывает, что критерием затупления является износ зубьев фрезы ( $h_3$ ) по задней поверхности, которому соответствует оптимальный период стойкости  $T$ . Рекомендуемое значение износа  $h_3$  фрез, предназначенных для черновой и получистовой обработки,

$h_3 = 0,9 \dots 1,0$  мм, а для чистовой обработки –  $h_3 = 0,3 \dots 0,4$  мм.

Количество переточек  $n$  червячных фрез с затылованными зубьями рассчитывают по формуле  $n \approx \pi d_{a0} \varepsilon / (180h)$ , где  $h$  – величина съема по передней поверхности зуба при переточках с учетом износа зубьев по задней поверхности ( $h = h_3 + 0,2 \dots 0,4$  мм). Общий срок службы фрезы  $T_0 = T(m+1)$ . Выбор режимов обработки проводят с учетом параметров и назначения фрезы, обрабатываемого материала и шероховатости  $Rz$  обрабатываемых поверхностей. При зубофрезеровании на поверхностях зубьев шестерен образуются огранка (отклонение профиля от эвольвенты)  $\delta_y$  и волнистость (обработочные гребешки) на боковой стороне зуба  $\delta_x$ , значения которых не должны превышать требуемых значений  $Rz$ .

Огранку на делительном диаметре по профилю зубьев при  $m_0 = 1$  мм определяют по формуле  $\delta_y \approx \pi^2 z_1^2 \sin \alpha / (4z_0^2 z_1)$ , а волнистость по формуле  $\delta_x \approx S_0^2 \times \sin \alpha_{n0} / (4d_{a0} \cos^2 \gamma_{m0})$ .

Максимально допустимую осевую подачу при зубофрезеровании можно определить по формуле

$$|S_0| \approx 2 \cos \gamma_{m0} \sqrt{\frac{d_{a0} \delta_x}{\sin \alpha_{n0}}}.$$



При проектировании чистовых фрез необходимо обязательно рассчитывать значения  $\delta_y$  в зависимости от  $z_0$ ,  $z_{10}$ ,  $z_1$ , а при выборе осевой подачи фрезерования учитывать параметры фрезы.

### 8.5. Шеверы

Шеверы применяют для чистовой обработки цилиндрических колес  $m = 0,2...8,0$  мм с прямыми и винтовыми зубьями наружного и внутреннего зацепления. Шевингование повышает точность колес, как правило, примерно на одну степень, при этом исправляются профиль зубьев, шаг, направление зубьев, биение зубчатого венца, а шероховатость поверхности зубьев снижается с  $Ra = 3,0...2,5$  мкм до  $Ra = 0,63...0,32$  мкм. Хуже исправляется накопленная погрешность шага. Шеверы бывают дисковые и реечные для обработки цилиндрических колес и червячные для обработки червячных колес. Наибольшее применение получили дисковые шеверы.

Станочная пара шевёр–колесо, элементы которой вращаются вокруг скрещивающихся под углом  $\Sigma$  осей, воспроизводит зацепление либо винтовой передачи с точечным контактом (для обычного шевера), либо пространственной передачи с линейчатым контактом (для облегающего шевера). При зацеплении из-за скрещивания осей шевера и колеса возникает относительное скольжение профилей их зубьев – главное движение резания, при котором режущие кромки шевера снимают с заготовки тонкие волосообразные стружки.

При шевинговании осуществляются также продольное перемещение (подача  $S_{пр}$ ) колеса в направлении его оси и периодическая радиальная подача ( $S_{рад}$ ) – сближение осей шевера и колеса в конце продольного прохода. Для облегчающих шеверов  $S_{пр}$  отсутствует и обработка производится по методу короткого хода. Режимы резания шеверами из быстрорежущей стали: окружная скорость на начальном цилиндре  $v_0 = 100...140$  м/мин;

продольная подача на оборот заготовки  $S_{пр} = 0,15...0,25$  мм при  $z_1 = 17...20$  и  $S_{пр} = 0,45...0,60$  мм при  $z_1 = 50...100$ ; подача на двойной ход  $S_{рад} = 0,02...0,04$  мм. Припуск на обработку по толщине зубьев колес средних модулей  $\Delta S = 0,035m_n$ .

Дисковые шеверы представляют собой цилиндрическое зубчатое колесо с высотной коррекцией зубьев, величина которой изменяется при эксплуатации шевера в связи с его переточками.

Шеверы общего назначения для эвольвентных некорригированных колес (ГОСТ 8570–80), применяемые обычно в единичном и мелкосерийном производстве, выпускаются с номинальными делительными диаметрами: 85 мм для  $m = 1...1,5$  мм с углом наклона зубьев  $\beta_0 = 10^\circ$ ; 180 мм для  $m = 1,25...6$  мм; 240 мм для  $m = 2...8$  мм с углом  $\beta_0 = 5$  и  $15^\circ$ . Для колес с  $m = 0,2...0,9$  мм выпускают дисковые шеверы (ГОСТ 10222–81) с номинальным делительным диаметром 85 мм и углом  $\beta_0 = 10^\circ$ .

В массовом производстве используют шеверы, специально спроектированные для обработки колес заданных размеров.

Проектный расчет дискового шевера (рис. 8.29). Исходными данными для расчета являются параметры пары сопряженных колес и размеры зубьев в нормальном сечении к их направлению:  $m_n$ ,  $P_n$ ,  $\alpha$ ,  $\beta_1$ ,  $S_{n1}$ ,  $h_{a1}$ ,  $h_1$ ,  $z_1$ ,  $z_2$ .

Расчет шевера заключается в определении его размеров и проверке правильности зацепления обработанных им колес.

Угол наклона линии зубьев шевера  $\beta_0 = \beta_1 - \Sigma$ , где  $\Sigma$  – угол скрещивания осей колеса и шевера, рекомендуется назначать в пределах  $5...20^\circ$ . При обработке блочных колес из-за ограничения продольного хода шевера принимают меньшее значение угла  $\Sigma = 5...10^\circ$ . С увеличением угла  $\Sigma$  улучшаются условия резания, увеличивается скорость резания (скольжение), уменьшается нормальная составляющая силы резания, но также уменьшается пятно касания зубьев шевера и колеса, ухудшается исправляемость колес по

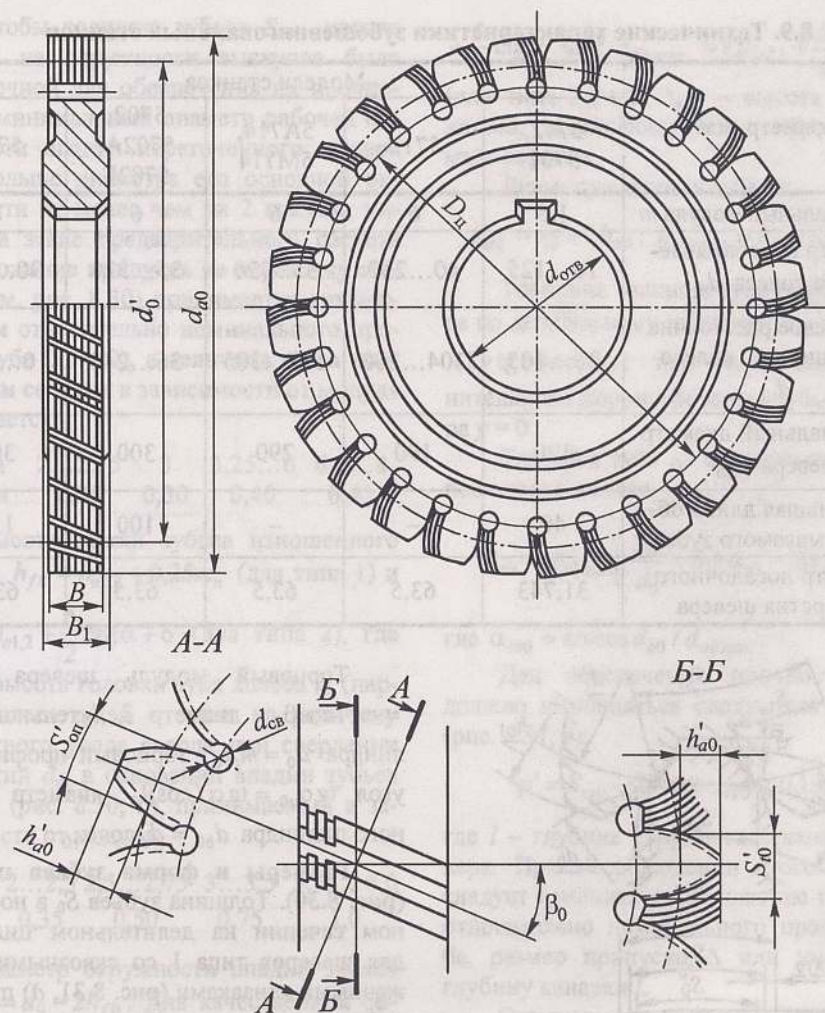


Рис. 8.29. Дисковый шевёр

направлению зубьев и увеличивается машинное время обработки. Направление зубьев шевера обычно принимается противоположным направлению зубьев колеса.

Число зубьев шевера предварительно рассчитывают по формуле

$$z_0 = \frac{(d_{a0\max} - 3m_n) \cos \beta_0}{m_n},$$

где  $d_{a0\max}$  – максимальный наружный диаметр шевера, допустимый для данной модели зубошевинговального станка (см.

табл. 8.9) или по ГОСТ 8570–80. В целях повышения точности обработки зубчатых колес окончательно принятое число зубьев не должно быть кратным или иметь общих множителей с  $z_1$  и, по возможности, должно быть простым числом: 29; 31; 37; 41; 47; 53; 61; 67; 71; 73; 83. Для мелкомодульных шеверов возможно число  $z_0$ , образованное двумя или тремя множителями. Наиболее употребительные числа зубьев  $z_0$  приведены в ГОСТ 8570–80 и ГОСТ 10222–81.

## 8.9. Технические характеристики зубошевнговальных станков

Параметр, мм	Модели станков				
	5712, 5701	571Б	5А714, 5М714	5702, 5702А, 5702Б	5703
Максимальный модуль $m$	1,5	6	6	6	8
Диаметр обрабатываемого колеса $d_{a1}$	10...125	40...232	35...320	35...320	90...500
Межосевое расстояние пары шевер – колесо $d_{10}$	36...105	104...200	102...305	36...240	0...398
Максимальный диаметр шевера $d_{a0}$	120	190	290	300	300
Наибольшая длина обрабатываемого зуба	40	–	–	100	150
Диаметр посадочного отверстия шевера	31,743	63,5	63,5	63,5	63,5

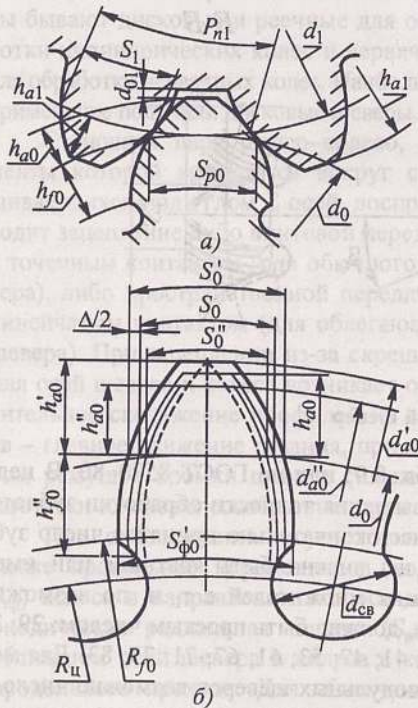


Рис. 8.30. Размеры зубьев шевера:  
а – в нормальном сечении;  
б – с учетом припуска на переточку

Торцовый модуль шевера  $m_t = m_n / \cos \beta_0$ ; диаметр делительного цилиндра  $d_0 = m_t z_0$ ; торцовый профильный угол  $\text{tg} \alpha_{t0} = \text{tg} \alpha / \cos \beta_0$ ; диаметр основного цилиндра  $d_{b0} = d_0 \cos \alpha_{t0}$ .

**Размеры и форма зубьев шевера (рис. 8.30).** Толщина зубьев  $S_0$  в нормальном сечении на делительном цилиндре для шевров типа 1 со сквозными стружечными канавками (рис. 8.31, д) при  $m = 0,3...1,75$  мм равна  $\pi m_n - S_{n1,2}$ ; для шевров типа 2 с прорезанными несквозными стружечными канавками при  $m > 1,75$  мм  $S_{0\text{нов}} = \pi m_n - S_{n1,2} \pm \Delta$ , где  $S_{n1,2}$  – нормальная толщина зуба на делительном цилиндре колеса  $z_1$  (парного колеса  $z_2$ ),  $\Delta$  – припуск на переточку на обе стороны зуба, знак «+» – для нового шевера, знак «-» – для изношенного шевера.

Припуск  $\Delta$  на переточку шевера влияет на размеры его зубьев ( $S_0$ ,  $h_{a0}$ ), срок службы шевера, ширину впадины между зубьями по окружности впадин. При выборе его следует руководствоваться

тем, чтобы толщина зубьев  $S_{a0}$  нового шевера на окружности выступов была достаточной для обеспечения их прочности, а минимальный диаметр рабочей окружности впадин переточенного шевера был больше диаметра его основной окружности не менее чем на 2 мм (см. ниже). На этапе предварительного расчета расположение припуска на переточку шевера (см. рис. 8.30) принимается симметричным относительно номинального профиля зуба ( $x_0 = 0$ ), а величина его в нормальном сечении в зависимости от модуля назначается:

$m$ , мм	2...2,75	3	3,25...6	6,5...8
$\Delta$ , мм	0,25	0,30	0,40	0,45

Высота ножки зубьев изношенного шевера  $h_{f0} = h_{a1,2} + 0,25m_n$  (для типа 1) и

$h_{f0} = h_{a1,2} + \frac{\Delta}{2} \text{ctg} \alpha + \delta$  (для типа 2), где

$h_{a1,2}$  – высота головки зуба колеса  $z_1$  (парного колеса  $z_2$ ),  $\delta$  – запас на величину возможного увода сверла при сверлении отверстий  $d_{св}$  в основании впадин зубьев шевера (рис. 8.30, б), принимаемый в зависимости от модуля:

$m$ , мм	2...2,5	2,5...2,75	3...3,5	3,75...8,0
$\delta$ , мм	0,35	0,50	0,75	1,0

Диаметр окружности впадин зубьев  $d_{f0\text{min}} = d_0 - 2h_{f0}$ . Для качественной обработки боковой поверхности зубьев колеса должно выполняться условие  $d_{f0\text{min}} \geq d_{b0} + 2$ . В противном случае выполняется дополнительное высотное корригирование зубьев шевера на величину  $y = d_{b0} - d_{f0\text{min}}$ , после чего проводят перерасчет размеров шевера:

$$S_{0\text{нов.скор}} = S_{0\text{нов}} + 2y \text{tg} \alpha;$$

$$h_{f0\text{скор}} = h_{f0} + y; d_{f0\text{скор}} = d_{f0} + 2y.$$

Высота головки зубьев нового шевера  $h_{a0} = 1,1h_{a2,1}$  (для типа 1) и  $h_{a0} = 1,1h_{a2,1} +$

$$+ \frac{\Delta}{2} \text{ctg} \alpha \text{ или } h_{a0\text{скор}} = 1,1h_{a2,1} + \frac{\Delta}{2} \text{ctg} \alpha + y$$

(для типа 2), где  $h_{a1,2}$  – высота головки колеса, зацепляющегося с обрабатываемым колесом.

Диаметры вершин зубьев:

$$d_{a0} = d_0 + 2h_{a0}; d_{a0\text{скор}} = d_0 + 2h_{a0\text{скор}}.$$

Торцовая толщина зуба нового шевера по делительному цилиндру  $S_{t0} = (S_{0\text{нов}} + 2y \text{tg} \alpha) \cos \beta_0$ ; при отсутствии дополнительного корригирования зубьев шевера  $y = 0$ .

Толщина зуба на окружности выступов нового шевера

$$S_{ta0} = d_{a0\text{max}} \left( \frac{S_{t0}}{d_0} + \text{inv} \alpha_{t0} - \text{inv} \alpha_{ta0} \right),$$

где  $\alpha_{ta0} = \arccos d_{b0} / d_{a0\text{max}}$ .

Для обеспечения прочности зуба должно выполняться следующее условие (рис. 8.31, е):

$$p' = S_{ta0} - 2l / \cos \alpha_{ta0} \geq 0,1 \text{ мм},$$

где  $l$  – глубина стружечных канавок шевера. При несоблюдении этого условия следует изменить расположение припуска относительно номинального профиля зуба, размер припуска  $\Delta$  или уменьшить глубину канавки  $l$ .

Стружечные канавки, образующие режущие кромки на боковых поверхностях зубьев шевров при  $m = 2...8$  мм (рис. 8.31, а), выполняются следующих форм: с боковыми сторонами, параллельными торцу шевера (рис. 8.31, б); со сторонами, нормальными к направлению зуба (рис. 8.31, в); трапециевидной формы, одна сторона которых параллельна торцу шевера, а другая нормальна к направлению зуба (рис. 8.31, г). При первой форме канавок передний угол на одной стороне положителен, а на другой – отрицателен. При второй форме передние углы шевера на обеих сторонах канавок имеют нулевое значение. Рекомендуемые

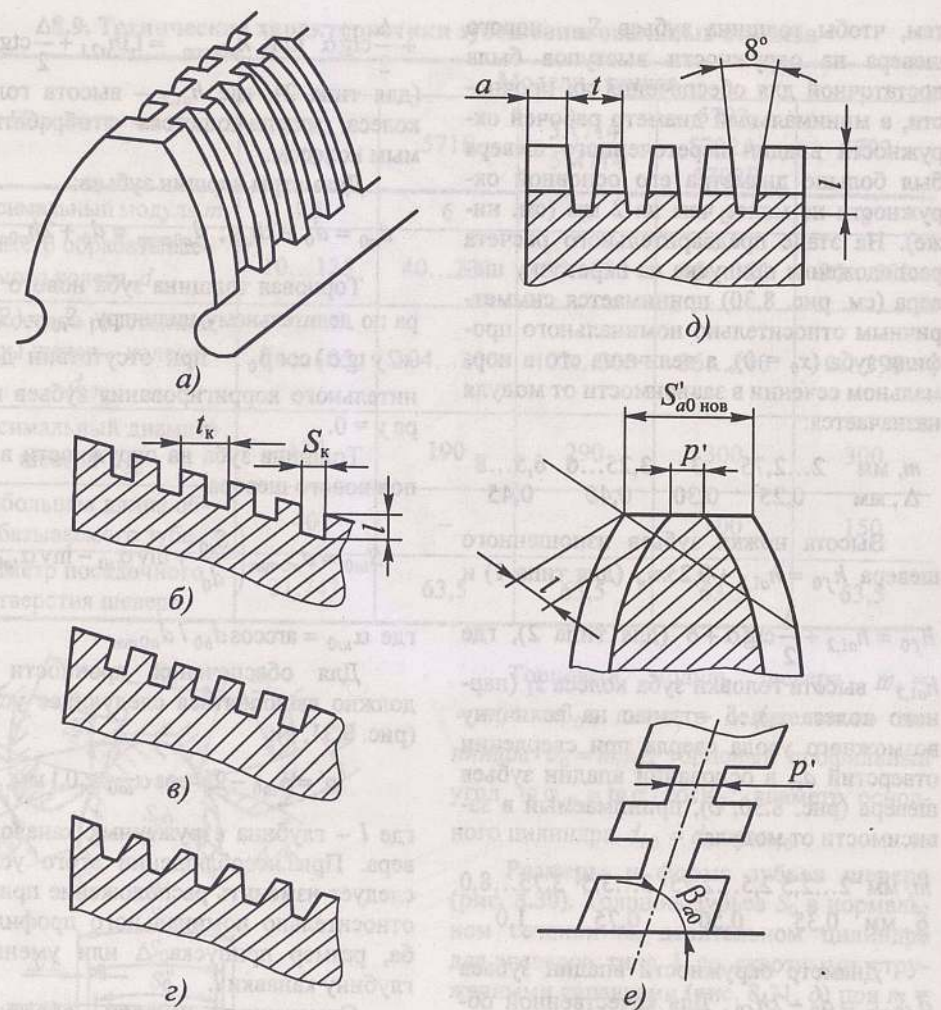


Рис. 8.31. Форма канавок на зубьях шевера

размеры канавок: шаг канавок (см. рис. 8.31, б)  $t_k = 1,8$  мм или (см. рис. 8.31, в)  $t_k = 2,2 \dots 2,4$  мм, глубина канавок  $l = 0,6 \dots 1,0$  мм, ширина  $S_k = 0,5 t_k$ .

У шеверов при  $m < 2$  мм канавки делаются сквозными, перерезающими зубья, прямоугольной или трапециевидальной формы с углом  $\delta = 8^\circ$  (см. рис. 8.31, а). Их размеры приведены в табл. 8.10.

Для шеверов типа 2 (с несквозными канавками) выполняют проверку достаточности ширины впадины по окружно-

сти впадин для прохождения гребенки при строгании канавок по условию

$$e_{f0} = d_{f0} (\pi/z_0 - S_{f0\phi}/d_0 - \text{inv} \alpha_{f0} + \text{inv} \alpha_{f0}') > 1,3 \text{ мм},$$

где  $\alpha_{f0} = \arccos d_{b0}/d_{f0}$ , а  $S_{f0\phi}$  — торцовая толщина зуба шевера после фрезерования по делительному цилиндру,  $S_{f0\phi} = S_{f0} + \Delta S / \cos \beta_0$ . Припуск  $\Delta S$  принимают в зависимости от  $m$ :

8.10. Размеры канавок шеверов при  $m < 2$ , мм

$m$	$t$	$l$	$b$	Количество канавок
От 0,2 до 0,28	1,4	1,0	0,7	6
Св. 0,28 до 0,5	1,7	1,5		5
Св. 0,5 до 0,7		2,0	0,6	6
0,8	2,1	2,5	0,7	
0,9		3,0	0,6	5
1,0	2,7	4,5	0,8	
1,255; 1,25		5,0	0,9	6
1,375	3,0	5,6		6
1,75				

$m$ , мм 2...2,5 2,5...3,75 4,0...8,0  
 $\Delta S$ , мм 0,35 0,45 0,50

$d_0$  ..... 85 180 250  
 $B$  ..... 15 20 25  
 $d_{\text{отв}}$  ..... 31,75 63,5 63,5

Диаметр отверстий в основании впадин зубьев шевера для выхода гребенки

$$d_{\text{св}} \geq e_{f0} + 2l + 0,5,$$

принимают с округлением до ближайшего целого числа.

Диаметр окружности расположения центров отверстий для выхода гребенки

$$D_{\text{ц}} = d_{f0\text{min}} - \sqrt{d_{\text{св}}^2 - e_{f0}^2}.$$

Условия свободного выхода гребенки окончательно проверяются прочерчиванием. При неудовлетворительном результате корректируют и вновь определяют  $D_{\text{ц}}$ .

Угол наклона оси отверстия  $\beta'$  равен углу наклона винтовой линии зуба шевера на цилиндре диаметром  $D_{\text{ц}}$ :

$$\text{tg} \beta' = D_{\text{ц}} \text{tg} \beta_0 / d_0,$$

обычно  $\beta' = \beta_0 - 1^\circ$ .

Ширину  $B$  рабочей части зубьев шевера и диаметр  $d_{\text{отв}}$  посадочного отверстия принимают следующих размеров, мм:

Полная ширина шевера с учетом ступицы  $B_1 = B + 1$ .

Для разделения плоскости точно обработанного торца ступицы от торца обода на торцах шевера делают круговую канавку глубиной 1...2 мм.

Расчет эксплуатационных параметров станочной пары шевера-колесо заключается в проверке возможности правильного зацепления колес, обработанных шевером. Для этого необходимо, чтобы активная часть профилей их зубьев в паре  $z_1-z_2$  была меньше активной части профилей зубьев колес в станочной паре, т. е. при зацеплении их с обрабатываемым шевером. Если картину пространственного зацепления станочной пары спроектировать на торцовую плоскость колес, то условие примет вид:

$$\rho_{p12} \geq \rho_{p10} + \Delta g,$$

где  $\rho_{p12}$  — радиус кривизны эвольвентной поверхности зуба колеса ( $z_1$ ) в его торцовой плоскости в нижней точке активного профиля при зацеплении с парным коле-

сом ( $z_2$ );  $\rho_{p10}$  – то же, при зацеплении с обрабатываемым шеве́ром ( $z_0$ );  $\Delta g$  – необходимое перекрытие обработкой активной части профиля, принимаемое равным:  $\Delta g = (0,15 \dots 0,20)m_t / \sin \alpha_{t1}$ .

Значение  $\rho_{p12} = a_{12} \sin \alpha_{t12} - \sqrt{r_{a2}^2 - r_{b2}^2}$ , где  $a_{12}$  – межосевое расстояние передачи;  $\alpha_{t12}$  – угол зацепления в передаче, определяемые по формулам (8.23), (8.24) и (8.26).

Значение  $\rho_{p10} = (g_{10} - \rho_{a0} / \sin \gamma_{b0}) \times \sin \gamma_{b1}$ .

Здесь  $g_{10}$  – длина линии зацепления станочной пары,

$$g_{10} = \frac{\sqrt{r_{w0}^2 - r_{b0}^2}}{\sin \gamma_{b0}} + \frac{\sqrt{r_{w1}^2 - r_{b1}^2}}{\sin \gamma_{b1}}$$

Радиус кривизны профиля зуба шевера в его торцовом сечении на окружности выступов

$$\rho_{a0} = \sqrt{r_{a0}^2 - r_{b0}^2}$$

Углы подъема  $\gamma_{b0}$  и  $\gamma_{b1}$  винтовых линий зубьев шевера и колеса на основных цилиндрах радиусов  $r_{b0}$  и  $r_{b1}$ :

$$\cos \gamma_{b0} = \cos \alpha \sin \beta_0;$$

$$\cos \gamma_{b1} = \cos \alpha \sin \beta_1.$$

В формуле при определении длины линии зацепления станочной пары  $r_{w0}$  – радиус начального цилиндра шевера:  $r_{w0} = r_0$  – для шевера типа 1,  $r_{w0} = r_0 + \frac{\Delta}{2} \operatorname{ctg} \alpha + y$  – для нового шевера типа 2 и

$r_{w0} = r_0 - \frac{\Delta}{2} \operatorname{ctg} \alpha - y$  – для изношенного шевера типа 2;  $r_{w1}$  – радиус начального цилиндра колеса:  $r_{w1} = r_1 \operatorname{tg} \beta_{w1} / \operatorname{tg} \beta_1$  при  $\beta_1 \neq 0$  и  $r_{w1} = d_{b1} / \cos \alpha_{mw}$ , при  $\beta_1 = 0$ .

При несоблюдении условия  $\rho_{p12} \geq \rho_{p10} + \Delta g$  необходимо пересчитать радиус вершин зубьев шевера:

$$r_{a0} = \sqrt{\rho_{a0\max}^2 + r_{b0}^2},$$

где  $\rho_{a0\max}$  – наибольший радиус кривизны профиля зуба в торцовом сечении с учетом перекрытия обработкой активной части профиля зуба колеса,

$$\rho_{a0\max} = \left( g_{10} - \frac{\rho_{p12} - \Delta g}{\sin \gamma_{b1}} \right) \sin \gamma_{b0}.$$

Необходимо пересчитать также высоту и толщину головки зуба.

Для качественной обработки шеве́ром коэффициент перекрытия должен быть

$$\varepsilon = \frac{g_{a10}}{\pi m \sin \gamma_{b1} \cos \alpha} \geq 1,1.$$

Требование по точности конструктивных элементов шеве́ров устанавливаются в зависимости от требуемой точности обработанных колес: для колес 5-й степени точности – шеве́ры класса точности AA, для колес 6-й степени точности – шеве́ры класса A, для колес 7-й степени точности – шеве́ры класса B. Допускаемые отклонения параметров шеве́ров классов точности AA, A и B (по ГОСТ 10222–81 и ГОСТ 8570–80) приведены в табл. 8.11.

Параметры шероховатости рабочих поверхностей шеве́ров не должны превышать: боковых поверхностей зубьев –  $Rz$  1,6, опорных торцовых поверхностей –  $Ra$  0,40, посадочного отверстия –  $Ra$  0,25 для классов точности AA и A и  $Ra$  0,32 для класса точности B.

Шеве́ры изготавливают из быстрорежущих сталей марок P6M5, P6M5K5, P18. При этом твердость режущих частей шеве́ров должна быть 63...66 HRC.

При обработке зубчатых колес с  $m = 2 \dots 6$  мм из улучшенных и термически обработанных сталей до твердости 35...48 HRC и выше шеве́ры выполняют с твердосплавными зубьями, закрепляемыми пайкой (рис. 8.32, а), с помощью специального клея, механически клиньями или

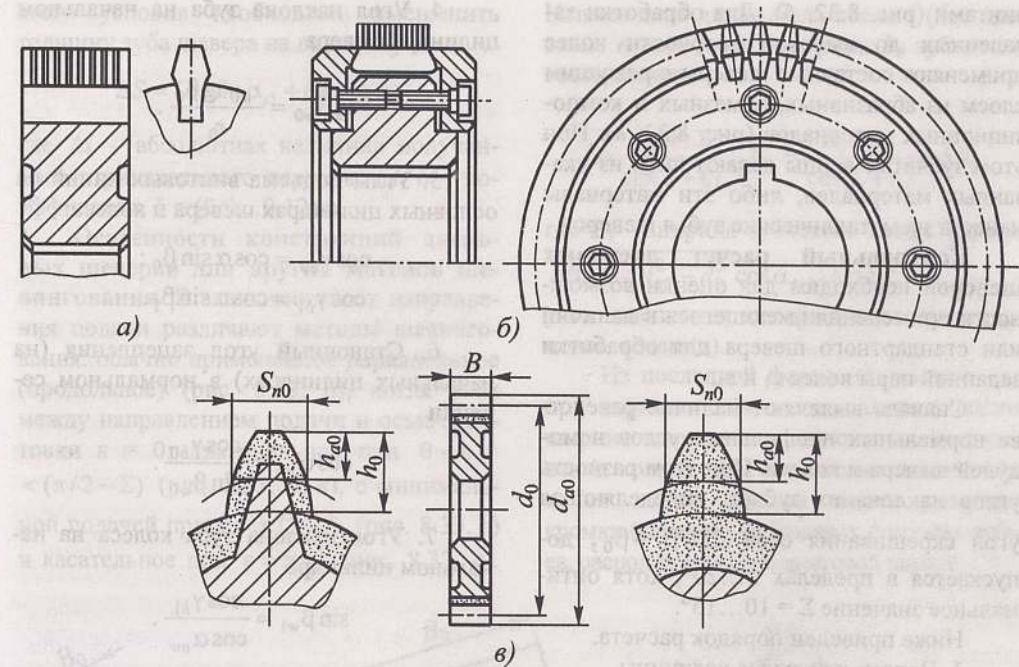


Рис. 8.32. Дискосеверы: а, б – твердосплавные; в – алмазные

### 8.11. Предельные отклонения параметров шеве́ров, мкм

Параметр и обозначение его отклонения	Степень точности шеве́ров класса		
	AA	A	B
Диаметр посадочного отверстия, $f_d$	5	5	5...8
Профиль зубьев, $f_{f0}$	3...4	4...6	5...8
Высота головки зуба, $f_{ha0}$	$\pm(12...20)$	$\pm(10...25)$	$\pm(15...25)$
Диаметр окружности выступов, $f_{da0}$	$\pm 200$	$\pm 400$	$\pm 400$
Разность окружных шагов, $f_{vpt0}$	3	3	4...5
Накопленная погрешность окружного шага, $F_{p0}$	8...10	12	16
Радиальное биение зубчатого венца, $F_{r0r}$	6...8	10	18
Направление зуба, $f_{\beta 0}$	$\pm(6...8)$	$\pm 9$	$\pm 11$
Параллельность торцовых поверхностей, $f_x$	5	8	10
Отклонение от перпендикулярности торцовых поверхностей отверстия, $f_{xy}$	5	7	8

винтами (рис. 8.32, б). Для обработки закаленных до высокой твердости колес применяют составные шеверы с режущим слоем из абразивных, алмазных и композиционных материалов (рис. 8.32, в). При этом зубчатые венцы делают либо из указанных материалов, либо эти материалы наносят на металлические зубья шеверов.

**Контрольный расчет дисковых шеверов** необходим для оценки возможности применения имеющегося в наличии или стандартного шевера для обработки заданной пары колес  $z_1$  и  $z_2$ .

Сначала выявляют наличие равенства нормальных профильных углов и модулей шевера и колеса. При этом разность углов наклона их зубьев, определяющая угол скрещивания осей  $\Sigma = \beta_1 - \beta_0$ , допускается в пределах  $5 \dots 20^\circ$ , хотя оптимальное значение  $\Sigma = 10 \dots 15^\circ$ .

Ниже приведен порядок расчета.

#### 1. Вспомогательные величины

$$K = \left( \frac{S_0}{d_0 \cos \beta_0} + \text{inv } \alpha_{r0} \right) + \left( \frac{S_1}{d_1 \cos \beta_1} + \text{inv } \alpha_{r1} - \frac{\pi}{z_1} \right) \frac{z_1}{z_0};$$

$$M = \frac{\text{inv } \alpha_{r1} z_1}{\text{inv } \alpha_{r0} z_0},$$

где  $S_0, S_1, \alpha_{r0}, \alpha_{r1}, \beta_0, \beta_1$  – соответственно нормальные толщины зубьев, торцовые профильные углы и углы наклона зубьев на делительных цилиндрах шевера и колеса.

#### 2. Станочный угол зацепления шевера (на начальном цилиндре)

$$\text{inv } \alpha_{rw10} = \frac{K}{1+M}.$$

#### 3. Радиус начального цилиндра шевера

$$r_{w0} = r_{b0} / \cos \alpha_{rw10},$$

где  $r_{b0}$  – радиус основного цилиндра шевера.

#### 4. Угол наклона зуба на начальном цилиндре шевера

$$\text{tg } \beta_{w0} = \frac{r_{w0} \text{tg } \beta_0}{r_0}.$$

#### 5. Углы подъема винтовых линий на основных цилиндрах шевера и колеса:

$$\cos \gamma_{b0} = \cos \alpha \sin \beta_0;$$

$$\cos \gamma_{b1} = \cos \alpha \sin \beta_1.$$

#### 6. Станочный угол зацепления (на начальных цилиндрах) в нормальном сечении

$$\cos \alpha_{nw} = \frac{\cos \gamma_{b0}}{\sin \beta_{w0}}.$$

#### 7. Угол наклона зуба колеса на начальном цилиндре

$$\sin \beta_{w1} = \frac{\cos \gamma_{b1}}{\cos \alpha_{nw}}.$$

#### 8. Радиус начального цилиндра колеса

$$r_{w1} = \frac{r_1 \text{tg } \beta_{w1}}{\text{tg } \beta_1} \text{ при } \beta_1 \neq 0$$

и

$$r_{w1} = \frac{r_{b1}}{\cos \alpha_{nw}} \text{ при } \beta_1 = 0.$$

#### 9. Радиальный зазор в станочной паре по условию

$$\Delta r = r_{w1} + r_{w0} - r_{a0} - r_{f1} \geq 0,1m.$$

При невыполнении этого условия шевер следует шлифовать по наружному цилиндру.

#### 10. Величина перекрытия обработкой активной части профиля зуба:

$$\Delta l = \rho_{p12} - \left( g_{10} - \frac{\sqrt{r_{a0}^2 - r_{b0}^2}}{\sin \gamma_{b0}} \right) \sin \gamma_{b1} > 0,$$

где  $\rho_{p12}$  и  $g_{10}$  определялись при расчете эксплуатационных параметров станочной пары шевер-колесо. При несоблюдении

этого условия необходимо уменьшить толщину зуба шевера на величину

$$\Delta S = (\Delta l \sin \alpha_{r1} + \delta m) \text{tg } \alpha,$$

где  $\Delta l$  – абсолютная величина полученного отрицательного перекрытия;  $\delta$  – коэффициент,  $\delta = (0,9 \dots 1,2)m$ .

**Особенности конструкций дисковых шеверов для других методов шевингования.** В зависимости от направления подачи различают методы шевингования: обычно применяемое параллельное (продольное) (рис. 8.33, а), когда угол между направлением подачи и осью заготовки  $\varepsilon = 0$ ; диагональное при  $0 < \varepsilon < (\pi/2 - \Sigma)$  (рис. 8.33, б, в), с минимальной подачей при  $\varepsilon = \pi/2 - \Sigma$  (рис. 8.33, з) и касательное при  $\varepsilon = \pi/2$  (рис. 8.33, д).

Наименьшая длина хода стола  $l$  (без врезания и перебега) и ширина  $B_0$  зубчатого венца шевера

$$l = \frac{B_1 \sin \Sigma}{\sin(\Sigma + \varepsilon)}; B_0 = \frac{B_1 \sin \varepsilon}{\cos(\Sigma + \varepsilon)} + \Delta B_0,$$

где  $B_1$  – ширина зубчатого венца колеса,  $\Delta B_0 = \sqrt{d_{a0}^2 - d_0^2} \cos \alpha_{rw10} \sin \Sigma$ ;  $\alpha_{rw10}$  – угол зацепления шевера с колесом в торцовом сечении.

Из последней формулы следует, что при параллельном методе шевингования ширина шевера не зависит от ширины венца колеса. Для касательного шевингования шевер должен иметь режущие кромки (канавки) на боковых сторонах зубьев, расположенные по винтовой линии.

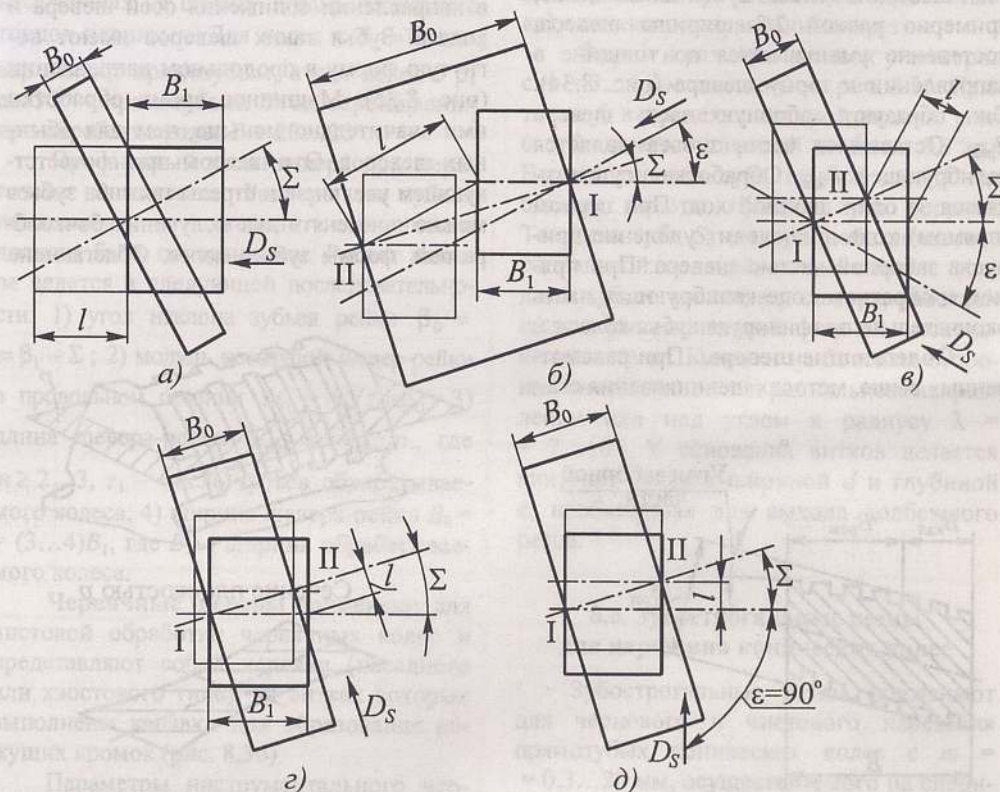


Рис. 8.33. Методы шевингования: а – параллельное (продольное); б, в – диагональное (угловое); з – с минимальной подачей; д – касательное

Если ширина  $B_0$  шевера и ширина  $B_1$  зубчатого венца колеса заданы, то максимально возможный угол  $\varepsilon$  направления подачи находят по формуле:

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{(B_0 - \Delta B_0) \sin \Sigma}{B_1 - (B_0 - \Delta B_0) \cos \Sigma}$$

Ввиду сложности изготовления шеверов с большой шириной диагональное и касательное шевингование целесообразно использовать для обработки сравнительно узких зубчатых колес.

Повышение производительности шевингования может быть достигнуто также за счет реализации движения проходов в конструкции шеверов. К таким конструкциям относятся однопроходные шеверы, работающие без радиального сближения осей шевера и колеса. Зубья их на длине, примерно равной  $2/3$  ширины шевера, постепенно уменьшаются по толщине в направлении к торцу шевера (рис. 8.34). Они образуют заборную часть шевера  $B_{\text{реж}}$ . Оставшаяся часть зубьев является калибрующей  $B_{\text{кал}}$ . Обработка осуществляется за один двойной ход. При первом (прямом) ходе происходит удаление припуска заборной частью шевера. При прямом и обратном ходе калибрующая часть окончательно профилирует зубья колеса.

**Облегающие шеверы.** При рассмотренных выше методах шевингования ста-

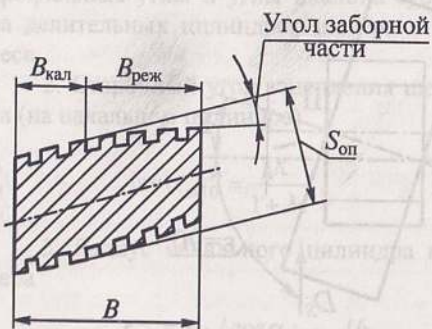


Рис. 8.34. Продольная форма зуба однопроходного шевера

ночная пара характеризуется точечным контактом исходной инструментальной и обработанной эвольвентной поверхностей зубьев колеса, при этом имеются две подачи: одна подача – это перемещение точки контакта вдоль активной действующей линии, а вторая – перемещение шевера по оси колеса для распространения этой активной линии на всю поверхность зуба колеса и формирования последней. Если синтезировать указанную станочную пару с линейчатым контактом ее элементов, то остается только одно движение подачи, а другое оказывается «защитым» в конструкции инструмента. В результате получают очень высокопроизводительные конструкции шеверов, получивших название облегающих шеверов, или работающих по методу короткого хода (SICMAT) в направлении сближения осей шевера и колеса. Зубья таких шеверов имеют вогнутую форму в продольном направлении (рис. 8.35). Машинное время обработки ими значительно меньше, чем для обычных шеверов. Эти шеверы при соответствующем увеличении стрелы прогиба зубьев можно применять для получения бочкообразной формы зубьев колес. Облегающие

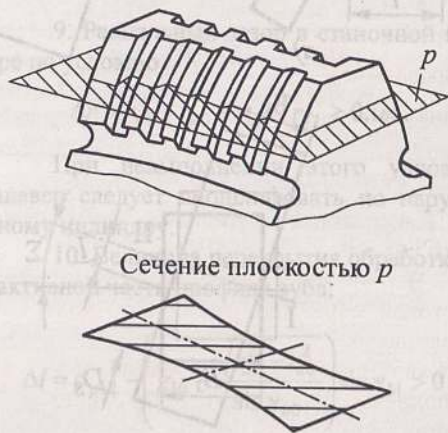


Рис. 8.35. Продольная форма зуба облегающего шевера

шеверы целесообразно выполнять со стружечными канавками, расположенными по винтовой линии.

Создание стружечных канавок на зубьях шеверов, расположенных по винтовой линии, является перспективным направлением развития и всех других конструкций дисковых шеверов. Такое расположение режущих кромок способствует значительному увеличению суммарного количества профилирующих резцов, более равномерному съему припуска, повышению качества и производительности обработки.

Дисковые шеверы используют также для обработки колес с внутренними зубьями. Такие шеверы изготавливают с зубьями бочкообразной формы.

**Реечные шеверы.** Их изготавливают сборными – из отдельных зубьев рейки, насаженных на штангу и закрепленных с торцов планками. Для колес с  $\beta_1 = 0$  шевер делают прямозубым, а для колес с  $\beta_1$  до  $30^\circ$  – прямозубым. Угол скрещивания при обработке колес  $\Sigma = 20 \dots 25^\circ$ .

Профильный угол шевера при переточках не меняется. Размеры его зубьев независимо от степени сточенности должны быть постоянными. Расчет шевера ведется в следующей последовательности: 1) угол наклона зубьев рейки  $\beta_0 = \beta_1 - \Sigma$ ; 2) модуль косозубой шевер-рейки в продольном сечении  $m_{l0} = m_l / \cos \beta_0$ ; 3) длина шевера-рейки  $L_{\text{раб}} = \pi m_{l0} z_1 n$ , где  $n \geq 2 \dots 3$ ,  $z_1$  – число зубьев обрабатываемого колеса; 4) ширина шевера-рейки  $B_0 = (3 \dots 4) B_1$ , где  $B_1$  – ширина обрабатываемого колеса.

**Червячные шеверы** применяют для чистовой обработки червячных колес и представляют собой червяки (насадного или хвостового типа), на витках которых выполнены канавки для образования режущих кромок (рис. 8.36).

Параметры инструментального червяка шевера полностью идентичны параметрам червяка, зацепляемого с обрабатываемым колесом. В этом случае шлифование

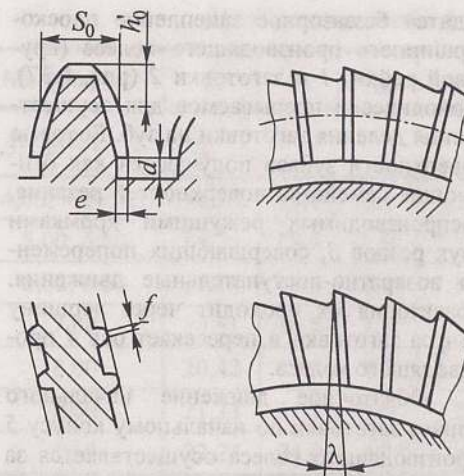


Рис. 8.36. Зубья червячного шевера

витков шевера и червяка следует производить с одной установки (на одном станке) одинаково заправленным кругом.

Форма и размеры канавок у шеверов с  $m = 3 \dots 5$  мм показаны на рис. 8.36. Ленточка  $f$ , в пределах которой задний угол  $\alpha = 0$ , делается шириной не более 0,3 мм. Высота головки зуба шевера на 0,1 мм больше высоты головки зуба червяка. Толщина зуба  $S_0$  шевера, работающего с радиальной подачей, равна ширине впадины зубьев колеса, а у шевера, работающего с тангенциальной подачей, несколько меньше ее. Канавки на боковых сторонах витков наносят в радиальном направлении или под углом к радиусу  $\lambda = 7 \dots 10^\circ$ . У основания витков делается винтовая канавка шириной  $d$  и глубиной  $e$ , необходимая для выхода долбежного резца.

### 8.6. Зубострогальные резцы для нарезания конических колес

Зубострогальные резцы применяют для чернового и чистового нарезания прямозубых конических колес с  $m = 0,3 \dots 20$  мм, осуществляемого на специальных зубострогальных станках. Обработка производится методом прерывистого обката, в процессе которого воспроиз-

водится безазорное зацепление плоско-вершинного производящего колеса (круговой рейки) 1 и заготовки 2 (рис. 8.37), периодически прерываемое для осуществления деления заготовки на зуб. Боковые поверхности зубьев получаются как огибающие семейства поверхностей резания, воспроизводимых режущими кромками двух резцов 3, совершающих попеременно возвратно-поступательные движения. Траектория их проходит через вершину конуса заготовки и пересекает ось 4 производящего колеса.

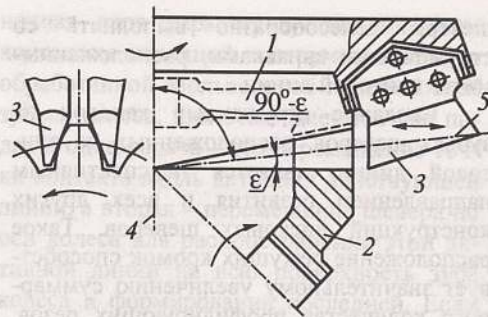


Рис. 8.37. Схема нарезания прямозубого конического колеса

Обкаточное движение начального конуса заготовки по начальному конусу 5 производящего колеса осуществляется за счет вращения  $\omega_1$  люльки вокруг оси производящего колеса и вращения  $\omega_2$  заготовки. Эти два вида вращения функционально связаны между собой. Зуб заго-

товки обрабатывается с двух сторон одновременно двумя резцами, воспроизводящими впадину между зубьями производящего колеса.

Стандартные чистовые резцы (ГОСТ 5392-80) изготавливают четырех типов (рис. 8.38 и табл. 8.12):

8.12. Основные размеры зубострогальных резцов, мм (ГОСТ 5392-80)

Модуль, $m^*$	$B$	$h_0$	$S_{a0}$	$\rho_0$	Модуль, $m^*$	$B$	$h_0$	$S_{a0}$	$\rho_0$
Резцы типа 1: $K=18,63; H=27; L=40$									
0,30; 0,35	10,36 12,18	1,0 2,0	0,12	0,08	1,0; 1,125	11,09 12,46	3,0 4,0	0,40	0,30
0,40; 0,45	10,44 12,22	1,2 2,2	0,16	0,12	1,25; 1,375	11,18 12,56	3,3 4,5	0,50	0,38
0,50; 0,55	10,51 12,26	1,4 2,5	0,20	0,15	1,50; 1,750	11,53 12,66	4,2 5,5	0,60	0,45
0,60; 0,70	10,66 12,30	1,8 3,0	0,24	0,18	2,0; 2,250	11,93 12,86	5,3 6,0	0,80	0,60
0,80; 0,90	10,80 12,38	2,2 3,5	0,32	0,24	2,5	12,18 13,06	6,0	1,0	0,75
Резцы типа 2: $K=25,85; H=33; L=75$									
0,50; 0,55	16,01	1,4	0,20	0,15	2,0; 2,250	17,43	5,3	0,80	0,60
0,60; 0,70	16,16	1,8	0,24	0,18	2,50; 2,75	17,86	6,0	1,00	0,75
0,80; 0,90	16,30	2,2	0,32	0,24	3,00; 3,25	18,27	7,6	1,20	0,80
1,0; 1,125	16,59	3,0	0,40	0,30	3,50; 3,75	18,70	8,8	1,40	1,00
1,25; 1,375	16,68	3,3	0,50	0,38	4,00; 4,25; 4,5	19,36	10,6	1,60	1,20
1,50; 1,750	17,03	4,2	0,60	0,45	5,00; 5,50	20,24	13,0	2,00	1,50

Продолжение табл. 8.12

Модуль, $m^*$	$B$	$h_0$	$S_{a0}$	$\rho_0$	Модуль, $m^*$	$B$	$h_0$	$S_{a0}$	$\rho_0$
Резцы типа 3: $K=27,39; H=43; L=100$									
1,0; 1,125	14,59	3,0	0,4	0,30	4,00; 4,25; 4,5	17,36	10,6	1,6	1,2
1,25; 1,375	14,70	3,3	0,5	0,38	5,00; 5,50	18,23	13,0	2,0	1,50
1,50; 1,750	15,03	4,2	0,6	0,45	6,00; 6,50	19,14	15,5	2,4	1,80
2,0; 2,250	15,59	5,3	0,8	0,60	7,00	19,51	16,5	2,8	2,10
2,50; 2,75	15,87	6,5	1,0	0,75	8,00	20,42	19,0	3,2	2,40
3,00; 3,25	16,27	7,6	1,2	0,80	9,00	21,33	21,5	3,6	2,70
3,50; 3,75	16,70	8,8	1,4	1,00	10,0	22,24	24,0	4,0	3,0

Резцы типа 4:  $K=39,78; H=60$  для  $m=3...12$ ;  $K=44,915; H=75$  для  $m=14...20$ ;  $L=125$

3,00; 3,25	23,27	7,6	1,2	0,8	10,0	29,24	24,0	4,0	3,0
3,50; 3,75	23,70	8,8	1,4	1,0	11,0	29,89	25,8	4,4	3,3
4,00; 4,25; 4,5	24,36	10,6	1,6	1,2	12,0	30,73	28,1	4,8	3,6
5,0; 5,5	25,23	13,0	2,0	1,5	14,0	32,44	32,8	5,6	4,2
6,0; 6,5	26,14	15,5	2,4	1,8	16,0	34,15	37,5	6,4	4,8
7,00	26,51	16,5	2,8	2,1	18,0	35,86	42,2	7,2	5,4
8,00	27,42	19,0	3,2	2,4	20,0	37,61	47,0	8,0	6,0
9,00	28,33	21,5	3,6	2,7					

\* Значения модулей, указанных первыми, за исключением 3,5; 7,0; 9,0; 11,0; 14,0; 18,0 являются предпочтительными.

Примечание. В числителе даны размеры для резцов исполнения 1, в знаменателе – для резцов исполнения 2.

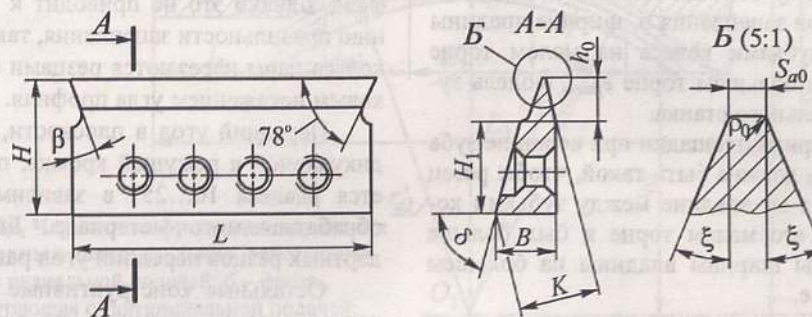


Рис. 8.38. Размеры зубострогального резца

тип 1 (исполнение 1),  $m_0 = 0,3...2,5$  мм – к станкам 523, 5П23Б, 5П23БП (Россия), «Глисон 3», № 103 (США), 12Н (фирмы Г. Гарбек, Германия);

тип 1 (исполнение 2),  $m_0 = 0,3...2,5$  мм – к станку 5Т23В (США);

тип 2,  $m_0 = 0,5...5,5$  мм – к станкам 15КН, 15КНС, 26Н (фирмы Г. Гарбек, Германия);

тип 3,  $m_0 = 1,0...10,0$  мм – к станкам 5А26, 526, 5А250, 5А250П, 5С276П (Россия), «Глисон 12», «Глисон 14», № 14 и № 710 (США), 25КН, 25КНС, 50КН, 50КНС, 60Н (фирмы Г. Гарбек, Германия);

тип 4,  $m_0 = 3...12$  мм – к станкам 5282, 5С286П (Россия), «Глисон 24 А» (США), 90Н, 75КН, 75КНС (фирмы Г. Гарбек, Германия).

Резцы типа 1 (исполнение 2) предназначены для работы на станках в одной впадине зуба. Все другие резцы – типов 1 (исполнение 1), 2, 3 и 4 – применяют для нарезания соседних впадин зубьев.

Резцы выполняются в виде призматического тела без затылования по задней поверхности. Задние углы на вершине и боковой режущей кромке получают при установке резца в резцедержателе станка под углом  $12^\circ$  к направлению его движения. Опорную плоскость державки выполняют под углом  $\delta = 70^\circ$  – для резцов типа 1 (исполнение 2);  $\delta = 73^\circ$  – для резцов типов 1 (исполнение 1), 2 и 3;  $\delta = 75^\circ$  – для резцов типа 4.

**Расчет резцов.** Исходными данными являются модуль колеса  $m_a$ , относящийся к большому основанию делительного конуса, угол зацепления  $\alpha$ , ширина впадины между зубьями колеса на малом торце  $e_{fmin}$  и на большом торце  $e_{fmax}$ , модель зубострогального станка.

Ширина площадки при вершине зуба резца  $S_{a0}$  должна быть такой, чтобы резец проходил во впадине между зубьями колеса на его малом торце и был больше половины ширины впадины на большом торце, т.е.

$$e_{fmin} > S_{a0} > (e_{fmax} / 2).$$

Этому требованию удовлетворяет условие  $S_{a0} \approx 0,4m_a$  при  $\xi = 20^\circ$  и  $S_{a0} \approx 0,5m_a$  при  $\xi = 15^\circ$ . При выполнении этого условия и равенстве углов профиля одним комплектом резцов можно нарезать колеса с широким диапазоном модулей, что особенно эффективно в единичном и мелкосерийном производстве.

Радиус скругления вершины резца на рабочей стороне профиля  $\rho_0 = m_a c^* \times \times (1 - \sin \xi)$ , где  $c^*$  – коэффициент радиального зазора в паре; на нерабочей стороне профиля  $\rho_0 \approx 0,3m_a$ .

Высота режущей кромки резца  $h_0 = 0,3m_a$  при малых модулях и  $h_0 = 2,5m_a$  при больших модулях.

Высота опорной плоскости резца  $H_1 \leq H - h_0$ , где  $H$  – высота резца, зависящая от модели станка и выбираемая по табл. 8.12.

Толщина резца  $B$  зависит от толщины зуба нарезаемого колеса по начальному конусу и вычисляется по формуле

$$B = \frac{K}{\cos \alpha} - (H - h_0) \operatorname{tg} \xi,$$

где  $K$  – базовый размер резца, определяющий положение режущей кромки относительно опорного клина. Он постоянен для каждой модели станка и принимается согласно его характеристике (см. табл. 8.12).

Установка резца под углом  $\beta = 12^\circ$  вызывает некоторое искажение угла профиля, однако это не приводит к нарушению правильности зацепления, так как оба колеса пары нарезаются резцами с одинаковым искажением угла профиля.

Передний угол в плоскости, перпендикулярной к режущей кромке, принимается равным  $10...25^\circ$  в зависимости от обрабатываемого материала. Для стандартных резцов передний угол равен  $20^\circ$ .

Остальные конструктивные размеры резцов следует назначать по рекомендациям ГОСТ 5392–80.

В единичном и мелкосерийном производстве чистовые резцы могут использоваться для черновой обработки способом одинарного деления за несколько проходов с малыми режимами резания. В массовом и крупносерийном производстве применяют черновые резцы с трапециевидным и криволинейным профилями.

Допускаемые отклонения на изготовление резцов принимают: по углу профиля в пределах от  $\pm 6'$  (для  $m = 0,3...1,125$  мм) до  $\pm 2'$  (для  $m = 10...20$  мм); по базовому размеру  $K = \pm 0,03$  мм для резцов типа 1,  $K = \pm 0,05$  мм для резцов типа 2 и 3,  $K = \pm 0,10$  мм для резцов типа 4.

Параметры шероховатостей поверхностей резцов должны быть: рабочей стороны профиля и передней поверхности  $Ra \leq 0,32$  мкм, нерабочей стороны профиля, поверхности при вершине и поверхно-

сти под углом  $\delta - Ra \leq 0,63$  мкм, поверхности основания и широкой небазовой поверхности –  $Ra \leq 1,25$  мкм, остальных поверхностей –  $Ra \leq 20$  мкм.

### 8.7. Червячные фрезы для нарезания червячных колес

Эти фрезы работают с радиальной и тангенциальной подачами (рис. 8.39, а, б). Тангенциальный метод нарезания колес менее производителен, чем радиальный, но обеспечивает уменьшение шероховатости обработанных поверхностей зубьев за счет увеличения числа профилирующих зубьев фрезы, а также повышение стойкости фрез за счет распределения нагрузки на большее число зубьев фрез.

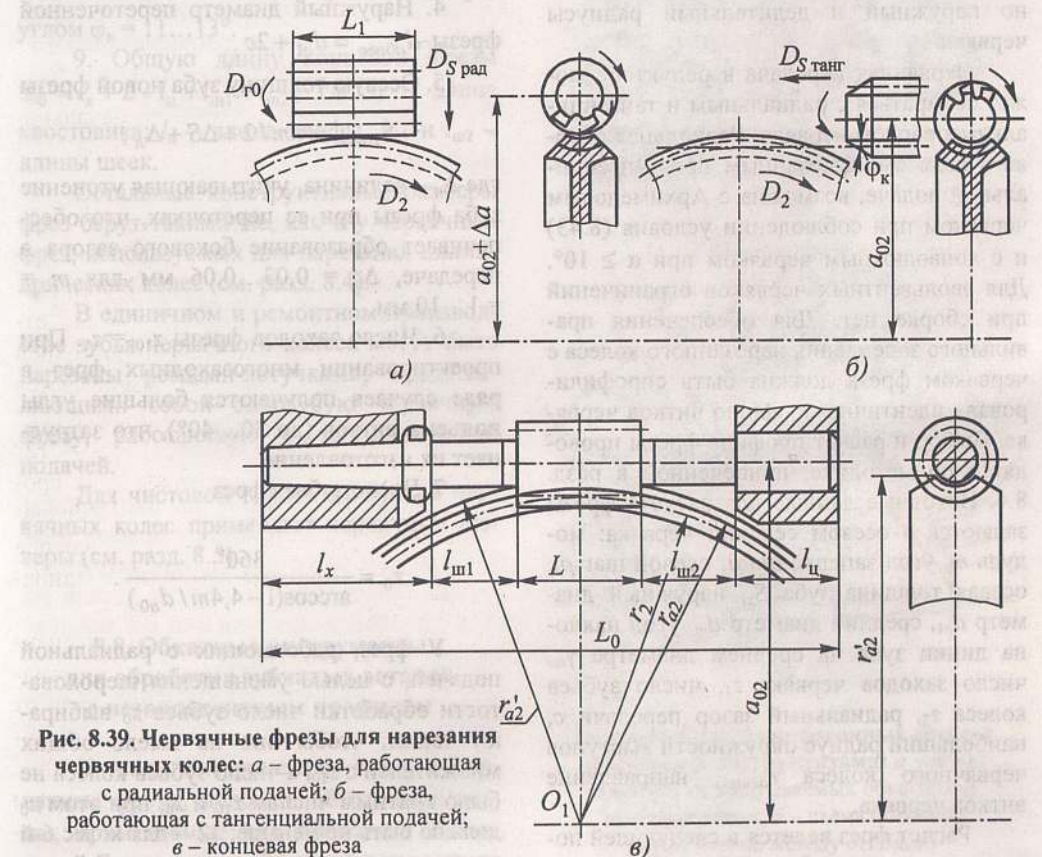


Рис. 8.39. Червячные фрезы для нарезания червячных колес: а – фреза, работающая с радиальной подачей; б – фреза, работающая с тангенциальной подачей; в – концевая фреза



При проектировании червячной фрезы и выборе направления подачи надо учитывать условия формообразования колес и сборки их с червяками. При радиальной подаче у колес, зацепляющихся с Архимедовыми и конволютными червяками с большими углами подъема витков, малыми диаметрами и углами профиля, возможно срезание части рабочего профиля у вершины головок зубьев на их выходных сторонах. Это явление отсутствует при соблюдении условия

$$\operatorname{tg} \alpha > \operatorname{tg} \tau \frac{\sqrt{r_{a1}^2 - r^2}}{r_{a1}}, \quad (8.43)$$

где  $\alpha$  – угол профиля червяка;  $\tau$  – угол подъема винтовой линии червяка на делительном цилиндре;  $r_{a1}$  и  $r$  – соответственно наружный и делительный радиусы червяка.

Червячная передача в редукторе может собираться с радиальным и тангенциальным вводом червяка. Радиальная сборка с колесом, нарезанным при тангенциальной подаче, возможна с Архимедовым червяком при соблюдении условия (8.43) и с конволютным червяком при  $\alpha \geq 10^\circ$ . Для эвольвентных червяков ограничений при сборке нет. Для обеспечения правильного зацепления нарезанного колеса с червяком фреза должна быть спроектирована идентично профилю витков червяка. Выбор и расчет профиля фрезы проводятся по методике, приведенной в разд. 8.4. Исходные данные для расчета фрезы задаются в осевом сечении червяка: модуль  $m$ , угол зацепления  $\alpha$ , осевой шаг  $p_x$ , осевая толщина зуба  $S_x$ , наружный диаметр  $d_{a1}$ , средний диаметр  $d_m$ , угол наклона линии зуба на среднем диаметре  $\gamma_m$ , число заходов червяка  $z_1$ , число зубьев колеса  $z_2$ , радиальный зазор передачи  $c$ , наибольший радиус окружности выступов червячного колеса  $r_{a2\max}$ , направление витков червяка.

Расчет фрез ведется в следующей последовательности. Определяют:

1. Средний расчетный диаметр  $d_{m0} = d_m$ .
2. Осевой шаг зубьев фрезы  $P_{x0} = P_x$ .
3. Наружный диаметр  $d_{a0} = d_{a1} + 2(c + a)$ , где  $a$  – запас на переточку фрезы,  $a = 0,1m$ .

Фрезы в зависимости от модуля могут быть насадными (цельными и сборными) и концевыми, выполняемыми вместе с оправкой. Так как обычно червяки делают небольших диаметров, то и червячные фрезы также получают небольших размеров, поэтому их часто выполняют концевыми с коническим хвостовиком (рис. 8.39, в), размеры которого определяются посадочными местами станка.

Для насадных фрез, если толщина их тела оказывается меньше 0,3 диаметра отверстия под оправку, шпоночный паз выполняется не продольным, а торцевым.

4. Наружный диаметр переточенной фрезы  $d_{a0\text{пер}} = d_{a1} + 2c$ .

5. Осевую толщину зуба новой фрезы

$$S_{x0\text{нов}} = \pi m / 2 + \Delta S + \Delta_n,$$

где  $\Delta_n$  – величина, учитывающая утонение зуба фрезы при ее переточках, что обеспечивает образование бокового зазора в передаче,  $\Delta_n = 0,03 \dots 0,06$  мм для  $m = 1 \dots 10$  мм.

6. Число заходов фрезы  $z_{10} = z_1$ . При проектировании многозаходных фрез в ряде случаев получают большие углы подъема витков (до  $30 \dots 40^\circ$ ), что затрудняет их изготовление.

7. Число зубьев фрез

$$z_0 = \frac{360^\circ}{\arccos(1 - 4,4m/d_{a0})}.$$

У фрез, работающих с радиальной подачей, с целью уменьшения шероховатости обработки число зубьев  $z_0$  выбирают таким, чтобы оно не имело общих множителей с  $z_{10}$ , а число зубьев колеса должно быть не меньше: 12 – для колес 6-й степени точности; 10 – для колес 7-й сте-

пени точности; 8 – для колес 8-й степени точности и 6 – для колес 9-й степени точности.

У фрез, работающих с тангенциальной подачей, при целом передаточном числе червячной передачи число зубьев  $Z_0$  может быть любым с учетом конструктивного исполнения фрезы. При дробном передаточном числе число зубьев  $Z_0$  должно делиться на  $Z_{10}$  или иметь с ним общий множитель.

8. Длину рабочей части фрезы  $L = l + \pi t$ , где  $l$  – длина рабочей части червяка. Длина рабочей части фрезы с тангенциальной подачей  $L = (4,5 \dots 5)P_x$ , причем входная сторона ее в целях лучшего врезания и исключения перегрузки зубьев, первыми вступающих в работу, делается конической на длине  $l_k = (2,5 \dots 3)P_x$  с углом  $\phi_k = 11 \dots 13^\circ$ .

9. Общую длину концевой фрезы  $L_0 = l_x + L + l_{ц} + l_{ш1} + l_{ш2}$ , где  $l_x$  – длина хвостовика;  $l_{ц}$  – длина цапфы,  $l_{ш1}$  и  $l_{ш2}$  – длины шеек.

Остальные конструктивные размеры фрез берут такими же, как и у червячных фрез, используемых для нарезания цилиндрических колес (см. разд. 8.4).

В единичном и ремонтном производстве зубья червячного колеса могут быть нарезаны резцами-летучками, представляющими собой однозубую червячную фрезу, работающую с тангенциальной подачей.

Для чистовой обработки зубьев червячных колес применяют червячные шевры (см. разд. 8.5).

### 8.8. Обкатные инструменты для обработки зубчатых деталей с неэвольвентным профилем

К таким инструментам относят червячные фрезы, долбяки, обкаточные резцы, применяемые для обработки самых разнообразных поверхностей деталей по

методу огибания (рис. 8.40) с различными профилями (образующими): прямолинейными, в виде дуг окружностей и других кривых с разной кривизной; с направляющими – прямыми (цилиндрические поверхности), круговыми (поверхности вращения) и винтовыми линиями (винтовые поверхности). Обрабатываемые поверхности могут быть как сравнительно простыми – с элементарным профилем, так и сложными, у которых общий фасонный профиль представляет собой комбинацию указанных выше элементарных профилей.

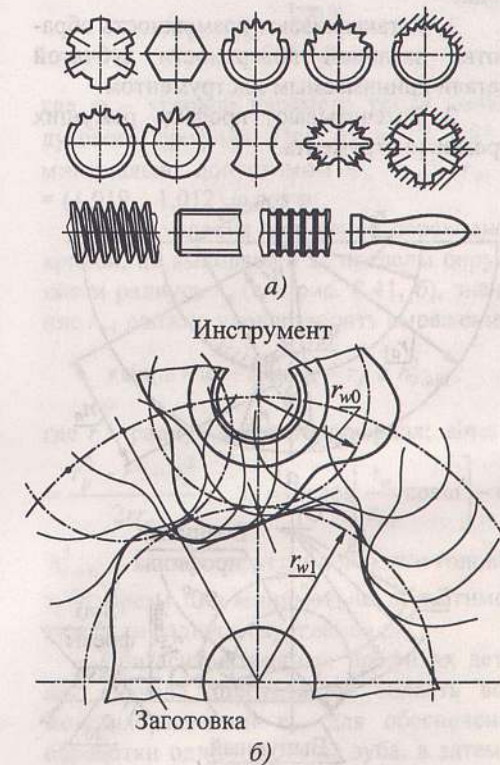


Рис. 8.40. Обработка фасонных деталей обкатными инструментами: а – виды изделий, обрабатываемых обкатными инструментами; б – схема обкатной обработки по методу огибания

В ряде случаев с учетом условий эксплуатации предъявляются повышенные требования к точности изготовления не только основных рабочих профилей деталей, но и переходных кривых, образующихся при обработке обкатными инструментами. Эти требования выражаются в задании радиуса скругления профиля  $\rho_c$  у его основания. Это означает, что переходные кривые, образующиеся при обработке, по своим размерам не должны выходить за пределы скругления указанного радиуса. Наиболее часто для обработки указанных деталей применяют червячные фрезы.

Проектирование обкатных инструментов осуществляют в следующем порядке.

1. Устанавливают возможность обработки заданной поверхности зубчатой детали принимаемым инструментом.

2. Рассчитывают профиль режущих кромок инструмента.

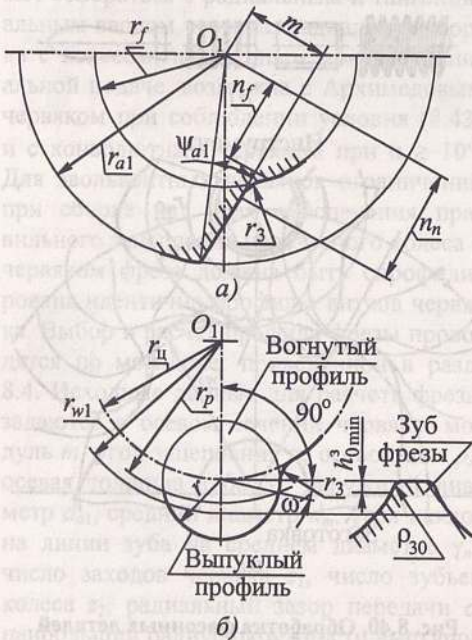


Рис. 8.41. Схема к определению радиуса  $r_{w1}$  начальной окружности при обработке деталей с прямолинейным (а) и дуговым (б) профилем

3. Назначают конструктивные размеры, геометрические параметры и технические требования к конструкции инструмента.

Возможность правильной обработки фасонного профиля методом огибания, размеры переходных кривых, форма режущей кромки инструмента, ее геометрия и другие параметры обработки в большой степени зависят от правильного выбора формы и положения (размеров) центроид (аксоидов) обработки. Центроидом инструментов реечного типа является прямая, центроидом долбяка – окружность. Форма центроиды детали при обработке принимается в зависимости от ее конструкции. Для зубчатых деталей в качестве центроиды принимается окружность, называемая начальной.

Радиус  $r_{w1}$  начальной окружности обработки зубчатых деталей с часто применяемыми элементарными профилями необходимо назначать согласно требованиям правильного формообразования (см. разд. 8.1) следующим образом.

1. Для деталей с прямолинейным профилем (рис. 8.41, а):

а) из условия обработки методом огибания прямой профиля до самой удаленной от центра детали точки, определяемой наибольшим значением радиуса окружности вершины зубьев,

$$r_{w1} \geq r_{a1 \max} \sqrt{1 - 0,75 \sin^2 \psi_{a1}} = \sqrt{r_{a1 \max}^2 - 0,75 m^2},$$

где  $\psi_{a1}$  – угол профиля на окружности выступов;  $m$  – расстояние от прямой профиля до центра детали (длина перпендикуляра, опущенного из центра детали на прямолинейный профиль или его продолжение);  $\sin \psi_{a1} = m / r_{a1 \max}$ ;

б) из условия обеспечения минимально необходимых значений задних боковых углов  $\alpha_{\delta n}$  в нормальном сечении к профилю зуба фрезы

$$r_{w1} \geq n_{\max} / \cos \varphi_{\text{пр min}}, \quad (8.44)$$

где  $\varphi_{\text{пр min}}$  – минимальный угол профиля зуба фрезы в точке, сопряженной с точкой профиля детали, наиболее удаленной от ее центра, и определяемой параметром  $n_{\max}$ ;  $n_{\max}$  – расстояние от центра детали до нормали к профилю, восстановленной в точке, наиболее удаленной от центра; связь между  $\alpha_{\delta n}$  и  $\varphi_{\text{пр min}}$  выражается зависимостью  $\text{tg } \alpha_{\delta n} = \text{tg } \alpha_{\delta} \times \sin \varphi_{\text{пр min}}$ , где  $\alpha_{\delta}$  – задний угол при вершине зуба фрезы. Обычно угол  $\alpha_{\delta} = 9 \dots 12^\circ$ . Для обеспечения процесса резания необходимо, чтобы  $\alpha_{\delta \text{ min}} \geq 1,5 \dots 2^\circ$ .

Для средних значений геометрических параметров формула (8.44) принимает вид  $r_{w1} \geq 1,01 n_{\max}$ ;

в) из условия получения переходных кривых в пределах требуемого скругления радиуса  $\rho_3$

$$r_{w1} \leq \frac{n_n r_f + m \sqrt{2 \rho_3 (n_n^2 - n_f^2) (r_f - m)}}{n_f^2},$$

где  $n_f^2 = r_f^2 - m^2$ ;  $n_n^2 = n_n^2 + 2 \rho_3 (r_f - m)$ .

г) из условия получения ширины площадки  $S_{a0}$  при вершине зуба фрезы, достаточной для обеспечения его стойкости, значение  $r_{w1}$  должно удовлетворять выражению

$$S_{a0} = 2 r_{w1} [\pi / z_1 - \delta + (\sin \delta - \sin \psi_{a1}) \cos \delta] \geq (0,35 \dots 0,4) \sqrt{r_a - r_f},$$

где  $\delta = \arcsin \left( m / 2 r_{w1} + \sqrt{m^2 / 4 r_{w1}^2 - r_f / r_{w1} + 1} \right)$ .

Окончательный выбор значений  $r_{w1}$  производят с учетом удовлетворения этого параметра всем названным условиям. В случае невыполнения этого условия необходимо либо внести изменения в профиль детали, если это допустимо по условиям

ее эксплуатации, либо использовать другой метод обработки или иное конструктивное исполнение инструмента.

2. Для деталей с дуговым профилем радиуса  $r$  (рис. 8.41, б):

а) из условия возможности обработки методом огибания дугового профиля до его точки, определяемой угловым параметром  $\omega$ ,

$$r_w \geq r_u \cos \omega, \quad (8.45)$$

где  $r_u$  – радиус окружности расположения центров дуговых профилей;

б) из условия (8.45) получения профиля зубьев фрез с минимально допустимым значением профильного угла  $\varphi_{\text{пр min}}$

$$r_{w1} \geq r_u \frac{\cos \omega}{\cos \varphi_{\text{пр min}}},$$

где  $\omega$  – угловой параметр точки начала дугового профиля. При  $\alpha_{\delta} = 10 \dots 12^\circ$  и минимально допустимом  $\alpha_{\delta} = 2^\circ$ ,  $r_{w1} = (1,019 \dots 1,012) \omega \cos \varphi$ ;

в) из условия получения переходной кривой, не выходящей за пределы окружности радиуса  $r_p$  (см. рис. 8.41, б), значение  $r_{w1}$  должно удовлетворять выражению

$$r \sin(\omega + \varphi) + r_u \cos \varphi - r_f \geq h_{0 \text{ min}}^3,$$

где  $r$  – радиус дугового профиля;  $\sin \omega = \frac{r_p^2 - r^2 - r_u^2}{2 r r_u}$ ;  $\varphi = \arccos \left[ \frac{r_u}{r_{w1}} \cos \omega \right] - \omega$ ;

$h_{0 \text{ min}}^3$  – высота скругленной части головки зуба фрезы при минимально допустимом значении радиуса скругления  $\rho_{30}$ .

При асимметричных профилях детали сначала определяется область возможных значений  $r_{w1}$  для обеспечения обработки одной стороны зуба, а затем – область возможных значений для другой стороны зуба. Из найденных значений  $r_{w1}$  выбирается окончательное, пригодное для обработки обеих сторон профиля зуба детали. Для сложных профилей, образованных сочетанием различных элементар-

ных профилей, выбор проводится с учетом всех перечисленных условий для каждого составляющего элементарного профиля.

**Определение профиля режущей кромки инструмента.** Для инструментов реечного типа за профиль их зубьев может быть принят профиль рейки, сопряженной с обрабатываемой деталью. Для инструментов с главным вращательным движением (типа червячных фрез) такой способ профилирования (плоскостной) является приближенным, вызывающим определенные погрешности. Поэтому его рекомендуется применять для проектирования либо черновых червячных фрез, либо фрез с небольшими углами подъема витков  $\gamma_{m0}$  (до 5...6°). В этом случае, для определения профиля инструмента, обрабатывающего цилиндрические зубчатые детали с произвольными винтовыми поверхностями, надо воспользоваться методикой, приведенной в разд. 8.1.

Широкое распространение в машиностроении имеют цилиндрические детали с прямолинейным профилем – шлицевые валы (ГОСТ 1139–80), храповые колеса и др. Расчет профиля зубьев инструментов для них (по плоскостному методу) выполняют в следующей последовательности.

1. Рассчитывают наружный радиус детали

$$r_{h1} = r_{a1\max} - c_{\min},$$

где  $r_{a1\max}$  – максимальный наружный радиус детали;  $r_{a1\min}$  – минимальный размер фаски.

2. Рассчитывают внутренний радиус детали

$$r_{fp} = r_{f\min} + 0,125E_1,$$

где  $r_{f\min}$  – минимальный внутренний радиус;  $E_1$  – допуск на внутренний диаметр детали.

3. Рассчитывают параметр

$$m_p = m - 0,875E,$$

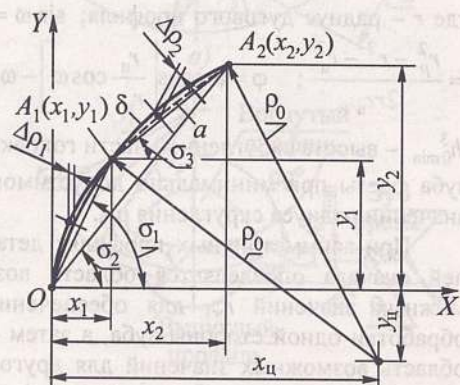
где  $E$  – допуск на ширину зуба (шлица);  $m$  – номинальная длина перпендикуляра, опущенного из центра детали на продолжение прямой профиля;  $m = r \sin \psi$ , где  $\psi$  – угол профиля детали на окружности радиусом  $r$ .

Координаты профиля зуба инструмента в системе  $XOY$  (рис. 8.42) определяют по формулам:

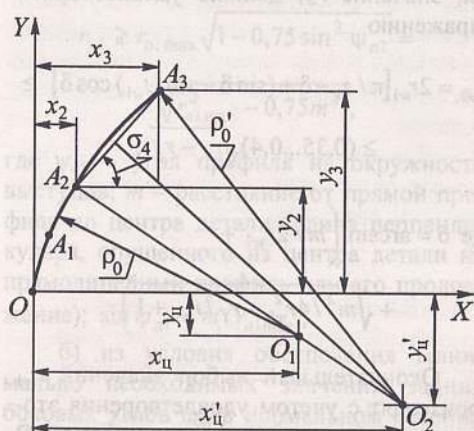
$$x = r_{w1} \varphi - n \sin \varphi - m \cos \varphi;$$

$$y = r_{w1} - n \cos \varphi + m \sin \varphi,$$

где  $\varphi = \arccos n / r_{w1}$ .



а)



б)

Рис. 8.42. Аппроксимация теоретического профиля зуба шлицевой червячной фрезы:

а – дугой одной окружности; б – дугами двух сопряженных окружностей

Входящий в эти и последующие формулы параметр  $m$  [согласно принятому правилу знаков (см. разд. 8.1)] следует назначать с отрицательным знаком, а параметр  $n$  задавать через каждые 0,6...0,8 мм в пределах от  $\sqrt{r_{h1}^2 - m_p^2}$  до  $\sqrt{r_{fp}^2 - m_p^2}$  для фрез с «усиками» и в пределах от  $\sqrt{r_{h1}^2 - m_p^2}$  до  $r_{w1} \cos \varphi_{\max}$  для фрез без «усиков».

Здесь

$$\varphi_{\max} = \arcsin \frac{-m_p + \sqrt{m_p^2 + 4r_{w1}(r_{w1} - r_{fp})}}{2r_{w1}}. \quad (8.46)$$

Совокупность рассчитанных таким образом точек образует активный участок профиля зуба инструмента. При невозможности изготовить теоретический профиль зуба по координатам точек его аппроксимируют дугами одной или нескольких окружностей.

Обычно, если  $r_{h1} - r_{w1} \leq 0,12r_{w1}$ , то истинный профиль инструмента заменяется дугой одной окружности, если  $r_{h1} - r_{w1} > 0,12r_{w1}$ , то дугами двух окружностей.

Радиус  $\rho_0$  дуги одной окружности и координаты  $x_u$  и  $y_u$  его центра (рис. 8.42, а) определяют по формулам:

$$\rho_0 = (y_2 - y_1) / [2 \sin \sigma_3 \sin(\sigma_1 - \sigma_2)];$$

$$x_u = x_2 + \rho_0 \sin(\sigma_3 + \sigma_2 - \sigma_1);$$

$$y_u = y_2 - \rho_0 \cos(\sigma_3 + \sigma_2 - \sigma_1),$$

где  $\operatorname{tg} \sigma_1 = y_1 / x_1$ ;  $\operatorname{tg} \sigma_2 = y_2 / x_2$ ;  $\operatorname{tg} \sigma_3 = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$ ;  $x_1, y_1$  и  $x_2, y_2$  – координаты двух точек теоретического профиля зуба, для третьей точки  $x = 0$  и  $y = 0$ .

Для большей точности аппроксимации теоретического профиля угловые параметры  $\varphi$  рекомендуется принимать:

– для точки  $A_1$

$$\varphi_1 = \psi_{w1} + K_1(\varphi_{\max} - \psi_{w1});$$

– для точки  $A_2$

$$\varphi_2 = \psi_{w1} + K_2(\varphi_{\max} - \psi_{w1}),$$

где  $K_1 \approx 0,35$ ;  $K_2 \approx 0,8$ ;  $\psi_{w1} = \arcsin m_p / r_{w1}$ ;  $\varphi_{\max} = \arccos \frac{\sqrt{r_{fp}^2 - m_p^2}}{r_{w1}}$

для фрез с «усиками»;  $\varphi_{\max}$  принимают по формуле (8.46) для фрез без «усиков».

Погрешность замены расчетного теоретического профиля

$$\Delta \rho = r_{w1}(\sin \varphi_m - \sin \psi_{w1}) - y_u / \sin \varphi_m - \rho_0.$$

Наибольшие отклонения  $\Delta \rho$  имеют место в точках, определяемых параметрами

$$\varphi_{m1} = A + \sqrt{A^2 + B} \text{ и } \varphi_{m2} = A - \sqrt{A^2 + B},$$

где

$$A = \frac{r_{w1} \psi_{w1} + x_u}{2[r_{w1} + (1/3)y_u]}; \quad B = \frac{y_u}{r_{w1} + (1/3)y_u}.$$

Координата  $y_u$  подставляется со своим знаком (обычно с минусом).

Необходимо, чтобы сумма  $|\Delta \rho_1| + |\Delta \rho_2|$  была меньше 2/3 допуска на прямолинейность профиля детали. В противном случае проводится перерасчет параметров заменяющей окружности, при котором изменяют параметры  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  так, чтобы точки теоретического профиля, принимаемые для расчета заменяющей окружности, смещались в сторону получения меньших отклонений  $\Delta \rho$ . При неудовлетворительных результатах теоретический профиль аппроксимируют дугами двух окружностей (рис. 8.42, б). Точка  $A_2$  их касания сопряжена с точкой профиля детали радиуса

$$r_2 = r_{h1} - (0,3...0,4)h_1,$$

где  $h_1$  – полная высота профиля детали.

Угловым параметром  $\varphi_2$  точки  $A_2$

$$\cos \varphi_2 = \frac{\sqrt{r_2^2 - m_p^2}}{r_{w1}}.$$

Угловой параметр точки  $A_1$

$$\varphi_1 = \frac{\varphi_{w1} + \varphi_2}{2}$$

Радиус  $\rho_0$  и координаты  $x_{ц}$  и  $y_{ц}$  центра первого дугового участка определяют по указанным выше формулам. Радиус  $\rho'_0$  и координаты  $x'_{ц}$  и  $y'_{ц}$  второго дугового участка рассчитывают по формулам:

$$\rho'_0 = \frac{x_3 - x_2}{2 \cos \sigma_4 \cos(\sigma_4 + \varepsilon_2)};$$

$$x'_{ц} = x_2 + \rho'_0 \cos \varepsilon_2;$$

$$y'_{ц} = y_2 - \rho'_0 \sin \varepsilon_2,$$

где

$$\operatorname{tg} \sigma_4 = \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2}; \operatorname{tg} \varepsilon_2 = \frac{y_2 - y_{ц}}{x_{ц} - x_2}$$

Координаты точки  $A_3$  определяют при  $\varphi_3 = \varphi_{\max}$ . Расчет погрешностей, возникающих в результате замены, выполняют приведенным выше способом.

Для инструментов с высотой головки зубьев  $h_{a0} = r_{w1} - r_{fp}$  проверка высоты правильно образуемого (прямолинейного) участка профиля детали и ее соответствия требуемым размерам проводится следующим образом. Радиус окружности, проходящей через точку начала переходной кривой, образуемой у основания профиля детали,

$$r_{p10} = r_{w1} \sqrt{\sin^2 \psi_{w1} + \cos^2 \varphi_{\max}},$$

где значение  $\varphi_{\max}$  принимают по формуле (8.46).

Высота переходной кривой

$$h_q = r_{p10} - r_{f1}.$$

При этом необходимо, чтобы  $r_{p10}$  или  $h_q$  не превышали значений, допускаемых условиями эксплуатации детали, т.е. обусловленных техническими требованиями на ее изготовление. В противном случае

надо увеличить высоту прямолинейного участка профиля детали. Это обеспечивается следующими мероприятиями.

1. Увеличением высоты головки зуба инструмента до

$$h_{a0ув} = r_{w1} - n \cos \varphi + m \sin \varphi, \quad (8.47)$$

где  $\varphi = \arccos \frac{\sqrt{r_{fp}^2 - m^2}}{r_{w1}}$ , если это допускается техническими требованиями,

предъявляемыми к изготовлению детали. При этом диаметр окружности впадин зубьев детали уменьшается:

$$d_{f1факт} = d_{w1} - 2h_{a0ув}.$$

2. Применением червячных фрез с «усиками» на зубьях (рис. 8.43) при нарезании, например, шлицевых валов с центрированием по внутреннему диаметру. У них высоту боковых сторон зубьев принимают увеличенной  $h_{a0ув}$ , а высоту средней части зуба  $h_{a0} = h_{f1}$ . «Усики» выполняют с размерами:  $B_{yc} = (0,3 \dots 0,8)S_k$ ;  $h_{yc} = h_{a0ув} - h_{a0}$ ,  $\varepsilon = 45^\circ$ , где  $S_k$  – ширина канавки у основания профиля, необходимая для выхода шлифовального круга при шлифовании шлицевых валов. Размер  $S_{ц}$  должен быть достаточным для точного центрирования втулки с обработанным валом. Его рассчитывают по формуле

$$S_{ц} = \frac{2\pi r_{f1}}{z_1} - 2r_{f1} \psi_f - 2S_k,$$

где  $\sin \psi_f = \frac{r_{w1}}{r_{f1}} \sin \psi_{w1}$ .

3. Использованием инструментов определенной установки и обрабатываемых детали по методу копирования. Эти инструменты бывают двух разновидностей:

а) червячные фрезы с корригированной линией выступов зубьев (рис. 8.44). Профиль боковых режущих кромок определяется приведенным выше методом, а

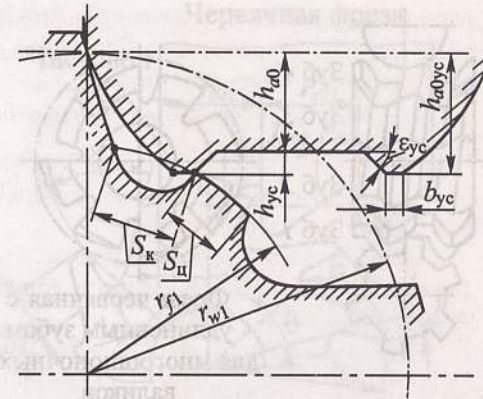


Рис. 8.43. Размеры зубьев червячной фрезы с «усиками»

высота – по формуле (8.47). Во избежание срезания внутреннего цилиндра валика образующая наружной поверхности фрезы на участке ее профилирующих зубьев оформляется не по прямой линии, а в сечении, нормальном к направлению витков фрезы, по дуге окружности радиуса  $r_{f1}$ . Все профилирующие зубья как по длине фрезы, так и по ее окружности имеют разную высоту и форму при вершине (рис. 8.45). Установка таких фрез в определенное положение относительно заготовки производится по шаблону или по риске, наносимой с задней стороны зуба фрезы, устанавливаемого по оси заготовки;

б) фрезы, профилирующие изделия по методу копирования. Их называют иногда фрезами-улитками и применяют для обработки храповых колес, шлицевых валов глубокого профиля, колес внутреннего зацепления и других изделий (рис. 8.46). У этих фрез профилирует впадину только один калибрующий (чистовой) зуб. Форму и размеры других зубьев назначают из условия несрезания профиля обрабатываемого изделия. Для этого шаг винтовой поверхности одной стороны зуба делают больше теоретического шага изделия, а для другой стороны зуба – меньше. В результате зубья фрезы по мере удаления от калибрующего зуба уменьшаются по высоте, а вершины их

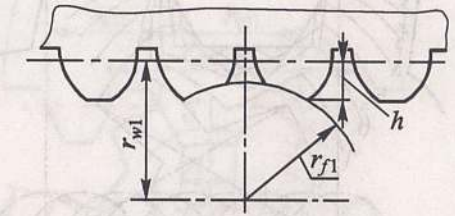


Рис. 8.44. Профиль червячной фрезы с корригированной линией выступов зубьев

располагаются по спирали. Передвижка таких фрез по их оси недопустима.

Методика пространственного профилирования червячных фрез для обработки зубчатых деталей произвольного профиля. Применяется при повышенных требованиях к точности фрез. Расчет фрез ведется с использованием неподвижной правой системы координат  $X_{чи}$ ,  $Y_{чи}$ ,  $Z_{чи}$  (см. рис. 8.2) с осью  $Z_{чи}$ , совпадающей с осью червячной фрезы. Вращения червячной фрезы и детали с числом зубьев  $z_1$  связаны соотношением углов их поворота

$$\varphi_0 = u \varphi_1 = \frac{z_1}{z_{10}} \varphi_1, \quad (8.48)$$

где  $u$  – передаточное число;  $z_{10}$  – число зубьев (заходов) фрезы, для однозаходных фрез  $z_{10} = 1$ .

Угол  $\varphi_1$  является углом профилирования детали – углом ее поворота от исходного положения, после которого принята точка на профиле детали с координатами  $m$ ,  $n$ ,  $\psi_i$  становится профилирующей, т.е. точкой линии профилирования (ЛП) (задание координат  $m$ ,  $n$ ,  $\psi_i$  при определении профиля инструментальной косозубой рейки (см. разд. 8.1). Методика расчета значительно упрощается за счет того, что ЛП располагают в полярной

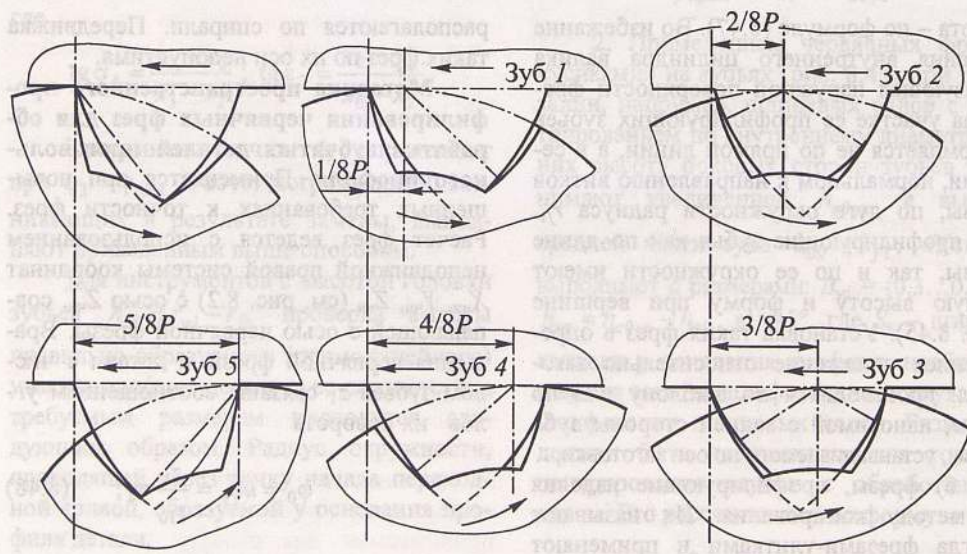
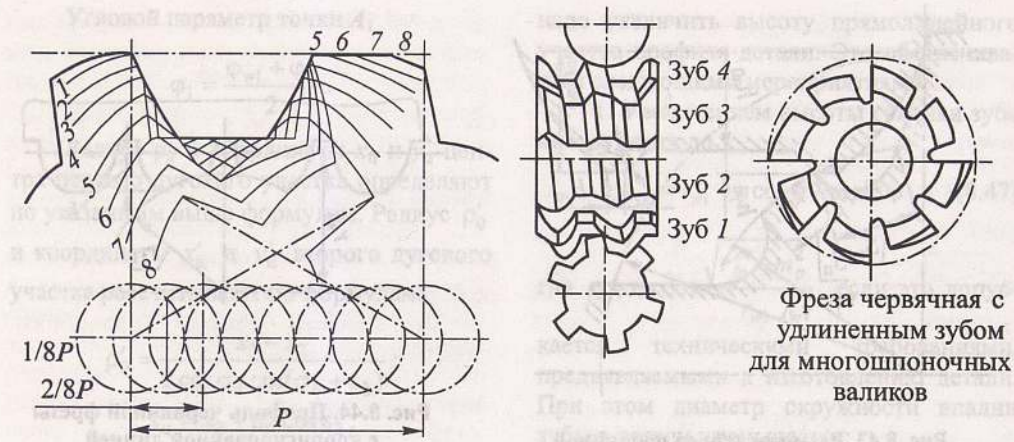


Рис. 8.45. Схема работы червячной фрезы определенной установки с корригированной линией выступов зубьев

плоскости, перпендикулярной к винтовой линии детали, проходящей через полюс профилирования П. В системе координат  $X_d, Y_d, Z_d$  уравнение этой плоскости имеет вид

$$Y_d = -Z_d \operatorname{tg} \Sigma_p.$$

Тогда с учетом уравнения (8.1) уравнения ЛП принимают вид:

$$\begin{cases} X_d = -m_i \sin \varphi_i + n_i \cos \varphi_i; \\ Y_d = -m_i \cos \varphi_i - n_i \sin \varphi_i; \\ Z_d = \frac{(m_i + r_{w1} \sin \varphi_i) n_i}{p_1}, \end{cases} \quad (8.49)$$

где  $\varphi_i = \arccos(n_i / r_{w1})$ ;  $p_1$  – винтовой параметр детали:  $p_1 = r_{w1} \operatorname{ctg} \beta_{w1}$ .

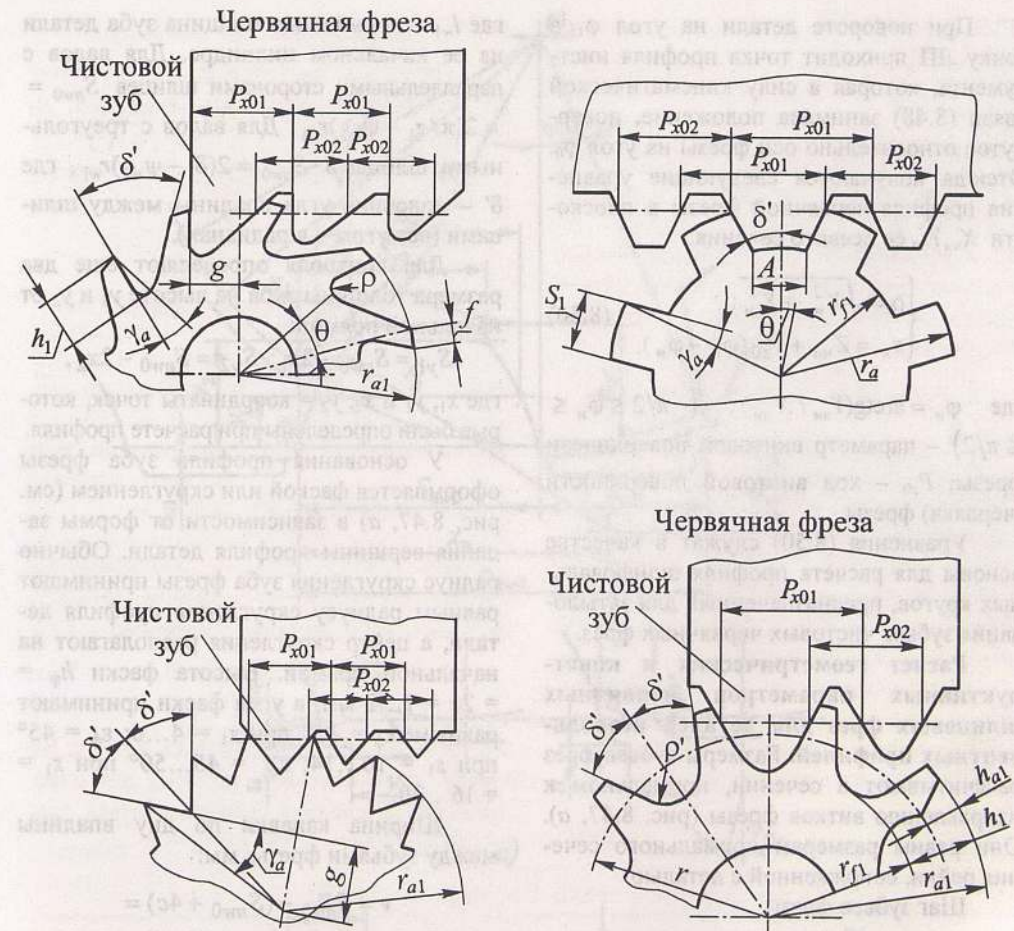


Рис. 8.46. Зубчатые детали, обрабатываемые фрезами определенной установки с профилированием по методу копирования

Разность в аппликатах  $Z_d$  для  $X_p$  в уравнении (8.1) и ЛП в уравнении (8.49) определяет собой угол профилирования

$$\varphi_1 \frac{\Delta Z_d}{p_1} = -(\varphi_i - \psi_i) \mp \frac{(m_i + r_{w1} \sin \varphi_i) n_i}{p_1^2}$$

Здесь знак «-» принимают для деталей с правым направлением зубьев, а знак «+» – для деталей с левым направлением зубьев.

Уравнения ЛП в системе  $X_{чи}, Y_{чи}, Z_{чи}$  получают с помощью формул перехода к ней от системы  $X_d, Y_d, Z_d$ :

$$\begin{cases} X_{чи} = X_d - a_{\omega чи}; \\ Y_{чи} = Y_d \cos \Sigma + Z_d \sin \Sigma; \\ Z_{чи} = -Y_d \sin \Sigma + Z_d \cos \Sigma, \end{cases}$$

где  $a_{\omega чи}$  и  $\Sigma$  – соответственно расстояние и угол между осями детали и червячной фрезы.

При повороте детали на угол  $\varphi_1$  в точку ЛП приходит точка профиля инструмента, которая в силу кинематической связи (8.48) занимала положение, повернутое относительно оси фрезы на угол  $\varphi_0$ . Отсюда получаются следующие уравнения профиля червячной фрезы в плоскости  $X_{чи}Y_{чи}$  ее осевого сечения:

$$\begin{cases} \rho = \sqrt{X_{чи}^2 + Y_{чи}^2}; \\ z_n = Z_{чи} + P_{z0}(\varphi_0 - \varphi_n), \end{cases} \quad (8.50)$$

где  $\varphi_n = \arctg(Y_{чи} / X_{чи})$ ,  $(-\pi/2 \leq \varphi_n \leq \pi/2)$  – параметр винтовой поверхности фрезы;  $P_{z0}$  – ход винтовой поверхности (червяка) фрезы.

Уравнения (8.50) служат в качестве основы для расчета профиля шлифовальных кругов, предназначенных для затылования зубьев чистовых червячных фрез.

**Расчет геометрических и конструктивных параметров червячных шлицевых фрез для деталей незвольтовых профилей.** Размеры зубьев фрез рассчитывают в сечении, нормальном к направлению витков фрезы (рис. 8.47, а). Они равны размерам нормального сечения рейки, сопряженной с деталью.

Шаг зубьев фрезы

$$P_{нw0} = \frac{2\pi r_{w1}}{z_1} \cos \beta_{w1},$$

где  $\beta_{w1}$  – угол наклона зубьев детали на ее начальном цилиндре, определяют по формуле (8.13). Для прямозубых изделий  $\beta_{w1} = 0$ .

Высота головки зуба фрезы, если она не корректируется ограничениями на размеры переходных кривых (см. выше),  $h_{a0} = r_{w1} - r_{f1}$ .

Высота ножки зуба фрезы

$$h_{f0} = h_{a1} + (0,5 \dots 1,5) = r_{a1} - r_{w1} + (0,5 \dots 1,5).$$

Толщина зуба по начальной прямой

$$S_{нw0} = P_{нw0} - l_{w1},$$

где  $l_{w1}$  – нормальная толщина зуба детали на ее начальном цилиндре. Для валов с параллельными сторонами шлицев  $S_{нw0} = 2(\pi/z_1 - \psi_{w1})r_{w1}$ . Для валов с треугольными шлицами  $S_{нw0} = 2(\delta' - \psi_{w1})r_{w1}$ , где  $\delta'$  – половина угла впадины между шлицами (все углы – в радианах).

Для контроля определяют еще два размера толщины зуба на высоте  $y_1$  и  $y_2$  от начальной прямой:

$$S_{y1} = S_{нw0} - 2x_1; \quad S_{y2} = S_{нw0} - 2x_2,$$

где  $x_1, y_1$  и  $x_2, y_2$  – координаты точек, которые были определены при расчете профиля.

У основания профиль зуба фрезы оформляется фаской или скруглением (см. рис. 8.47, а) в зависимости от формы задания вершины профиля детали. Обычно радиус скругления зуба фрезы принимают равным радиусу скругления профиля детали, а центр скругления располагают на начальной прямой. Высота фаски  $h_{\phi} = 2c = 1 \dots 2$  мм, а угол фаски принимают равным:  $\epsilon_{\phi} = 35^\circ$  при  $z_1 = 4 \dots 6$ ;  $\epsilon_{\phi} = 45^\circ$  при  $z_1 = 10 \dots 14$ ;  $\epsilon_{\phi} = 45 \dots 50^\circ$  при  $z_1 = 16 \dots 20$ .

Ширина канавки по дну впадины между зубьями фрезы, мм:

$$\begin{aligned} v &= P_{нw0} - (S_{нw0} + 4c) = \\ &= P_{нw0} - S_{нw0} - (2 \dots 4). \end{aligned}$$

Глубина канавки (при условии ее затылования), мм:

$$u = 1,5 \dots 3,0.$$

Полная высота зуба фрезы

$$h_0 \approx h_{a0} + h_{\phi} + u.$$

**Геометрические параметры.** Передний угол  $\gamma$  назначают в зависимости от условий работы. Обычно  $\gamma = 0$ . При  $\gamma \neq 0$  профиль зубьев чистовых фрез необходимо корректировать специальными расчетами.

Задний угол при вершине зуба фрезы  $\alpha_b = 9 \dots 12^\circ$ . Фрезы делают с затылованными зубьями с величиной падения кри-

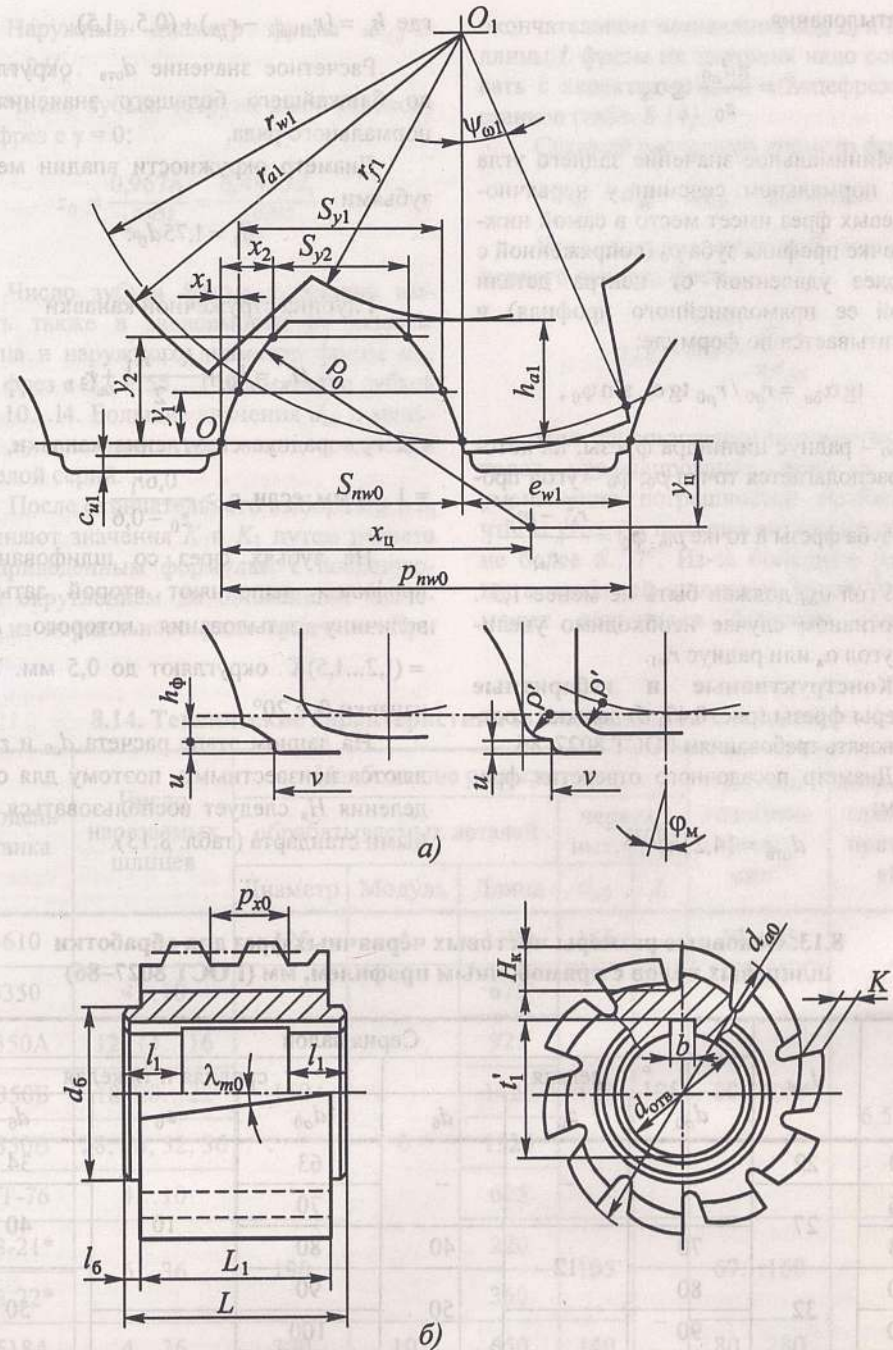


Рис. 8.47. Шлицевая червячная фреза:  
а – профиль зубьев в нормальном сечении;  
б – конструктивные размеры

вой затылования

$$K = \frac{\pi d_{a0}}{z_0} \operatorname{tg} \alpha_{\beta}$$

Минимальное значение заднего угла  $\alpha_{\beta n}$  в нормальном сечении у червячно-шлицевых фрез имеет место в самой нижней точке профиля зуба  $p_0$  (сопряженной с наиболее удаленной от центра детали точкой ее прямолинейного профиля) и рассчитывается по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\beta n} = r_{a0} / r_{p0} \operatorname{tg} \alpha_{\beta} \sin \varphi_0,$$

где  $r_{p0}$  – радиус цилиндра фрезы, на котором располагается точка  $p_0$ ;  $\varphi_0$  – угол про-

филя зуба фрезы в точке  $p_0$ ,  $\varphi_0 = \frac{r_{h1}^2 - m_p^2}{r_{w1}}$ .

Угол  $\alpha_{\beta n}$  должен быть не менее  $1,5^\circ$ . В противном случае необходимо увеличить угол  $\alpha_{\beta}$  или радиус  $r_{w1}$ .

**Конструктивные и габаритные размеры фрезы** (рис. 8.47, б) должны соответствовать требованиям ГОСТ 8027–86.

Диаметр посадочного отверстия фрезы, мм:

$$d_{\text{отв}} = 14,21 h_n^{0,373},$$

### 8.13. Основные размеры чистовых червячных фрез для обработки шлицевых валов с прямобочным профилем, мм (ГОСТ 8027–86)

L	$d_{\text{отв}}$	Серия валов					
		легкая			средняя и тяжелая		
		$d_{a0}$	$z_0$	$d_6$	$d_{a0}$	$z_0$	$d_6$
50	22	–	–	–	63	–	34
56	27	–	–	–	70	10	40
63		70	12	40	80		
70	32	80	12	50	90	12	50
80		90		50	100		
90	40	100	14	60	112	12	60
100		112			125		
112		125			140		

где  $h_n = (r_{a1\max} - r_{fp}) + (0,5 \dots 1,5)$ .

Расчетное значение  $d_{\text{отв}}$  округляют до ближайшего большего значения из нормального ряда.

Диаметр окружности впадин между зубьями

$$d_1 = 1,75 d_0.$$

Глубина стружечной канавки

$$H_k = h_0 + \frac{K + K_1}{2} + r_3,$$

где  $r_3$  – радиус скругления канавки,  $r_3 =$

$= 1 \dots 4$  мм, если  $r_3 > \frac{0,6 r_1}{z_0 - 0,6}$ .

На зубьях фрез со шлифованным профилем выполняют второй затылок, величину затылования которого  $K_1 = (1,2 \dots 1,5)K$  округляют до 0,5 мм. Угол канавки  $\vartheta \geq 20^\circ$ .

На данном этапе расчета  $d_{a0}$  и  $z_0$  являются неизвестными, поэтому для определения  $H_k$  следует воспользоваться данными стандарта (табл. 8.13).

Наружный диаметр фрезы  $d_{a0} \geq d_1 + 2H_k$ .

Число зубьев (стружечных канавок) для фрез с  $\gamma = 0$ :

$$z_0 = \frac{0,967 r_1}{h_n^{0,452}} = \frac{0,4835 d_1}{h_n^{0,452}}.$$

Число зубьев фрезы  $z_0$  можно выбрать также в зависимости от высоты шлица и наружного диаметра фрезы  $d_{a0}$ . Для фрез с  $d_{a0} = 55 \dots 140$  мм число зубьев  $z_0 = 10 \dots 14$ . Большие значения  $d_{a0}$  и меньшие  $z_0$  принимают для валов средней и тяжелой серий.

После окончательного выбора  $d_{a0}$  и  $z_0$  уточняют значения  $K$  и  $K_1$  путем расчета по приведенным формулам с последующим округлением до ближайших значений из нормального ряда кулачков. При

окончательном назначении  $d_{a0}$ ,  $z_0$  и общей длины  $L$  фрезы их значения надо согласовать с характеристикой шлицефрезерных станков (табл. 8.14).

Средний расчетный диаметр фрезы

$$d_{m0} = d_{a0} - 2h_{a0} - (0,2 \dots 0,3)K.$$

Угол подъема винтовой линии основного червяка фрезы

$$\gamma_{m0} = \arcsin \frac{p_{mw0}}{\pi d_{m0}}.$$

При использовании плоскостных методов профилирования фрез в целях уменьшения погрешностей необходимо, чтобы угол  $\gamma_{m0}$  подъема витков фрезы был не более  $6 \dots 7^\circ$ . Из-за большого размера шага профилей шлицевых валов угол  $\gamma_{m0}$  может получиться большим. Поэтому

### 8.14. Технические характеристики шлицефрезерных станков

Модель станка	Число нарезаемых шлицев	Наибольшие размеры, мм					Частота вращения фрезы, мин <sup>-1</sup>	Мощность главного привода, кВт
		обрабатываемых деталей			червячных фрез			
		Диаметр	Модуль	Длина	$d_{a0}$	L		
5610	–	125	4	1190	165	–	38...95	–
5350	4...10			675				
5350А	12; 14...16			925				
5350Б	18; 20...22	150		1425	140	105	80...250	6,5/7,5
5350В	28; 30; 32; 36		6	1925				
КТ-76	4...10			625				
ЕЗ-21*	6...36	190		220	105		67...160	–
ЕЗ-22*				360				
5618А	4...36	300	10	650	140		80...280	
МШ 300	–	125	8	700	100		31,5...200	11/15

\*Станки вертикальные.

если в качестве исходных данных для проектирования фрезы принято заданное значение угла подъема витков  $\gamma_{m03}$ , то расчет конструктивных размеров фрезы ведут в следующем порядке. Рассчитывают:

1. Средний расчетный диаметр фрезы

$$d_{m0} = \frac{P_{nw0}}{\pi \sin \gamma_{m03}}$$

2. Наружный диаметр фрезы

$$d_{a0} = d_{m0} + 2h_{a0} + (0,2...0,3)K.$$

3. Диаметр посадочного отверстия

$$d_0 \approx (0,55...0,625)(d_{a0} - 2H_k)$$

с последующим округлением до ближайшего значения из нормального ряда по ГОСТ 9472-90.

4. Осевой шаг витков фрезы

$$p_{x0} = P_{nw0} \sec \gamma_{m0}.$$

5. Шаг винтовой стружечной канавки фрезы  $p_{z0} = \pi d_{m0} \operatorname{ctg} \gamma_{m0}$ .

6. Длина рабочей части фрезы, в пределах которой имеются витки,

$$L_1 = 2\sqrt{h_1(d_{a1} - h_1)} + (2...0,5)p_{x0}.$$

Величина  $(2...0,5)p_{x0}$  является дополнительной для возможности осуществ-

ления перестановок фрезы вдоль оси с целью повышения ее работоспособности.

Для контроля правильности установки фрезы на станке по ее торцам выполняют буртики длиной  $l_6 = 3...3,5$  мм и диаметром  $d_6 = d_{a0} - 2H_k - (2...4)$  мм.

Общая длина фрезы  $L = L_1 + 2l_6$ , обычно  $L \approx (3...4)p_{x0}$ .

Наиболее распространенными являются шлицевые соединения по ГОСТ 1139-80. Фрезы изготавливают следующих классов точности: А – для чистового нарезания шлицевых валов с допусками по толщине зуба d9, h9, e9, f9, по внутреннему диаметру e9; В – для чистового нарезания валов с допусками по толщине зуба d10, по внутреннему диаметру e8 (допуск по наружному диаметру не лимитируется); С – для чернового нарезания валов.

Допускаемые предельные отклонения параметров червячных фрез для валов с прямым профилем указаны в табл. 8.15.

Параметры шероховатостей поверхностей фрез должны быть: задних поверхностей зубьев, торцовых поверхностей буртиков  $Ra \leq 3,2$  мкм; цилиндрической поверхности буртика  $Ra \leq 6,3$  мкм; поверхности посадочного отверстия  $Ra \leq 0,32$  мкм.

### 8.15. Допуски на изготовление червячных шлицевых фрез

Параметр и обозначение его допуска	Класс точности	Допуски и отклонения, мкм, при нормальном шаге зубьев, мм				
		До 6,3	Св. 6,3 до 11	Св. 11 до 19	Св. 19 до 32	Св. 32
Диаметр посадочного отверстия, $f_d$	А	Н5				
	В и С	Н6				
Радиальное биение буртиков, $f_y$	А	5	5	6	8	10
	В	6	8	10	12	16
	С	12	16	20	25	32
Торцовое биение буртиков, $f_z$	А	3	4	5	6	8
	В	4	6	6	8	10
	С	8	10	12	16	20
Радиальное биение по вершинам, $f_{rda}$	А	20	25	32	40	50
	В	32	40	50	63	80
	С	63	80	100	125	160

Продолжение табл. 8.15

Параметр и обозначение его допуска	Класс точности	Допуски и отклонения, мкм, при нормальном шаге зубьев, мм				
		До 6,3	Св. 6,3 до 11	Св. 11 до 19	Св. 19 до 32	Св. 32
Профиль передней поверхности, $f_y$	А	20	25	32	40	50
	В	32	40	50	63	80
	С	63	80	100	125	160
Разность соседних окружных шагов, $f_{u0}$	А	20	25	32	40	50
	В	32	40	50	63	80
	С	63	80	100	125	160
Накопленная погрешность окружного шага стружечных канавок, $F_{P0}$	А	40	50	63	80	100
	В	63	80	100	125	160
	С	125	160	200	250	315
Направление стружечных канавок, $f_x$	А	±80				
	В	±100				
	С	±125				
Винтовая линия фрезы на одном обороте, $f_{h0}$	А	10	12	16	20	25
	В	16	20	25	32	40
	С	32	40	50	63	80
Осевой шаг фрезы, $f_{px0}$	А	±8	±9	±10	±10	±12
	В	±12	±16	±18	±18	±20
	С	±20	±25	±28	±32	±40
Отклонение осевого шага между $n$ зубьев (шагов), $f_{pxn0}$	А	±16	±18	±20	±20	±25
	В	±25	±32	±36	±36	±40
	С	±40	±50	±56	±56	±63

### 8.9. Направления развития и перспективные конструкции зуборезного инструмента

Совершенствование конструкций зуборезных инструментов осуществляется путем применения новых износостойких и высокопрочных инструментальных материалов; создания сборных конструкций инструментов; применения новых технологий изготовления зуборезных инструментов; повышения точности изготовления инструментов; нанесения износостойких покрытий; применения новых схем резания, методов обработки и эффективного охлаждения; оптимизации конструктивных и геометрических параметров ин-

струментов; автоматизации процессов зубообработки.

Окончательный вопрос о целесообразном применении и создании новых конструкций зуборезных инструментов по сравнению с существующими решается после отработки их на технологичность и расчета экономической эффективности с учетом: стоимости инструмента; производительности обработки; типа производства; количества переточек и срока службы, точности обработки, технологической себестоимости обработанных зубчатых пар и изменения технологии зубонарезания; эксплуатационных расходов и других факторов.



Одним из эффективных направлений совершенствования зуборезных инструментов является использование новых прогрессивных инструментальных материалов, например, безвольфрамовой стали марки 11M5ЮФ, твердых сплавов, в том числе и безвольфрамовых, сверхтвердых материалов (СТМ) – алмазов, эльбора (например, для шлифовальных кругов, зубчатых хонов, шеверов), сверхтвердых поликристаллов сравнительно больших размеров (гексanita и других композитов). Лезвийные инструменты, оснащенные твердыми сплавами или поликристаллами из кубического нитрида бора (КНБ), позволяют в ряде случаев заменять шлифование закаленных до высокой твердости зубчатых колес лезвийной обработкой, как более производительной и экологически чистой. Это имеет большое значение, так как требование увеличения скоростей и мощностей современных машин с одновременным снижением их материалоемкости обуславливает в качестве главной тенденции в настоящее и будущее переход на термически обработанные и высокоточные колеса. В связи с этим перспективным является новый способ обработки, основанный на использовании конструкций червячных твердосплавных фрез с большим отрицательным передним углом при вершине зубьев ( $\gamma$  от  $-10^\circ$  до  $-30^\circ$ ), что обеспечивает при работе фрезы большой угол наклона режущих кромок (см. рис. 8.26). Высотные размеры их зубьев назначают такими, что вершинная кромка не участвует в работе. Поэтому зубья таких фрез имеют только кинематическую вершину, находящуюся на боковых сторонах зубьев в соответствии с расположением активной действующей линии. Повышение точности фрез обеспечивают также конструктивными и технологическими мероприятиями. К ним относятся методы точного профилирования фрез при расчете, способы минимизации погрешностей, возникающих при затыловании фрез кругами, рекомендации по выбору размеров кругов и оптимизации

параметров их установки. Закаленные колеса после обработки твердосплавными фрезами соответствуют 7–8-й степеням точности по ГОСТ 1643–81 и имеют шероховатость обработанной поверхности  $Ra = 0,5 \dots 1,25$  мкм. Применение фрез позволяет либо полностью исключить зубошлифование, либо значительно сократить припуски (до  $0,1 \dots 0,2$  мм на сторону зуба колеса вместо  $0,3 \dots 0,6$  мм). При этом резко снижаются трудоемкость изготовления колес, а также себестоимость обработки за счет сокращения потребности в дорогостоящих зубошлифовальных станках и рабочих-шлифовщиках высокой квалификации; экологически чистым становится процесс обработки.

Весьма перспективными являются фрезы с неразъемными клеевыми соединениями режущих элементов с корпусами (см. рис. 8.26). При этом применяют клеи марок «Инструментол», ТК-78, ВК-424. Для приклеивания пластин из твердого сплава марок ВК8, ВК60М, Т14К8, Т15К6 к корпусам червячных фрез рекомендуют клей марки УП-5-207, причем термостойкость клеев должна достигать  $350^\circ\text{C}$  и выше. Толщина клеевого шва должна составлять  $0,05 \dots 0,1$  мм, а шероховатость склеиваемых поверхностей при их шлифовании  $Ra = 0,64 \dots 0,74$  мкм. Пастообразный клей наносят на всю соединяемую поверхность. Ввиду небольшого временного сопротивления клеевого соединения при сдвиге ( $50 \dots 60$  МПа) следует применять такие способы базирования режущих зубьев, при которых силы резания воспринимаются базовыми поверхностями корпуса инструмента. С помощью клея можно надежно соединять с корпусом режущие элементы практически из всех видов инструментальных материалов, в том числе и не поддающихся сварке или пайке.

Долговечность и стойкость клееных инструментов выше, чем напайных. Это объясняется тем, что корпусы инструментов имеют твердость  $46 \dots 51$  HRC и отсутствуют внутренние напряжения, вызываемые пайкой.



Рис. 8.48. Варианты исполнения сборных конструкций червячных фрез

Широкое распространение получили сборные конструкции зубообрабатывающих инструментов с механическим креплением отдельных зубьев или реек, в том числе и на основе использования многогранных пластин. Различные варианты их исполнения для червячных фрез показаны на рис. 8.48. Здесь же приведена конструкция червячной фрезы с ромбовидными твердосплавными пластинами, которые позволяют четырехкратно использовать их без переточки. Ширина пластины равна осевому шагу зубьев фрезы. Пластины опираются на твердосплавные подкладки, устанавливаемые на дно пазов корпуса. Фрезы изготавливают в диапазоне модулей  $1,5 \dots 4,0$  мм и применяют для обработки колес из стали твердостью  $HV \leq 300$  МПа под шевингование или шлифование. Применение многогранных неперетачиваемых пластин (рис. 8.49), механически закрепляемых в конструкции инструментов, позволяет эффективно использовать твердые

сплавы и режущую керамику с относительно низкой прочностью и высокой износостойкостью (Т30К4 и др.).

Для повышения стойкости зуборезных инструментов весьма эффективным является нанесение различного рода покрытий толщиной  $5 \dots 20$  мкм из нитридов, карбидов тугоплавких металлов (титана и др.), осуществляемое методами химического и физического осаждения. Они особенно эффективны до первой переточки инструмента, а также для инструментов, оснащенных многогранными неперетачиваемыми пластинами.

Определенные резервы создания инструментов повышенной стойкости и производительности заложены в выборе оптимальной схемы резания, построенной на принципе разделения стружки по периметру режущей кромки.

На рис. 8.23 показаны схема резания стандартной фрезой и профиль зубьев фрез с новыми схемами резания, повышающими стойкость инструмента.

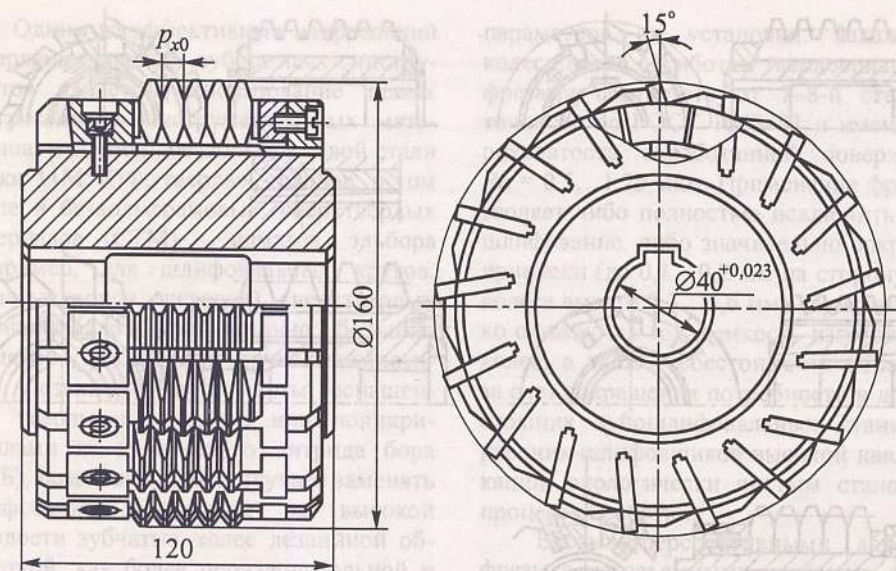


Рис. 8.49. Сборная червячная фреза с многогранными твердосплавными пластинами

Эффективным направлением совершенствования зубообрабатывающих инструментов является улучшение их геометрических параметров и связанное с этим изменение формы задних и передних поверхностей. К числу таких мероприятий относится увеличение задних углов при вершине зубьев доляков до  $9...12^\circ$ , применение доляков с наклонным расположением осей цилиндрических задних поверхностей взамен винтовых, использование в конструкциях червячных фрез передних поверхностей с криволинейными образующими в торцовом сечении и расположенными под большими углами  $\lambda$ . Стремление снизить большую трудоемкость шлифования задних поверхностей зубьев червячных фрез на затыловочных станках, увеличить задние углы, число переточек фрез и их работоспособность привело к созданию сборных конструкций, в которых в качестве задних поверхностей принимаются обычные винтовые, цилиндрические поверхности и плоскости. Это позволяет заменить шлифование профиля на затыловочных станках менее трудоемкими операциями – резьбошли-

фованием, круглым или плоским шлифованием. К числу таких фрез относятся конструкции с поворотными рейками фирмы «Сампутенсили» (Италия) и др. Для обработки профиля на резьбошлифовальных станках рейки устанавливают в технологический или рабочий корпус так, что вершинные поверхности зубьев располагаются на цилиндрической поверхности основного червяка, а боковые – на винтовой.

Для повышения производительности зубообработки весьма перспективным является синтез новых станочных пар и соответствующих им конструкций инструментов, работающих по способу непрерывного обката, с реализацией одного из движений подачи в конструкции инструмента. Это обкаточные инструменты, у которых исходная инструментальная поверхность имеет не точечный, а линейчатый контакт с боковой поверхностью зуба обрабатываемого колеса. Производительность обработки такими инструментами повышается в  $3...5$  и более раз. К ним относятся облегающие шеверы, шеверы типа SICMAT (Италия), обкаточные резцы

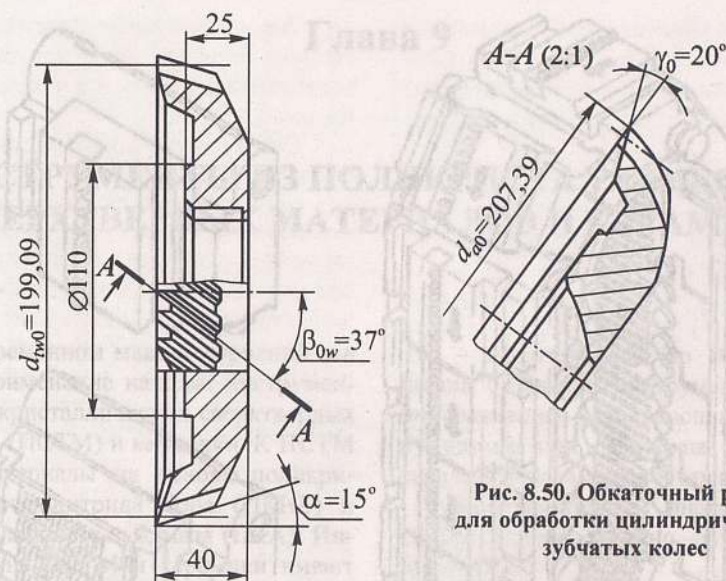


Рис. 8.50. Обкаточный резец для обработки цилиндрических зубчатых колес

для цилиндрических колес (рис. 8.50), весьма прогрессивные конструкции сборных двухрядных обкаточных резцов (рис. 8.51). Последние представляют собой

два обкаточных резца, установленных на одном шпинделе. Один из них (чистовой) установлен по межосному перпендикуляру, другой (черновой) смещен с него.

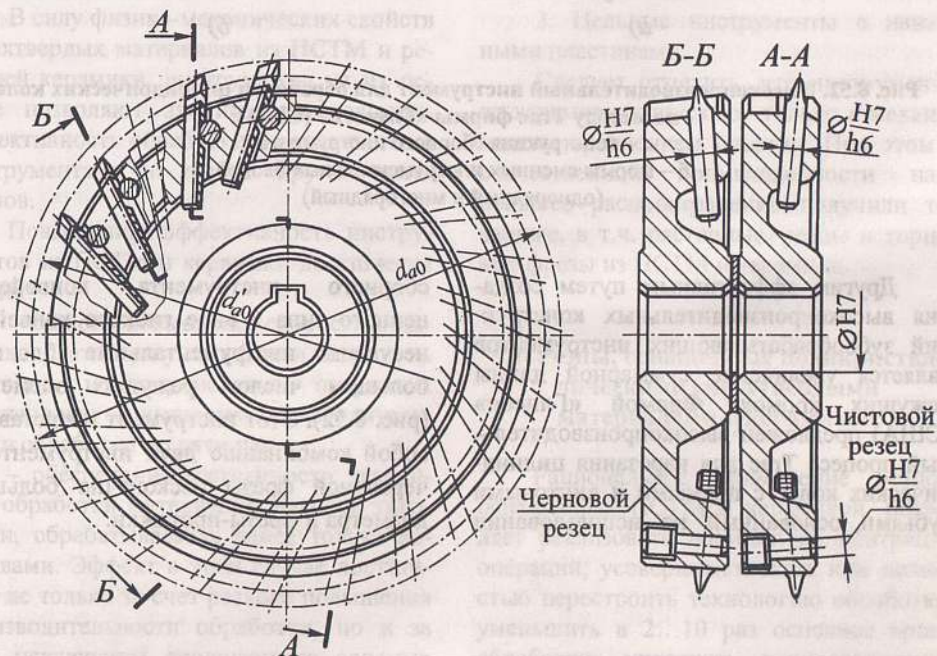
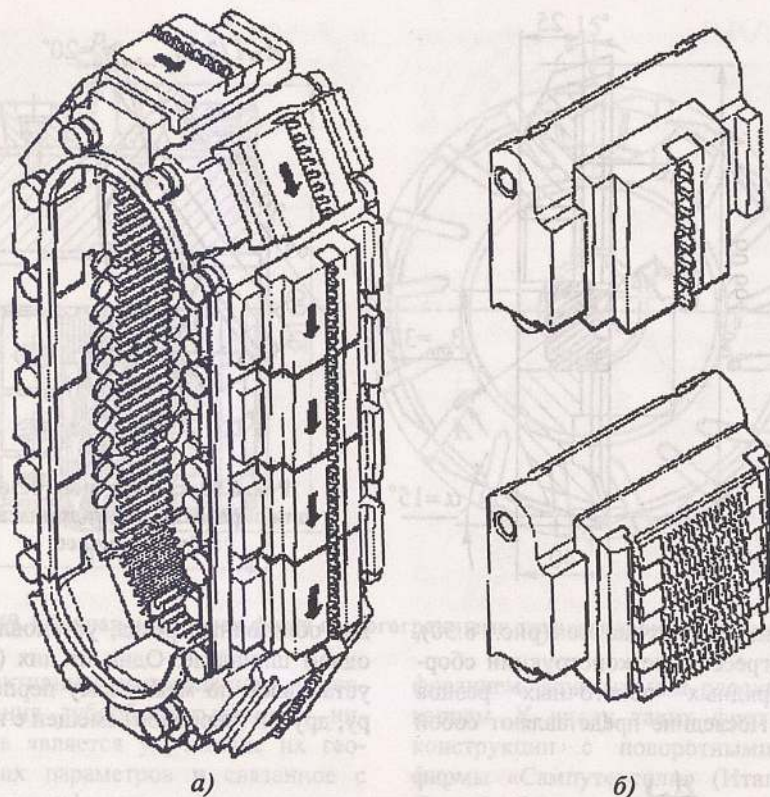


Рис. 8.51. Сборный двухрядный обкаточный резец



**Рис. 8.52. Высокпроизводительный инструмент для обработки цилиндрических колес по методу Тгас фирмы «Глиссон» (США):**  
 а – конструкция сборного инструмента;  
 б – формы сменных инструментальных блоков (однорядный и многорядный)

Другим эффективным путем создания высокпроизводительных конструкций зубообрабатывающих инструментов является увеличение суммарной длины режущих кромок. Фирмой «Глиссон» (США) предложен высокпроизводительный процесс Тгас для нарезания цилиндрических колес с прямыми и винтовыми зубьями, основанный на использовании

сборного инструмента конвейерно-цепного типа в виде гибкого конвейера, несущего инструментальные блоки с большим числом режущих элементов (рис. 8.52). Этот инструмент представляет собой комбинацию двух инструментов – червячной фрезы бесконечно большого диаметра и фрезы-протяжки.

## Глава 9

### ИНСТРУМЕНТЫ ИЗ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ И КЕРАМИКИ

В современном машиностроении все большее применение находят инструменты из поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ) и керамики. К ПСТМ относят материалы на основе поликристаллического нитрида бора (ПКНБ) и поликристаллического алмаза (ПКА). Инструменты из ПСТМ и керамики имеют четкое разделение областей применения: инструменты из керамики и ПКНБ применяют при обработке сталей и чугунов, а инструменты из ПКА – при обработке цветных металлов и неметаллических материалов.

В силу физико-механических свойств сверхтвердых материалов из ПСТМ и режущей керамики, инструменты на их основе позволяют значительно повысить эффективность обработки по сравнению с инструментами из любых других материалов.

Повышенная эффективность инструментов из ПСТМ и керамики достигается за счет:

- резкого повышения скорости резания, что, даже при уменьшении подачи, на чистовых и получистовых операциях обеспечивает повышение производительности обработки до пяти раз;

- обеспечения возможности лезвийной обработки материалов высокой твердости, обрабатываемых ранее только абразивами. Эффект в этом случае достигается не только за счет резкого повышения производительности обработки, но и за счет исключения экологически вредных технологических процессов, которыми являются операции шлифования;

- значительного (до 100 раз) повышения стойкости инструментов из ПКА по сравнению с твердосплавными инструментами при работе на свойственных твердым сплавам скоростях резания.

Конструктивно инструменты из ПСТМ условно можно разбить на три группы:

1. Инструменты с механическим креплением многогранных и круглых пластин.
2. Инструменты с механическим креплением вставок с напайными пластинами.
3. Цельные инструменты с напайными пластинами.

Следует отметить, что инструменты из керамики выпускают только с механическим креплением пластин. При этом в отечественной промышленности наибольшее распространение получили токарные, в т.ч. расточные, резцы и торцовые фрезы из ПСТМ и керамики.

#### 9.1. Резцы, оснащенные поликристаллическими сверхтвердыми материалами и керамикой

Рациональное применение резцов, оснащенных ПСТМ и керамикой, позволяет реализовать принцип концентрации операций; усовершенствовать или полностью перестроить технологию обработки; уменьшить в 2...10 раз основное время обработки; упростить технологический цикл, исключив или сократив по времени некоторые операции (переходы); улуч-

шить качество обработанной поверхности (низкая шероховатость, отсутствие микротрещин, прижогов и т.п.); высвободить рабочих, оборудование и производственные площади.

Эффективное применение инструментов, оснащенных ПСТМ и керамикой, во многом зависит от правильного выбора режимов резания.

В таблице 9.1 приведены рекомендуемые режимы резания инструментами, оснащенными ПКНБ и керамикой, при точении и растачивании. При этом следует учитывать следующее:

- скорость резания из рекомендуемых диапазонов выбирают максимальной; меньшие значения скорости принимают при максимальных значениях твердости обрабатываемого материала (из приведенного диапазона), а также максимальных значениях подачи и глубины резания (при точении с ударом сечение среза должно быть уменьшено);

- максимальные значения подачи назначают при минимальных значениях глубины резания, при этом подача может быть лимитирована требуемым качеством обработки;

- инструменты, оснащенные ПСТМ и керамикой, необходимо применять на высокоскоростном, жестком, мощном и виброустойчивом оборудовании, поскольку стойкость этих инструментов находится в прямой зависимости от указанных характеристик станков.

При точении, учитывая припуск, устанавливают глубину резания и подачу (исходя из максимальной производительности при заданной шероховатости обработанной поверхности), а затем назначают скорость резания, обеспечивающую необходимую стойкость. При точении с ударом, особенно сталей и чугунов высокой твердости, точении по корке для надежной работы резцов из ПКНБ необходимо на передней поверхности под углом  $\gamma = -20^\circ$  сделать защитную фаску шириной 0,05...0,20 мм.

Все керамические пластины в обязательном порядке также изготавливают с защитными фасками под углом  $\gamma = -20^\circ$  и шириной 0,2 мм.

Современные конструкции токарных станков с ЧПУ, имеющие закрытые рабочие зоны, обладают характеристиками, необходимыми для эффективной эксплуатации инструментов из ПСТМ и керамики при высокоскоростном резании. Например, станок мод. «Neupumat 5» фирмы «Хейлигенштедт» (Германия) оснащен главным приводом, развивающим мощность до 53 кВт при частоте вращения шпинделя до 5000 мин<sup>-1</sup>; при этом скорость резания для наибольшего диаметра заготовки 330 мм составляет 5200 м/мин (наибольшая длина заготовки 850 мм). Большая мощность привода позволяет вести на этом станке высокоскоростную черновую обработку заготовок из чугунов и конструкционных сталей, алюминиевых сплавов и других материалов. Принципиально новым конструктивным решением является размещение в рабочей зоне токарного станка этой модели четырехкоординатной высокоскоростной ( $n = 36\ 000$  мин<sup>-1</sup>;  $N = 25$  кВт) фрезерной головки, позволяющей с наивысшей производительностью обрабатывать детали из тех материалов, которые при точении дают сливную стружку.

Фирма «Хеллер» (Германия) выпускает жесткие станки с мощностью привода главного движения около 90 кВт, встраиваемые в автоматические линии высокоскоростного чернового растачивания внутренних диаметров двух-, трех- и четырехцилиндровых блоков автомобильных моторов. Например, отверстия Ø83,6 мм длиной 142 мм в отливке из серого чугуна растачивают пятизубой головкой с механическим креплением квадратных пластин из керамики на основе Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> при  $v = 1420$  м/мин ( $n = 5400$  мин<sup>-1</sup>),  $S_z = 0,18$  мм/зуб ( $S_m = 4800$  мм/мин),  $a_p = 3,0$  мм с интенсивностью съема припуска  $Q = 3800$  см<sup>3</sup>/мин всего за 0,03 мин (2с). Важно, что при этой обработке почти вся возникающая теплота отводится со стружкой

9.1. Рекомендуемые режимы резания при точении и растачивании инструментами из ПСТМ и керамики

Обрабатываемый материал	Резущий материал						
	Керамика			ПКНБ			ПКА
	Скорость $v$ , м/мин	Подача $S_0$ , мм/об	Глубина $t$ , мм	Скорость $v$ , м/мин	Подача $S_0$ , мм/об	Глубина $t$ , мм	
Сталь 150...250 HB	200...600	0,1...0,5	0,5...5,0	—	—	—	—
25...40 HRC	120...250	0,1...0,4	0,5...3,0	—	—	—	—
40...50 HRC	60...120	0,05...0,2	0,3...2,0	100...180	0,03...0,2	0,3...2,0	—
50...60 HRC	40...100	0,04...0,15	0,2...1,5	80...160	0,02...0,15	0,2...1,5	—
60...70 HRC	—	—	—	60...120	0,02...0,1	0,2...1,0	—
Чугун 120...240 HB	200...600	0,1...0,5	0,5...5,0	500...1000	0,1...0,5	0,5...5,0	—
240...400 HB	100...200	0,1...0,4	0,5...3,0	200...600	0,1...0,4	0,3...3,0	—
400...600 HB	50...100	0,05...0,2	0,5...2,0	80...200	0,05...0,2	0,5...2,0	—
Алюминий и алюминиевые сплавы	—	—	—	—	—	—	1000...5000 0,1...3,0
Алюминиево-кремниевые сплавы (10...20% Si)	—	—	—	—	—	—	600...3000 0,03...0,3

Обрабатываемый материал	Режущий материал								
	Керамика			ПКНБ			ПКА		
	Режимы резания								
Скорость V, м/мин	Подача S <sub>0</sub> , мм/об	Глубина t, мм	Скорость V, м/мин	Подача S <sub>0</sub> , мм/об	Глубина на t, мм	Скорость V, м/мин	Подача S <sub>0</sub> , мм/об	Глубина на t, мм	
Медь и медные сплавы	—	—	—	—	—	—	500...4000	0,03...0,3	0,1...3,0
Твердые сплавы 80...86 HRA	—	—	—	5...20	0,03...0,1	0,1...0,5	15...40	0,03...0,1	0,1...0,5
Износостойкие покрытия на основе никеля (плазменное нанесение) 47...57 HRC	—	—	—	50...100	0,03...0,15	0,1...0,5	—	—	—
Углепластики, стеклопластики	—	—	—	—	—	—	200...1000	0,03...0,3	0,1...3,0
Керамика	—	—	—	—	—	—	50...100	0,02...0,1	0,1...0,5
Горные породы (гранит)	—	—	—	—	—	—	100...300	0,03...0,2	0,1...3,0
Резина	—	—	—	—	—	—	200...600	0,05...0,5	0,1...1,0
Древесно-стружечные материалы	—	—	—	—	—	—	2000...4000	0,05...0,5	0,1...3,0

И деталь практически не нагревается. В результате отклонение от цилиндричности не превышает 0,01 мм, что позволило исключить полустовую обработку и сразу после обдирки выполнять чистовую расточку. Вместо применявшихся ранее многшпindelных станков (обработка отверстий является лимитирующей операцией и обуславливает длительность такта линии) теперь используют новые одношпindelные станки, что обеспечивает гибкость автоматической линии (на ней можно обрабатывать блоки с различным числом цилиндров). Чистовую обработку выполняют однозубыми головками, также оснащенными квадратными керамическими пластинами. Благодаря этому отклонение от цилиндричности находится в пределах 0,005 мм.

**Способы закрепления пластин из ПСТМ.** При конструировании инструментов из ПСТМ особенно важно правильно выбрать способ закрепления поликристалла. В настоящее время лучшими способами закрепления поликристаллов являются:

- механическое крепление шлифованной режущей пластины;
- пайка низкотемпературными припоями на основе серебра;
- вакуумная пайка поликристаллов адгезионно-активными припоями.

Наиболее перспективны инструменты с механическим креплением круглых и многогранных пластин, производство которых интенсивно расширяется на заводах инструментальной промышленности.

В сравнении с напайными конструкциями резцов и фрез инструменты с механическим креплением пластин из ПСТМ имеют следующие преимущества:

- более высокая надежность закрепления режущих элементов;
- повышенное качество режущих элементов в связи с отсутствием нагрева поликристаллов при пайке;
- увеличенная в 2...4 раза стойкость круглых пластин (напайные вставки можно перетачивать не более 4...5 раз, а пластины имеют до 20 периодов стойкости);

– уменьшенный в несколько раз расход алмазных кругов на заводах-изготовителях и отсутствие переточек и потребности в этих кругах у потребителей;

– возможность утилизации и повторного использования изношенных цельных пластин (например, для изготовления абразивных кругов из дробленых крупнозернистых ПСТМ).

Перетачиваемые инструменты рекомендуют использовать лишь в тех случаях, когда инструменты с механическим креплением пластин применять невозможно.

Керамика плохо подвергается пайке, и поэтому ее выпускают только в виде СМП.

Одними из важнейших требований, предъявляемых к конструкциям и технологии изготовления инструментов с механическим креплением СМП из керамики и ПСТМ, являются высокая контактная жесткость системы СМП–корпус резца и равномерное распределение нагрузки закрепления пластин в зоне прихват–СМП.

В настоящее время для режущих инструментов из ПСТМ и керамики изготавливают пластины трехгранной, квадратной, ромбической и круглой форм, шлифованные по всем поверхностям. Причем пластины из ПСТМ выпускают степеней точности U; M; G; E; H, а пластины из керамики – степеней точности U; M; G.

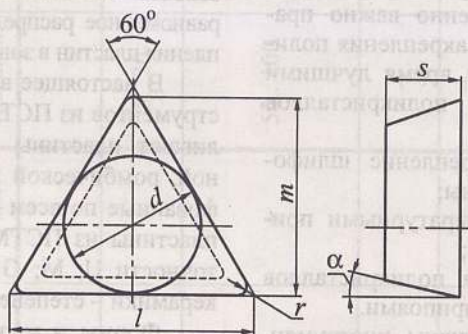
Формы и марки серийно изготавливаемых режущих пластин из ПСТМ представлены в табл. 9.2–9.7, а номенклатура режущих пластин из керамики – в табл. 9.8. Здесь в обозначениях пластин указана степень точности G, а при обозначении пластины другой степени точности буква G заменяется на соответствующую.

В табл. 9.7 приведены размеры трехгранных и квадратных пластин с корпусами из конструкционного материала (закаленная сталь, твердый сплав) и напайными режущими элементами из ПСТМ. Такие пластины удобны возможностью использования в держателях как для керамических, так и для твердосплавных пластин аналогичных размеров.

## 9.2. Формы и марки режущих пластин на основе нитрида бора

Форма пластин	Марка композитов	Диаметры вписанной окружности пластин, мм	Форма пластин	Марка композита	Диаметры вписанной окружности пластин, мм
Трех-гранная	Киборит	3,97	Квадратная	10Д	3,97
	07	4,76		Киборит	4,76
	Томал-10	5,56		07	6,35
	КП-3	6,35		Томал-10	9,52
				КП-3	12,7
Круглая	01; 02	3,6	Ромбическая	10Д	3,97
	10Д	5,56		Киборит	4,76
	Киборит	6,35; 7,0		07	6,35
	07	6,35		Томал-10	9,52
	Томал-10	9,52		КП-3	12,7

## 9.3. Пластины режущие из ПСТМ формы Т, мм

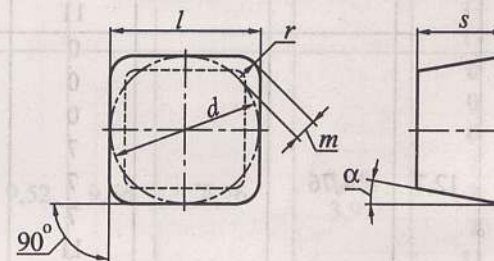


Обозначение пластин	$d$	$l$	$s$		$\alpha, ^\circ$	$r$	$m$
			1-й ряд	2-й ряд			
TNGN-08T302					0	0,2	7,140
TNGN-08T304					0	0,4	6,740
TNGN-08T308					0	0,8	6,340
TNGN-08T312					0	1,2	5,940
TCGN-08T302					7	0,2	7,140
TCGN-08T304	4,76	8,24	3,97	3,18	7	0,4	6,740
TCGN-08T308					7	0,8	6,340
TCGN-08T312					7	1,2	5,940
TPGN-08T302					11	0,2	7,140
TPGN-08T304					11	0,4	6,740
TPGN-08T308					11	0,8	6,340
TPGN-08T312					11	1,2	5,940

Продолжение табл. 9.3

Обозначение пластин	$d$	$l$	$s$		$\alpha, ^\circ$	$r$	$m$
			1-й ряд	2-й ряд			
TNGN-09T304					0	0,4	8,141
TNGN-09T308					0	0,8	7,540
TNGN-09T312					0	1,2	7,140
TCGN-09T304					7	0,4	8,141
TCGN-09T308					7	0,8	7,540
TCGN-09T312	5,56	9,63	3,97	3,18	7	1,2	7,140
TPGN-09T304					11	0,4	8,141
TPGN-09T308					11	0,8	7,540
TPGN-09T310					11	1,0	7,340
TPGN-09T312					11	1,2	7,140
TPGN-09T320					11	2,0	6,300
TNGN-11T304					0	0,4	9,128
TNGN-11T308					0	0,8	8,725
TNGN-11T312					0	1,2	8,325
TCGN-11T304					7	0,4	9,128
TCGN-11T308	6,35	11,0	4,76	3,18	7	0,8	8,725
TCGN-11T312					7	1,2	8,325
TPGN-11T304					11	0,4	9,128
TPGN-11T308					11	0,8	8,725
TPGN-11T312					11	1,2	8,325

## 9.4. Пластины режущие из ПСТМ формы S, мм

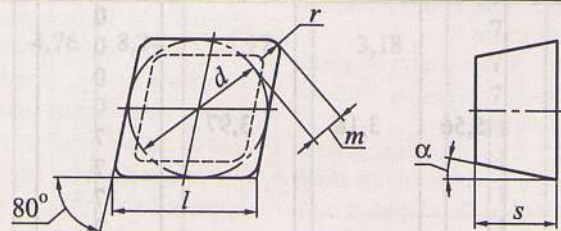


Обозначение пластин	$d$	$s$		$\alpha, ^\circ$	$r$	$m$
		1-й ряд	2-й ряд			
SNGN-04T302				0	0,2	0,824
SNGN-04T304	3,97	3,97	-	0	0,4	0,656
SNGN-050302				0	0,2	1,068
SNGN-050304				0	0,4	0,985
SNGN-050308				0	0,8	0,820
SNGN-050312				0	1,2	0,653
SCGN-050302	5,56	3,18	3,97	7	0,2	1,068
SCGN-050304				7	0,4	0,985
SCGN-050308				7	0,8	0,820
SCGN-050312				7	1,2	0,653

Продолжение табл. 9.4

Обозначение пластин	$d$	$s$		$\alpha, ^\circ$	$r$	$m$			
		1-й ряд	2-й ряд						
SPGN-050302	5,56	3,18	3,97	11	0,2	1,068			
SPGN-050304				11	0,4	0,985			
SPGN-050308				11	0,8	0,820			
SPGN-050312				11	1,2	0,653			
SNGN-06T304				6,35	3,97	3,18	0	0,4	1,151
SNGN-06T308	0	0,8	0,983						
SNGN-06T312	0	1,2	0,818						
SCGN-06T304	7	0,4	1,151						
SCGN-06T308	7	0,8	0,983						
SCGN-06T312	7	1,2	0,818						
SPGN-06T304	11	0,4	1,151						
SPGN-06T308	11	0,8	0,983						
SPGN-06T312	11	1,2	0,818						
SNGN-090408	9,52	4,76	3,18; 3,97				0	0,8	1,644
SNGN-090412							0	1,2	1,474
SNGN-090416				0	1,6	1,308			
SCGN-090408				7	0,8	1,644			
SCGN-090412				7	1,2	1,474			
SCGN-090416				7	1,6	1,308			
SPGN-090408				11	0,8	1,644			
SPGN-090412				11	1,2	1,474			
SPGN-090416				11	1,6	1,308			
SNGN-120408				12,7	4,76	-	0	0,8	2,301
SNGN-120412							0	1,2	2,137
SNGN-120416	0	1,6	1,972						
SCGN-120408	7	0,8	2,301						
SCGN-120412	7	1,2	2,137						
SCGN-120416	7	1,6	1,972						
SPGN-120408	11	0,8	2,301						
SPGN-120412	11	1,2	2,137						
SPGN-120416	11	1,6	1,972						

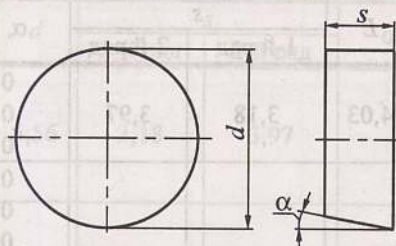
## 9.5. Пластины режущие из ПСТМ формы С, мм



Продолжение табл. 9.5

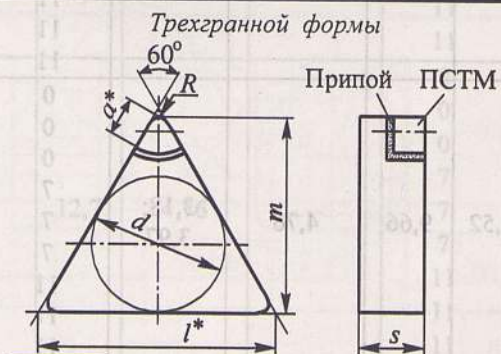
Обозначение пластин	$d$	$L$	$s$		$\alpha, ^\circ$	$r$	$m$				
			1-й ряд	2-й ряд							
CNGN-040302	3,97	4,03	3,18	3,97	0	0,2	0,991				
CNGN-040304					0	0,4	0,880				
CNGN-040308					0	0,8	0,658				
CNGN-050302	5,56	5,64	3,18	3,97	0	0,2	1,442				
CNGN-050304					0	0,4	1,321				
CNGN-050308					0	0,8	1,099				
CNGN-050312					0	1,2	0,825				
CCGN-050302					7	0,2	1,442				
CCGN-050304					7	0,4	1,321				
CCGN-050308					7	0,8	1,099				
CCGN-050312					7	1,2	0,825				
CPGN-050302					11	0,2	1,442				
CPGN-050304					11	0,4	1,321				
CPGN-050308					11	0,8	1,099				
CPGN-050312	11	1,2	0,825								
CNGN-06T304	6,35	6,45	3,97	3,18	0	0,4	1,544				
CNGN-06T308					0	0,8	1,318				
CNGN-06T312					0	1,2	1,096				
CCGN-06T304					7	0,4	1,544				
CCGN-06T308					7	0,8	1,318				
CCGN-06T312					7	1,2	1,096				
CPGN-06T304					11	0,4	1,544				
CPGN-06T308					11	0,8	1,318				
CPGN-06T312					11	1,2	1,096				
CNGN-090408					9,52	9,66	4,76	3,18; 3,97	0	0,8	2,205
CNGN-090412									0	1,2	1,976
CNGN-090416	0	1,6	1,754								
CCGN-090408	7	0,8	2,205								
CCGN-090412	7	1,2	1,976								
CCGN-090416	7	1,6	1,754								
CPGN-090408	11	0,8	2,205								
CPGN-090412	11	1,2	1,976								
CPGN-090416	11	1,6	1,754								
CNGN-120408	12,7	12,9	4,76	-					0	0,8	3,088
CNGN-120412									0	1,2	2,867
CNGN-120416					0	1,6	2,646				
CCGN-120408					7	0,8	3,088				
CCGN-120412					7	1,2	2,867				
CCGN-120416					7	1,6	2,646				
CPGN-120408					11	0,8	3,088				
CPGN-120412					11	1,2	2,867				
CPGN-120416					11	1,6	2,646				

## 9.6. Пластины режущие из ПСТМ формы R, мм



Обозначение пластин	d	s		α, °	Обозначение пластин	d	s		α, °
		1-й ряд	2-й ряд				1-й ряд	2-й ряд	
RNGN-030300	3,60	3,18	2,38	0	RNGN-080400	8,0	4,76	3,18;	0
RNGN-050300	5,56	3,18	3,97	7	RCGN-080400	9,52	4,76	3,97	7
RCGN-050300				11	RPGN-080400			11	
RPGN-050300				0	RNGN-090400			0	
RNGN-06T300	6,35	3,97	3,18	7	RCGN-090400	12,7	4,76	3,18;	7
RCGN-06T300				11	RPGN-090400			11	
RPGN-06T300				0	RNGN-120400			0	
RNGN-070400	7,0	3,97	3,18;	7	RCGN-120400	-	-	5,0	7
RCGN-070400				11	RPGN-120400			11	
RPGN-070400									

## 9.7. Пластины режущие из ПСТМ с корпусами из конструкционного материала, мм



\* Размеры для справок.

Обозначение по ISO	d	m	s	l	R	α, не менее
TNGN-1604-04	9,525±0,025	13,891±0,025	4,76±	16,5	0,4	1,9
TNGN-1604-08		13,494±0,025			±0,13	0,8
TNGN-1604-04		13,891±0,025	13,494±0,025		0,4	4,3
TNGN-1604-08		13,494±0,025			0,8	4,0

Продолжение табл. 9.7



\* Размер для справок.

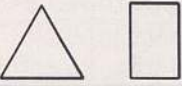
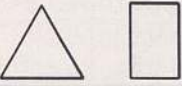
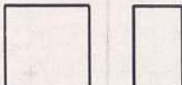
Обозначение по ISO	d	m	s	R	α, не менее
SNGN-1204-08	12,700±0,025	2,301±0,025	4,76±0,13	0,8	2,5
SNGN-1204-12		2,137±0,025		1,2	
SNGN-1204-08		2,301±0,025		0,8	5,1
SNGN-1204-12		2,137±0,025		1,2	

## 9.8. Номенклатура пластин из керамики


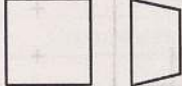
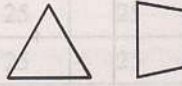
Форма пластин	Обозначение	Применяемость марки керамики	
		ВОК-71	ОНТ-20
	TNGN-110302	+	
	TNGN-110304	+	
	TNGN-110308	+	
	TNGN-110312	+	
	TNGN-110404	+	+
	TNGN-110408	+	+
	TNGN-110412	+	
	TNGN-160402	+	
	TNGN-160404	+	+
	TNGN-160408	+	
	TNGN-160412	+	+
	TNGN-160416	+	+
	TNGN-160420	+	
	TNGN-160425	+	
TNGN-160804	+		
TNGN-160808	+		
TNGN-160812	+	+	
TNGN-160816	+	+	



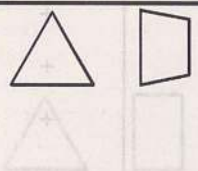
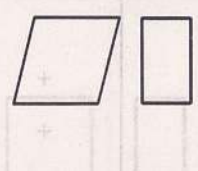

Продолжение табл. 9.8

Форма пластин	Обозначение	Применяемость марки керамики	
		ВОК-71	ОНТ-20
	TNGN-160820	+	
	TNGN-160825	+	
	TNGN-220408	+	
	TNGN-220412	+	
	TNGN-220416	+	
	TNGN-220808	+	
	TNGN-220812	+	+
	TNGN-220816	+	+
	TNGN-220820	+	
	SNGN-090304	+	
	SNGN-090308	+	
	SNGN-090312	+	
	SNGN-090404	+	
	SNGN-090408	+	
	SNGN-090412	+	
	SNGN-090416	+	
	SNGN-090420	+	
	SNGN-120404	+	
	SNGN-120408	+	
	SNGN-120412	+	+
	SNGN-120416	+	+
	SNGN-120420	+	
	SNGN-120425	+	
	SNGN-120430	+	
	SNGN-120804	+	
	SNGN-120808	+	
	SNGN-120812	+	+
	SNGN-120816	+	+
	SNGN-120820	+	
SNGN-120825	+		
SNGN-150408	+		
SNGN-150412	+		
SNGN-150416	+		
SNGN-150808	+	+	
SNGN-150812	+	+	
SNGN-150816	+	+	
SNGN-150820	+		
SNGN-150825	+		
SNGN-150830	+		

Продолжение табл. 9.8

Форма пластин	Обозначение	Применяемость марки керамики	
		ВОК-71	ОНТ-20
	SNGN-190812	+	+
	SNGN-190816	+	+
	SNGN-190820	+	+
	SNGN-190825	+	
	SCGN-090408	+	+
	SCGN-090412	+	+
	SCGN-120408	+	+
	SCGN-120412	+	+
	SCGN-120808	+	+
	SCGN-120812	+	+
	SCGN-120816	+	
	SCGN-150408	+	
	SCGN-150412	+	
	SCGN-150416	+	
	SCGN-150812	+	+
	SCGN-150816	+	+
	SCGN-150820	+	
	SCGN-190408	+	
	SCGN-190412	+	
	SCGN-190416	+	
SCGN-190816	+	+	
SCGN-190820	+	+	
	TCGN-110302	+	
	TCGN-110304	+	
	TCGN-160402	+	

Продолжение табл. 9.8

Форма пластин	Обозначение	Применяемость марки керамики	
		ВОК-71	ОНТ-20
	TCGN-160404	+	+
	TCGN-160408	+	+
	TCGN-220408	+	+
	TCGN-220412	+	+
	TCGN-220416	+	+
	TCGN-220808	+	+
	TCGN-220812	+	+
	TCGN-220820	+	+
	CNGN-120404	+	
	CNGN-120408	+	+
	CNGN-120412	+	+
	CNGN-120808	+	
	CNGN-120812	+	+
	CNGN-120816	+	+
	CNGN-160408	+	
	CNGN-160412	+	
	CNGN-160416	+	
	CNGN-160812	+	+
	CNGN-160816	+	+
	CNGN-160820	+	
	CNGN-160825	+	+
	RNGN-090400	+	
	RNGN-120400	+	+
	RNGN-120800	+	+
	RNGN-150800	+	+
	RNGN-190800	+	+

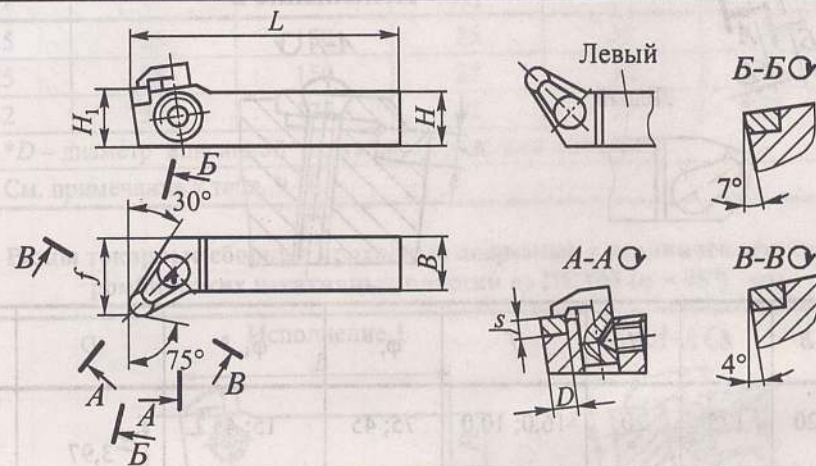
В зарубежной практике используют в основном такие же пластины с напайными режущими элементами из ПСТМ.

**Конструкции резцов.** В табл. 9.9–9.27 приведена номенклатура резцов, оснащенных ПСТМ и керамикой, которые разработаны в ОАО ВНИИинструмент.

В настоящее время в связи с увеличением применения алюминиево-кремниевых сплавов пластины, оснащенные ПКА, заняли прочное место в авто- и авиастроении благодаря непревзойденной стойкости. Например, в фирме «Фольксваген» (Германия) доля обработки алю-

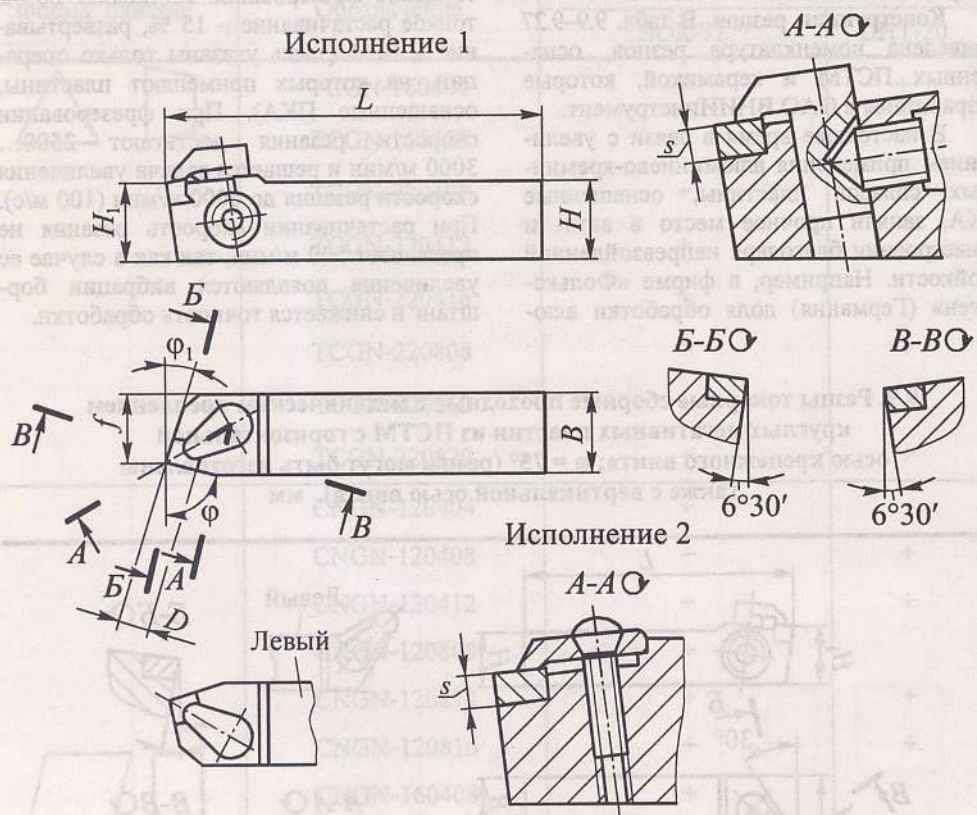
миниево-кремниевых сплавов достигает 30 %, при этом в общей трудоемкости торцовое фрезерование составляет 20 %, тонкое растачивание – 15 %, развертывание – 10 % (здесь указаны только операции, на которых применяют пластины, оснащенные ПКА). При фрезеровании скорости резания достигают 2500...3000 м/мин и решается задача увеличения скорости резания до 6000 м/мин (100 м/с). При растачивании скорость резания не превышает 500 м/мин, так как в случае ее увеличения появляются вибрации борштанг и снижается точность обработки.

9.9. Резцы токарные сборные проходные с механическим креплением круглых негативных пластин из ПСТМ с горизонтальной осью крепежного винта;  $\varphi = 75^\circ$  (резцы могут быть изготовлены также с вертикальной осью винта), мм



H	B	L	H <sub>1</sub>	f	D	s
20	20	125	20	22	3,6	3,18
25	25	150	25	27		
20	20	125	20	22	5,56	3,97
25	25	150	25	28	7,0	3,18
25	25	150	25	29	9,52	3,18; 4,76
32	32	170	32	36	9,52; 12,70	3,18; 4,76

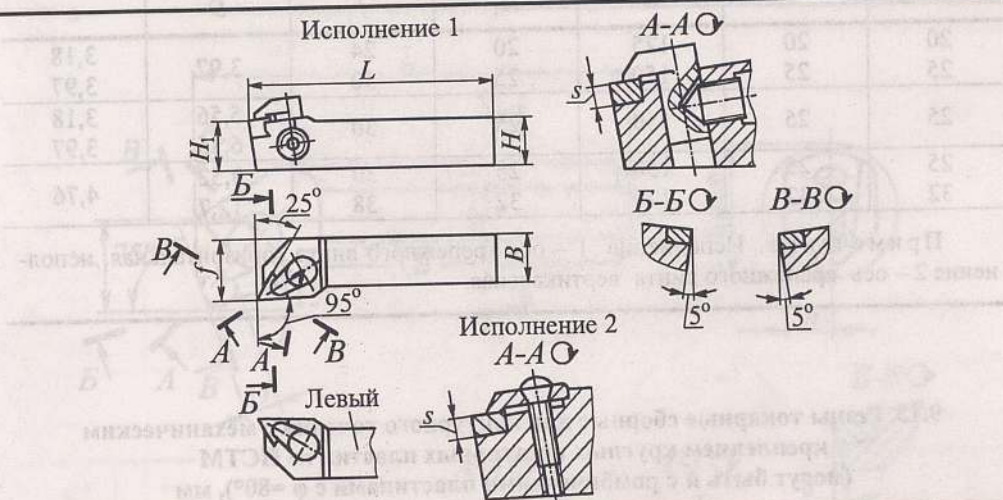
9.10. Резцы токарные сборные проходные с механическим креплением квадратных негативных пластин из ПСТМ, мм



H	B	L	H <sub>1</sub>	f	φ, °	φ <sub>1</sub> , °	D	s
20	20	125	20	16,0; 10,0	75; 45	15; 45	3,97	3,97
25	25	150	25	20,0; 12,5	75; 45	15; 45		
25	25	150	25	20,0; 12,5	75; 45	15; 45	5,56; 6,35	3,18
25	25	150	25	20,0; 12,5	75; 45	15; 45	9,52; 12,7	4,76
32	32	170	32	25,0; 16,0	75; 45	15; 45		

Примечание. Исполнение 1 – ось крепежного винта горизонтальная, исполнение 2 – ось крепежного винта вертикальная.

9.11. Резцы токарные сборные проходные с механическим креплением трехгранных негативных пластин из ПСТМ (φ = 95°), мм

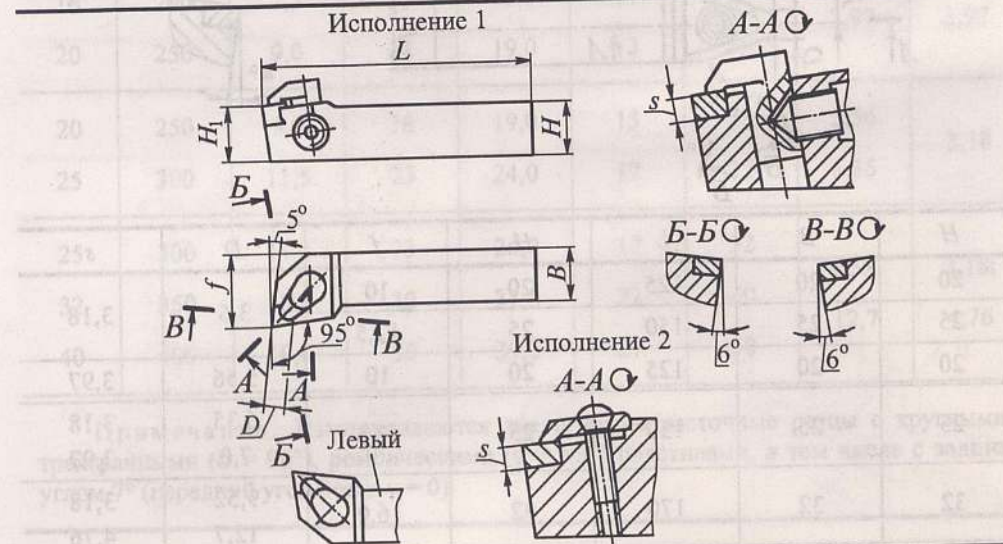


H	B	L	H <sub>1</sub>	f	D*	s
25	25	150	25	30	4,76	3,18
25	25	150	25	30	5,56	3,18
32	32	175	32	38	6,35	4,76

\*D – диаметр вписанной окружности режущей пластины.

См. примечание к табл. 9.10.

9.12. Резцы токарные сборные проходные подрезные с механическим креплением ромбических негативных пластин из ПСТМ (φ = 95°), мм

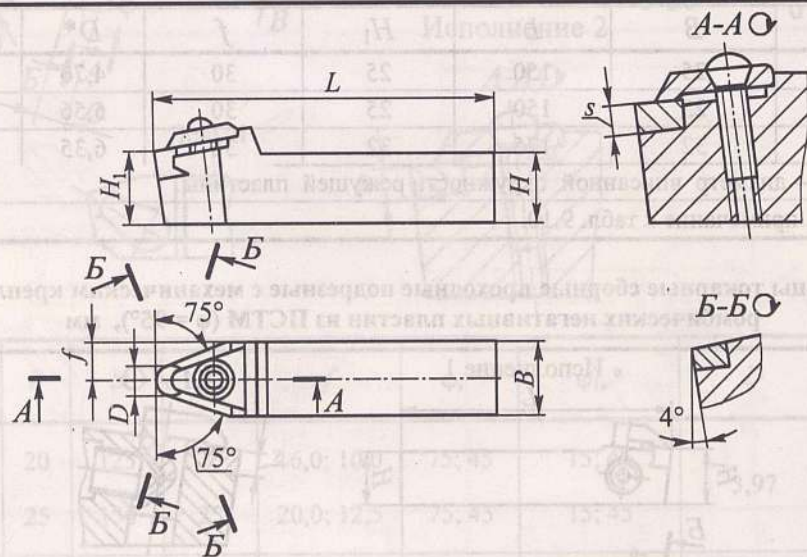


Продолжение табл. 9.12

H	B	L	H <sub>1</sub>	f	D	s
20	20	125	20	24	3,97	3,18
25	25	150	25	30	3,97	3,97
25	25	150	25	30	5,56	3,18
25	25	150	25	30	6,35	3,97
25	25	150	25	30	9,52	4,76
32	32	170	32	38	12,7	4,76

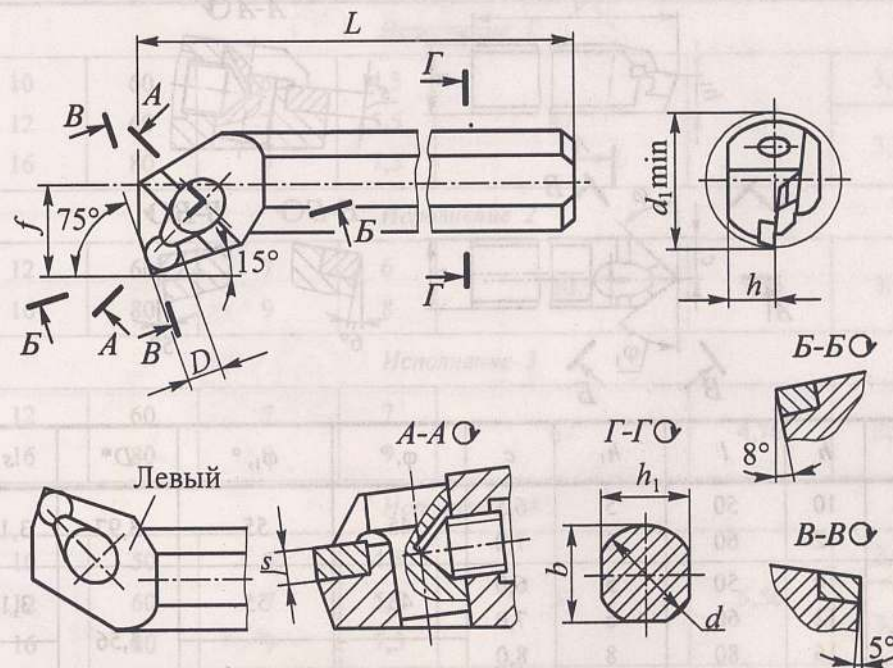
Примечание. Исполнение 1 – ось крепежного винта горизонтальная, исполнение 2 – ось крепежного винта вертикальная.

9.13. Резцы токарные сборные для контурного точения с механическим креплением круглых негативных пластин из ПСТМ (могут быть и с ромбическими пластинами с  $\varphi = 80^\circ$ ), мм



H	B	L	H <sub>1</sub>	f	D	s
20	20	125	20	10	3,6	3,18
25	25	150	25	12,5		
20	20	125	20	10	5,56	3,97
25	25	150	25	12,5	6,35	3,18
					7,0	3,97
32	32	170	32	16,0	9,52	3,18
					12,7	4,76

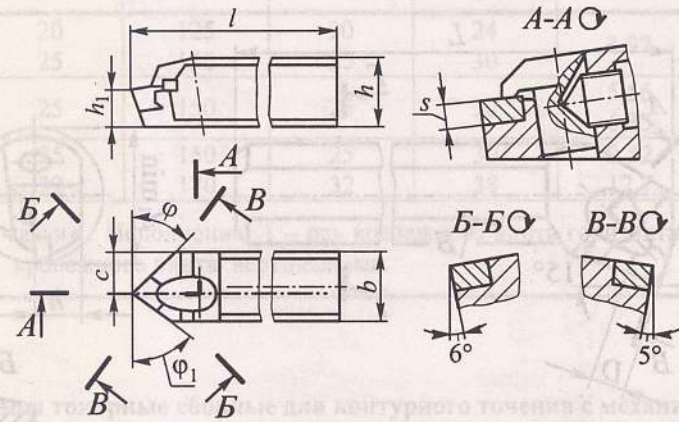
9.14. Резцы токарные сборные расточные с механическим креплением квадратных негативных пластин из ПСТМ ( $\varphi = 75^\circ$ ), мм



d	L	h	h <sub>1</sub>	b	f	d <sub>1min</sub>	D	s
16	200	7,5	15	15,5	11	20	3,97	3,97
20	250	9,0	18	19,0	13	25	5,56	3,18
20	250	9,0	18	19,0	13	25	6,35	3,18
25	300	11,5	23	24,0	17	32	9,52;	3,18;
25	300	11,5	23	24,0	17	32	12,7	4,76
32	350	15,0	30	31,0	22	40		
40	400	19,0	38	39,0	27	50		

Примечание. Изготавливаются аналогичные расточные резцы с круглыми, трехгранными ( $\varphi = 90^\circ$ ), ромбическими ( $\varphi = 93^\circ$ ) пластинами, в том числе с задним углом  $7^\circ$  (передний угол резца  $\gamma = 0$ ).

**9.15. Вставки резцовые сборные расточные квадратного сечения с механическим креплением ромбических негативных пластин из ПСТМ, мм**

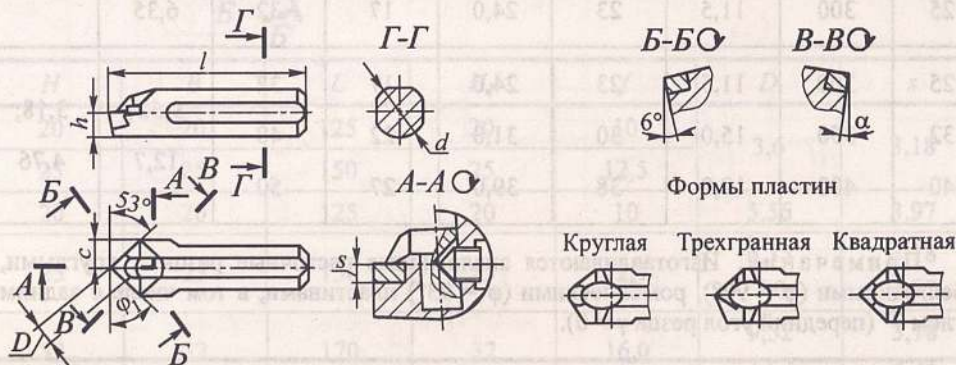


b	h	l	h <sub>1</sub>	c	φ, °	φ <sub>1</sub> , °	D*	s
10	10	50	5	6,5	45	55	3,97	3,18
12	12	60	6	7,0				
10	10	50	5	6,0	45	55	5,56	3,18
12	12	60	6	7,0				
16	16	80	8	8,0				
20	20	100	10	10,0	60	40		3,97

\* D – диаметр вписанной окружности режущей пластины.

Примечание. Изготавливаются аналогичные расточные вставки с круглыми пластинами, а также с ромбическими пластинами с задним углом 7° (передний угол резца γ = 0).

**9.16. Вставки резцовые сборные расточные круглого сечения с механическим креплением негативных пластин из ПСТМ, мм**



Продолжение табл. 9.16

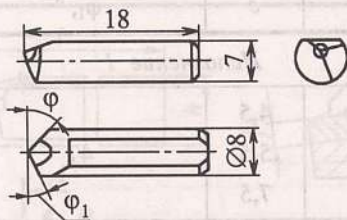
d	l	h	c	φ <sub>1</sub> , °	D	s
<i>Исполнение 1</i>						
10	60	6	4,5	47	5,56	3,18
12	60	7	5,5			3,97
16	80	9	7,5			
<i>Исполнение 2</i>						
12	60	7	6	30	5,56	3,97
16	80	9	8			
<i>Исполнение 3</i>						
12	60	7	7	67	4,76	3,97
16	80	9	9			
<i>Исполнение 4</i>						
10	50	6	4,5	37	5,56	3,18
12	60	7	5,5			3,97
16	80	9	7,5			

Примечание. Изготавливаются также с пластинами с задним углом 7° (передний угол резца γ = 0).

**9.17. Резцы токарные сборные проходные с напайными вставками, оснащенными ПКНБ, мм**

H	B	L
16	16	120
20	16	120
25	20	170
32	20	170

## 9.18. Вставки, оснащенные ПКНБ, к токарным сборным резцам

 $\varphi, ^\circ$  $\varphi_1, ^\circ$ 

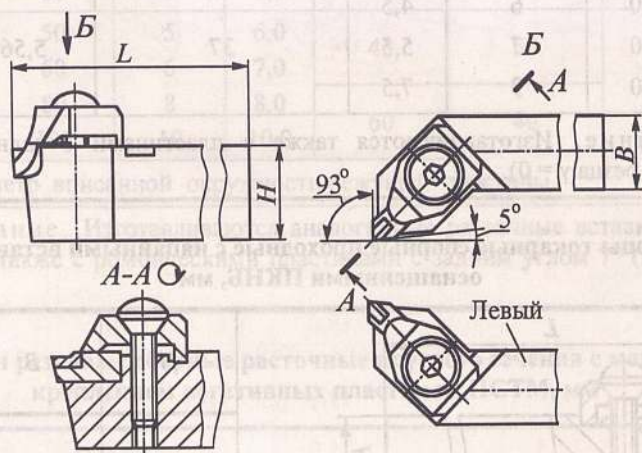
45

15

15

45

## 9.19. Резцы токарные сборные подрезные со вставками, оснащенными ПСТМ, мм

 $H$  $B$  $L$ 

16

16

120

20

16

150

25

20

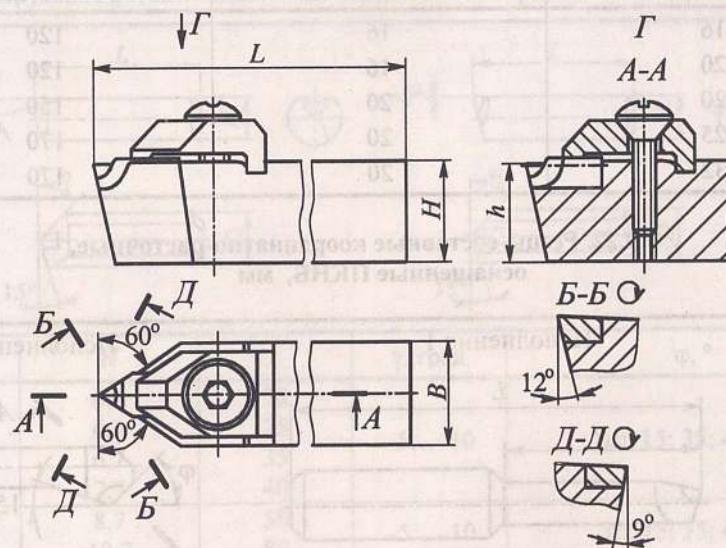
170

32

20

170

## 9.20. Резцы токарные сборные резьбовые со вставками, оснащенными ПСТМ, мм

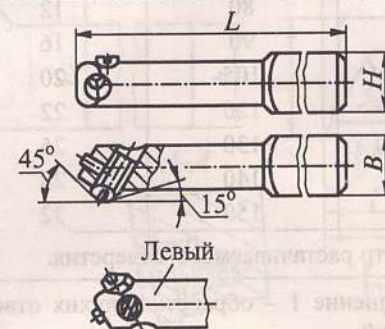


$H$	$B$	$L$	$h$
16	16	125	16
20	20	125	20
25	25	150	25
32	32	170	32

Примечания: 1. Изготавливают также резьбовые резцы с механическим креплением трехгранных пластин из ПКНБ.

2. Резцы предназначены для нарезания наружных метрических резьб шестой степени точности на деталях из инструментальных сталей, закаленных до твердости 57...60 HRC взамен резьбошлифования. Возможно предварительное нарезание резьбы с последующим окончательным шлифованием профиля.

## 9.21. Резцы токарные сборные расточные со вставками, оснащенными ПСТМ, мм

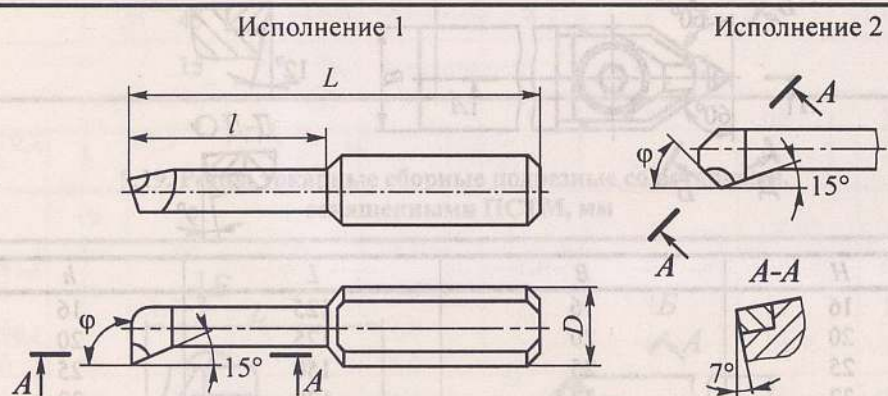


Левый

Продолжение табл. 9.21

H	B	L
16	16	120
20	16	120
20	20	150
25	20	170
32	20	170

9.22. Резцы составные координатно-расточные, оснащенные ПКНБ, мм

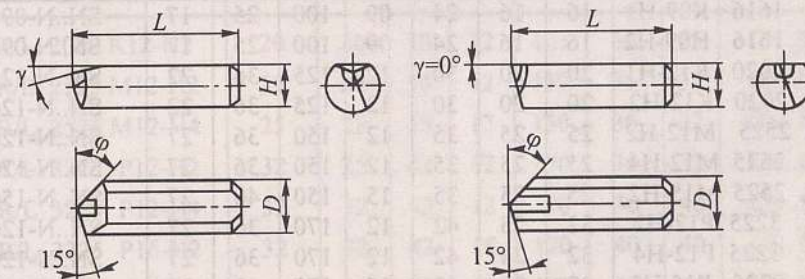


D	l	L	d <sub>min</sub> *	φ, °
5...10	12	40	3	
6...12	15	45	4	
7...14	20	50	5	
8...14	20	60	6	
10...14	25	60	7	
10...20	40	80	8	Для исполнения 1
12...25	40	80	10	
12...25	45	80	12	90; 93; 95
18...25	50	90	16	
18...25	60	105	20	
18...25	80	120	22	Для исполнения 2
18...25	90	130	25	
18...25	100	140	28	
18...25	110	150	32	45; 60; 75

\* Минимальный диаметр растачиваемого отверстия.

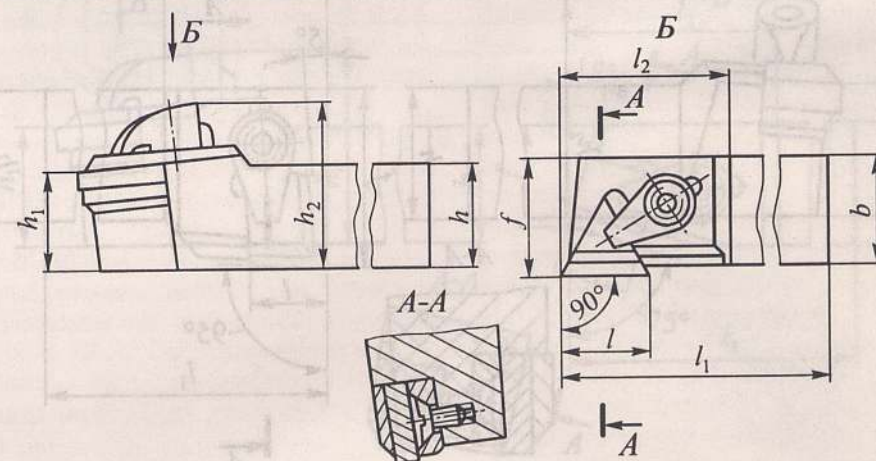
Примечание. Исполнение 1 – обработка глухих отверстий, исполнение 2 – обработка сквозных отверстий.

9.23. Вставки составные круглого сечения, оснащенные ПСТМ, для прямого крепления в борштангах или оправках (аналогичные регулируемые вставки имеют на торце скос или резьбовое отверстие), мм



D	H	L	γ, град	φ, °
7	6,2	18		
8	6,7	25	-5...-10	10; 15; 35; 40; 50
8	6,7	35		
10	7,7	40		
12	8,7	50	-5...-10	10; 15; 35; 40; 50
16	10,7	80		
7	5,5	18		
8	6,5	25		
8	6,5	35		
10	8,0	40	0	10; 15; 35; 40; 50
12	10,0	60		
16	12,0	80		
20	16,0	100		

9.24. Резцы токарные сборные проходные с механическим креплением пластин из керамики трехгранной формы φ = 90°, мм

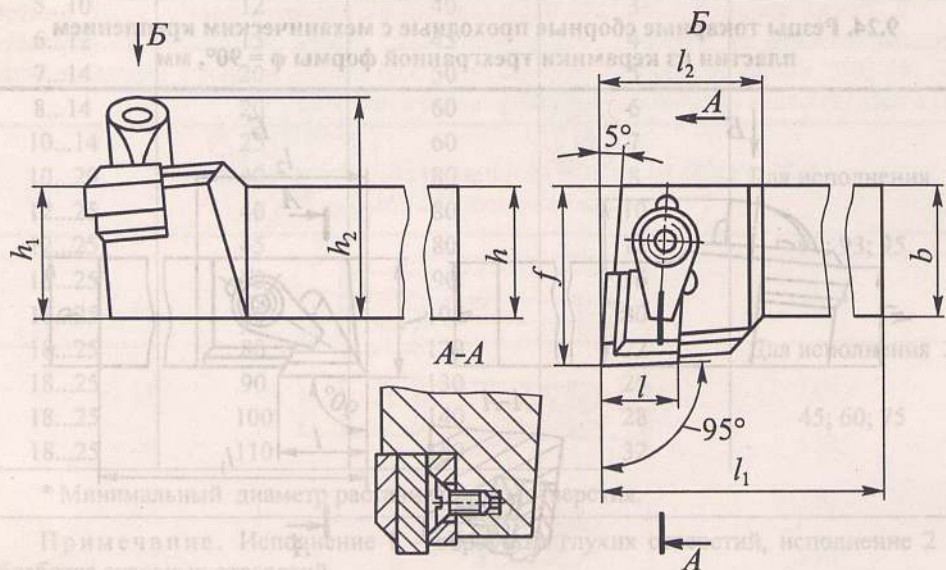


Продолжение табл. 9.24

Обозначение резцов	$h=h_1$	$b$	$h_2$	$l$	$l_1$	$l_2$	$f$	Обозначение режущих пластин
CSBNR/L 1616 K09-H1	16	16	24	09	100	25	17	SN..N-0903..
CSBNR/L 1616 H09-H2	16	16	24	09	100	25	17	SN..N-0904..
CSBNR/L 2020 K12-H1	20	20	30	12	125	36	22	SN..N-1203..
CSBNR/L 2020 K12-H2	20	20	30	12	125	36	22	SN..N-1204..
CSBNR/L 2525 M12-H2	25	25	35	12	150	36	27	SN..N-1204..
CSBNR/L 2525 M12-H4	25	25	35	12	150	36	27	SN..N-1208..
CSBNR/L 2525 M15-H2	25	25	35	15	150	40	27	SN..N-1504..
CSBNR/L 3225 P12-H2	32	25	42	12	170	36	27	SN..N-1204..
CSBNR/L 3225 P12-H4	32	24	42	12	170	36	27	SN..N-1208..
CSBNR/L 3225 P15-H2	32	25	42	15	170	40	27	SN..N-1404..
CSBNR/L 3232 P15-H4	32	32	42	15	170	40	35	SN..N-1508..
CSBNR/L 3232 P15-H2	32	32	42	15	170	40	35	SN..N-1504..
CSBNR/L 3232 P19-H2	32	32	42	19	170	45	35	SN..N-1904..
CSBNR/L 3232 P19-H4	32	32	42	19	170	45	35	SN..N-1908..
CSBNR/L 4040 P15-H2	40	40	50	15	200	40	43	SN..N-1504..
CSBNR/L 4040 P15-H4	40	40	50	15	200	40	43	SN..N-1508..
CSBNR/L 4040 P19-H4	40	40	50	19	200	45	43	SN..N-1908..

Примечание. Выпускают проходные резцы аналогичных конструкций и типоразмеров с квадратными пластинами без отверстия с  $\varphi = 45^\circ$  (в том числе с задним углом  $\alpha = 7^\circ$ ), подрезные отогнутые с  $\varphi = 75^\circ$ , расточные с  $\varphi = 75^\circ$  (пластины негативные и с  $\alpha = 7^\circ$ ).

9.25. Резцы токарные сборные проходные с механическим креплением пластин из керамики ромбической ( $\varepsilon = 80^\circ$ ) формы,  $\varphi = 95^\circ$ , отогнутые, мм

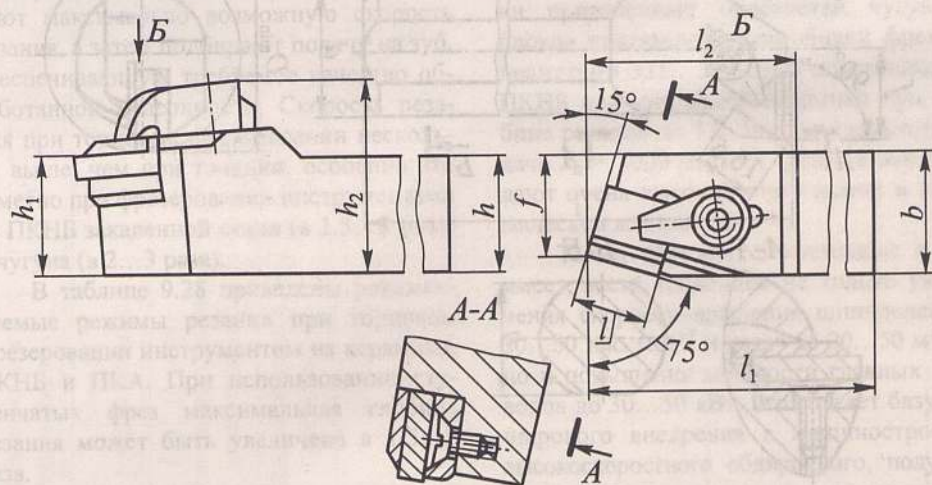


Продолжение табл. 9.25

Обозначение резцов	$h=h_1$	$b$	$h_2$	$l$	$l_1$	$l_2$	$f$	Обозначение режущих пластин
CCLNR/L 2020 K12-H2	20	20	30	12	125	36	25	CN..N-1204..
CCLNR/L 2525 M12-H2	25	25	35	12	150	36	32	CN..N-1204..
CCLNR/L 2525 M12-H4	25	25	35	12	150	36	32	CN..N-1208..
CCLNR/L 3225 P12-H2	32	25	42	12	170	36	32	CN..N-1204..
CCLNR/L 3225 P12-H4	32	32	42	12	170	36	40	CN..N-1208..
CCLNR/L 3225 P16-H2	32	32	42	16	170	40	40	CN..N-1604..
CCLNR/L 3225 P16-H4	32	32	42	16	170	40	40	CN..N-1608..
CCLNR/L 3232 P12-H2	32	32	42	12	170	40	40	CN..N-1204..
CCLNR/L 3232 P12-H4	32	32	42	12	170	40	40	CN..N-1208..
CCLNR/L 3232 P16-H2	32	32	42	16	170	45	40	CN..N-1604..
CCLNR/L 4040 P12-H2	40	40	50	12	200	40	50	CN..N-1204..
CCLNR/L 4040 P12-H4	40	40	50	12	200	40	50	CN..N-1208..
CCLNR/L 4040 P16-H4	40	40	50	16	200	45	50	CN..N-1608..

Примечание. Выпускают токарные сборные расточные резцы с ромбическими пластинами с  $\varphi = 95^\circ$ . Освоено производство токарных сборных проходных резцов с пластинами из керамики BO18 с отверстием,  $\varphi = 95^\circ$ , крепление стандартное L-образным рычагом.

9.26. Резцы токарные сборные проходные с механическим креплением пластин из керамики квадратной формы ( $\varphi = 75^\circ$ ), мм



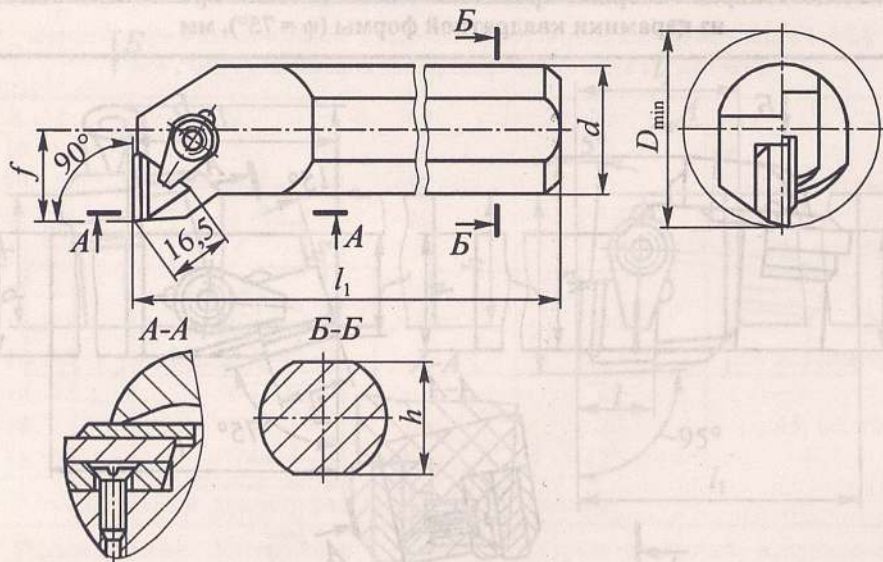


Продолжение табл. 9.26

Обозначение резцов	$h=h_1$	$b$	$h_2$	$l$	$l_1$	$l_2$	$f$	Обозначение режущих пластин
СТАНР/Л 1212 Г11-Н1	12	12	20	11	80	25	12,5	TN..N-1103..
СТАНР/Л 1616 Н16-Н2	16	16	24	16	100	32	16,5	TN..N-1604..
СТАНР/Л 2020 К16-Н2	20	20	30	16	125	32	20,5	TN..N-1604..
СТАНР/Л 2525 М16-Н2	25	25	35	16	150	32	25,5	TN..N-1604..
СТАНР/Л 2525 М16-Н4	25	25	35	16	150	32	25,5	TN..N-1608..
СТАНР/Л 3225 Р18-Н2	32	25	42	16	170	32	25,5	TN..N-1604..
СТАНР/Л 3225 Р16-Н4	32	25	42	16	170	32	25,5	TN..N-1608..
СТАНР/Л 3225 Р22-Н2	32	25	42	22	170	36	25,5	TN..N-2204..
СТАНР/Л 3232 Р16-Н2	32	32	42	16	170	32	33,0	TN..N-1604..
СТАНР/Л 3232 Р16-Н4	32	32	42	16	170	32	33,0	TN..N-1608..
СТАНР/Л 3232 Р22-Н2	32	32	42	22	170	36	33,0	TN..N-2204..
СТАНР/Л 3232 Р22-Н4	32	32	42	22	170	36	33,0	TN..N-2208..
СТАНР/Л 4040 Р16-Н4	40	40	50	16	200	32	41,0	TN..N-1608..
СТАНР/Л 4040 Р22-Н2	40	40	50	22	200	36	41,0	TN..N-2204..
СТАНР/Л 4040 Р22-Н4	40	40	50	22	200	36	41,0	TN..N-2208..

Примечание. Выпускают также сборные проходные резцы с трехгранными пластинами с  $\phi = 60^\circ$ , проходные отогнутые резцы с  $\phi = 90^\circ$ , подрезные с  $\phi = 90^\circ$ .

**9.27. Резцы токарные сборные расточные с механическим креплением пластин из керамики трехгранной формы с задним углом  $\alpha = 7^\circ$ ,  $\phi = 90^\circ$ , отогнутые, мм**



Продолжение табл. 9.27

Обозначение резцов	$d$	$h$	$l_1$	$f$	$D_{min}$	Обозначение режущих пластин
S 32S-CTFCR/L-16	32	30	250	22	40	ТС..N-1604..
S 32S-CTFCR/L-16	32	30	170	22	40	ТС..N-1604..
S 50T-CTFCR/L-16	50	47	300	35	63	ТС..N-1604..
S 50U-CTFCR/L-16	50	47	350	35	63	ТС..N-1604..

Примечание. Выпускают расточные резцы и с негативными пластинами без заднего угла.

**9.2. Фрезы, оснащенные поликристаллическими сверхтвердыми материалами и керамикой**

Точение и фрезерование инструментами из ПСТМ и керамики несколько отличаются друг от друга. Так, например, при точении определяющее влияние на стойкость инструментов оказывает скорость резания, а при фрезеровании – подача на зуб. Поэтому в случае точения при заданной глубине резания сначала назначают подачу на оборот, максимальную по критерию точности и качества обработки, а затем подбирают экономически эффективную скорость резания. При фрезеровании, наоборот, сначала назначают максимально возможную скорость резания, а затем подбирают подачу на зуб, обеспечивающую требуемое качество обработанной поверхности. Скорость резания при торцовом фрезеровании несколько выше, чем при точении, особенно это заметно при фрезеровании инструментами из ПКНБ закаленной стали (в 1,5...2 раза) и чугуна (в 2...3 раза).

В таблице 9.28 приведены рекомендуемые режимы резания при торцовом фрезеровании инструментом из керамики, ПКНБ и ПКА. При использовании ступенчатых фрез максимальная глубина резания может быть увеличена в 1,5...2 раза.

Для эффективной эксплуатации фрез

из ПСТМ и керамики необходимо применять оборудование, в полной мере отвечающее требованиям этого инструмента в части скоростной характеристики, мощности, жесткости и виброустойчивости. Так, фирма «Heiligenstaedt» (Германия) выпускает тяжелый высокоскоростной ( $n \leq 50$  тыс.  $\text{мин}^{-1}$ ;  $S_m \leq 35$  тыс.  $\text{мм/мин}$ ) портальный продольно-фрезерный станок с длиной зоны обработки 5 м, на котором скорость резания фрезой диаметром 80 мм может достигать 12 тыс.  $\text{м/мин}$  (200  $\text{м/с}$ ), а подача  $S_m = 35$  тыс.  $\text{мм/мин}$  ( $S_o = 0,7$   $\text{мм/об}$ ), что соответствует сверхскоростной обработке.

Фирма «Heller» (Германия) выпускает 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  $S_m = 5000$   $\text{мм/мин}$ . Эти станки обладают очень высокой статической и динамической жесткостью.

Таким образом, в настоящее время имеет место тенденция не только увеличения скорости вращения шпинделей до 30...60 тыс.  $\text{мин}^{-1}$  и подач до 20...50  $\text{м/мин}$ , но и повышения мощности главных приводов до 30...50 кВт, что создает базу для широкого внедрения в машиностроение высокоскоростного обдирочного, получистового и чистового резания с применением

9.28. Рекомендуемые режимы резания при торцовом фрезеровании инструментами из керамики, ПКНБ и ПКА

Обрабатываемый материал	Керамика						ПКНБ						ПКА					
	Режимы резания			Режимы резания			Режимы резания			Режимы резания			Режимы резания			Режимы резания		
	Скорость $v$ , м/мин	Подача $S_0$ , мм/об	Глубина $t$ , мм	Скорость $v$ , м/мин	Подача $S_0$ , мм/об	Глубина $t$ , мм	Скорость $v$ , м/мин	Подача $S_0$ , мм/об	Глубина $t$ , мм	Скорость $v$ , м/мин	Подача $S_0$ , мм/об	Глубина $t$ , мм	Скорость $v$ , м/мин	Подача $S_0$ , мм/об	Глубина $t$ , мм	Скорость $v$ , м/мин	Подача $S_0$ , мм/об	Глубина $t$ , мм
Сталь	50...700	0,02...0,2	0,2...2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	200...500	0,02...0,15	0,2...2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	100...300	0,02...0,15	0,2...1,5	200...400	0,02...0,2	0,2...2,0	200...400	0,02...0,2	0,2...2,0	200...400	0,02...0,2	0,2...2,0	200...400	0,02...0,2	0,2...2,0	200...400	0,02...0,2	0,2...2,0
	60...120	0,01...0,1	0,1...1,0	120...200	0,01...0,15	0,2...1,5	120...200	0,01...0,15	0,2...1,5	120...200	0,01...0,15	0,2...1,5	120...200	0,01...0,15	0,2...1,5	120...200	0,01...0,15	0,2...1,5
	-	-	-	80...140	0,01...0,1	0,1...1,0	80...140	0,01...0,1	0,1...1,0	80...140	0,01...0,1	0,1...1,0	80...140	0,01...0,1	0,1...1,0	80...140	0,01...0,1	0,1...1,0
Чугун	300...600	0,02...0,25	0,2...3,0	800...3000	0,02...0,25	0,2...4,0	800...3000	0,02...0,25	0,2...4,0	800...3000	0,02...0,25	0,2...4,0	800...3000	0,02...0,25	0,2...4,0	800...3000	0,02...0,25	0,2...4,0
	150...300	0,02...0,2	0,2...2,5	400...1000	0,02...0,2	0,2...3,0	400...1000	0,02...0,2	0,2...3,0	400...1000	0,02...0,2	0,2...3,0	400...1000	0,02...0,2	0,2...3,0	400...1000	0,02...0,2	0,2...3,0
	50...100	0,01...0,1	0,2...1,5	200...500	0,01...0,15	0,1...2,0	200...500	0,01...0,15	0,1...2,0	200...500	0,01...0,15	0,1...2,0	200...500	0,01...0,15	0,1...2,0	200...500	0,01...0,15	0,1...2,0
Алюминий и алюминиевые сплавы	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Алюминиево- кремниевые сплавы (10...20 % Si)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Мель и медные сплавы	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Углепластики, стеклопластики	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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. Было установлено, что скорость резания является важнейшим резервом повышения не только производительности обработки, но и – в силу особенностей физико-механических свойств ПСТМ и керамики – надежности процесса фрезерования.

Широкое применение процесса торцового фрезерования в металлообработке подтверждают результаты анализа значительного количества наименований деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ, многоцелевых станках и комплексно-автоматизированных участках, которые показали, что корпусные детали составляют 27% общего числа изготавливаемых деталей, а трудоемкость их обработки – около 60% суммарной трудоемкости. 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, а параметр шероховатости обработанных поверхностей 1,25...2,5 Ra.

Фрезы с механическим креплением круглых и многогранных пластин из керамики и ПСТМ оснащаются режущими пластинами, основные размеры которых соответствуют представленным в табл. 9.2–9.8. Причем размеры керамических

пластин полностью соответствуют размерам твердосплавных пластин. Поэтому их, как правило, устанавливают на фрезы с механическим креплением твердосплавных пластин. Конструкции фрез с пластинами из ПСТМ аналогичны твердосплавным. Однако значительное удорожание режущих пластин приводит к тому, что стоимость режущих элементов в общей стоимости инструмента занимает существенно больший объем. Поэтому усложнение конструкций инструментов (введение элементов регулировки и т.п.) и ужесточение технологических требований к их изготовлению (точность, качество поверхности и т.п.), повышает стоимость самого инструмента, но может привести к созданию более «комфортных» условий для работы режущих элементов (пластин) и, как следствие, к повышению их стойкости, что зачастую является вполне оправданным.

В ОАО ВНИИинструмент разработана гамма насадных и хвостовых торцовых фрез диаметром 20...800 мм, в том числе регулируемых и перенастраиваемых, с механическим креплением сменных круглых и многогранных пластин из ПСТМ, а также из керамики и твердых сплавов для скоростной высокопроизводительной обработки плоскостей деталей.

Для фрезерования плоскостей малогабаритных корпусных деталей разработана конструкция хвостовых торцовых фрез диаметром 20...63 мм с механическим креплением пластин из ПСТМ. Такая фреза (рис. 9.1, табл. 9.29) состоит из корпуса 1 и режущих пластин 2, закрепляемых в корпусе прихватом 3 посредством винта 4.

9.29. Фрезы (право- и леворежущие), оснащенные круглыми (форма А) и ромбическими (форма Б) пластинами, мм

$D$	Обозначение конуса Морзе	$L$	$z$
20	3	125	1
25		150	
32		155	
40	4	155	2
50		195	
63		195	

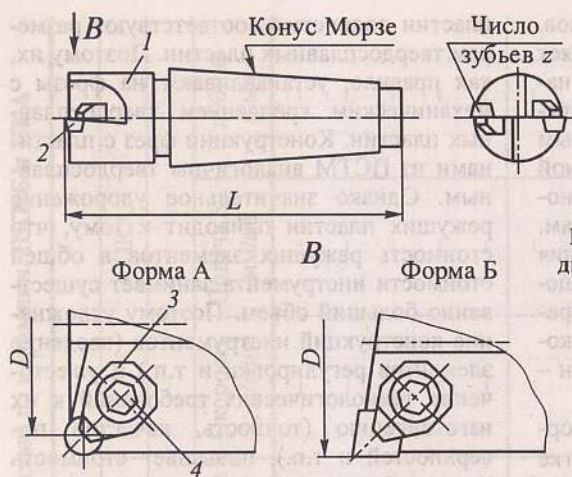


Рис. 9.1. Хвостовые торцовые фрезы диаметром 20...63 мм с механическим креплением пластин из ПСТМ

Гамма нерегулируемых сборных торцовых фрез диаметром 80...160 мм (рис. 9.2, табл. 9.30) разработана уже по кассетному принципу. Сборная фреза состоит из корпуса 1 и кассет с режущими пластинами 4. Пластины крепят в гнезде державки 3 прихватом 5, который прижи-

мает пластину посредством винта 2. Кассеты крепят в корпусе фрезы винтами 6. За счет точного исполнения соответствующих размеров и использования режущих пластин высокой точности осевое и радиальное биения режущих кромок таких фрез не превышают 0,05 мм.

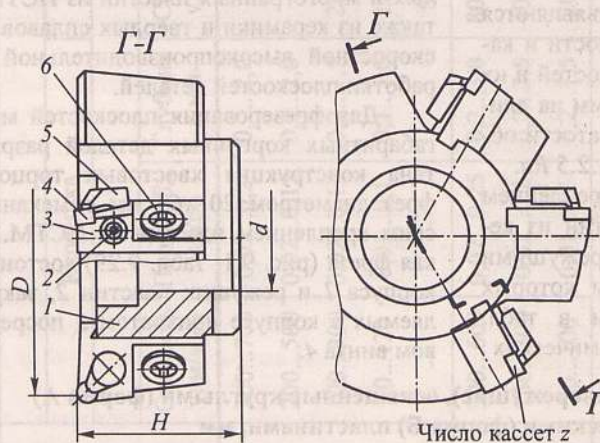


Рис. 9.2. Насадные сборные торцовые фрезы диаметром 80...160 мм с механическим креплением пластин из ПСТМ

9.30. Фрезы торцовые нерегулируемые, мм

D	d	H	z
80	27	50	4
100	32		6
125	40	63	8
160		50	
		63	12

Примечание. Фрезы (право- и леворежущие) оснащают кассетами трех исполнений: А – кассеты с гнездом под круглые пластины; Б – кассеты с гнездом под ромбические пластины; В – кассеты с гнездом под квадратные пластины с главным углом в плане 75°.

Главным направлением развития конструкций торцовых фрез с пластинами из ПСТМ и керамики является создание и освоение выпуска инструментов, построенных по кассетному принципу и оснащенных механизмами точного регулирования положения режущих кромок. Насадные регулируемые кассетные фрезы диаметром 125...250 мм, в том числе ступенчатые, с пластинами из ПКНБ (рис. 9.3, табл. 9.31) предназначены прежде всего для сверлильно-фрезерно-расто-

чных станков с ЧПУ, а диаметром 315...800 мм – для специальных тяжелых станков и станков, встроенных в автоматические линии.

Насадная фреза состоит (см. рис. 9.3) из корпуса 1 и кассет с режущими пластинами 8. Кассеты крепят в пазах корпуса винтами 2. В свою очередь кассеты состоят из державок 6, прихватов 9, крепежных винтов 7, сухарей 4 и регулировочных винтов 3 с ограничительными шайбами 5.

9.31. Насадные регулируемые кассетные фрезы, мм (см. рис. 9.3)

Исполнение	D	D <sub>1</sub>	d(H7)	H	f <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	z
1	125	130	40	63	-	-	10
	160	165	50				14
	200	205	50				18
2	160	165	40	63	66,7	-	14
	200	205	40				18
	250	255	40				24
	315	320	60	80	101,6	177,8	30
	400	405					40
	500	505					50
	630	635	80	-	-	-	60
800	805	80					

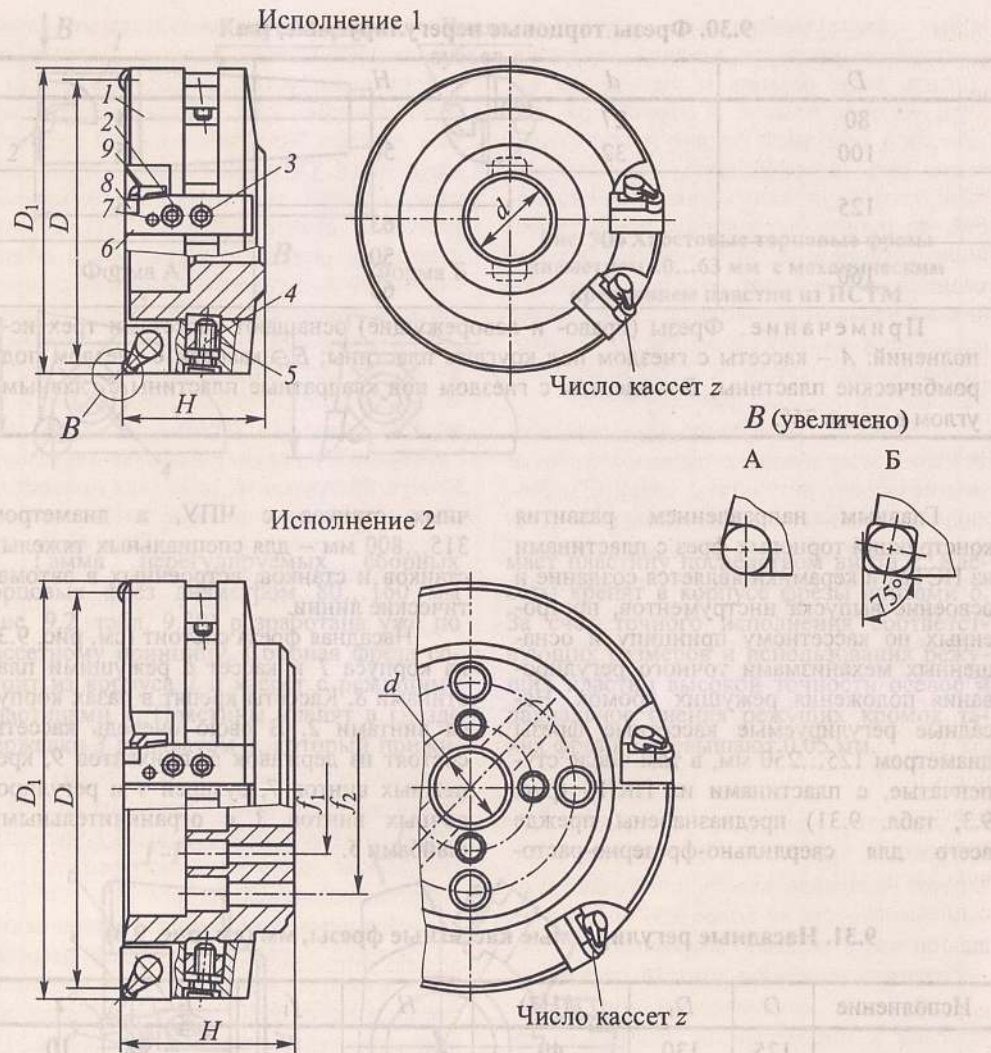


Рис. 9.3. Насадные сборные торцовые фрезы диаметром 125...800 мм с осевым регулированием, оснащенные пластинами из ПСТМ

Конструкция насадной фрезы предусматривает осевое регулирование кассет. Настройку осуществляют в два этапа. Предварительно винтами 3 при легком поджатии державок винтами 2 вершины пластин выравнивают в пределах 0,02 мм, а затем закрепляют винты 2. Окончательно осевое регулирование осуществляется только в направлении перемещения кассет к рабочему торцу. В результате осевое

биение режущих кромок составляет 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 более 1 мин. Малое радиальное биение режущих кромок (0,04...0,10 мм в зависимости от диаметра фрезы) обеспечивается точностью испол-

нения соответствующих размеров корпусов фрез и державок кассет, а также использованием прецизионных режущих пластин класса допуска E и H.

Кассеты представляют собой взаимозаменяемые сборные узлы фрезы, различные исполнения которых 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 (рис. 9.4, табл. 9.32), или любой другой формы из разных марок ПСТМ.

Кассетный принцип конструкции позволяет переналаживать фрезы на ступенчатую схему съема 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 обрабатывать поверхность окончательно, причем если к этой поверхности предъявляются повышенные требования по шероховатости, то чистовую ступень следует оснащать кассетами с пластинами квадратной формы с зачистными режущими кромками.

Таким образом, фрезы кассетной конструкции наиболее выгодно использо-

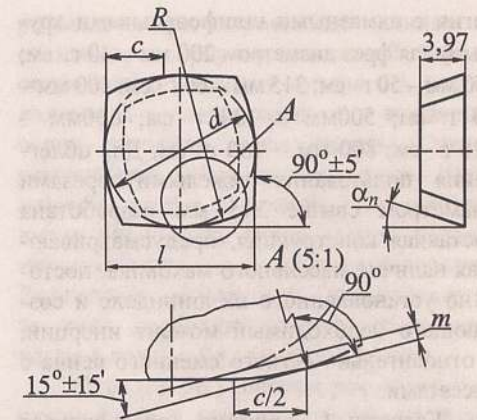


Рис. 9.4. Специальная чистовая пластина из ПСТМ с радиусными зачистными режущими кромками

вать в условиях гибкого автоматизированного производства, отличающегося быстрой обновляемостью номенклатуры изделий и требующего особой мобильности в вопросах обеспечения необходимой инструментальной оснасткой.

Следует отметить, что фрезы большого диаметра должны подвергаться статической и динамической балансировке установки на шпиндель станка. Предельное значение допустимого дисбаланса при статической балансировке (по ана-

9.32. Режущие пластины из ПСТМ квадратной формы с зачистными режущими кромками, мм (см. рис. 9.4)

Обозначение пластин	$l=d$	$\alpha_n, ^\circ$	$R$	$m$	$c$
SNEN-05T3EN-SNHN-05T3EN	5,556	0	10	0,16	2
SCEN-05T3EC-SCHN-05T3EC		7			
SNEN-06T3EN-SNHN-06T3EN	6,350	0	14	0,126	2,5
SCEN-06T3EC-SCHN-06T3EC		7			

логии 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.

На базе кассетных регулируемых фрез создана конструкция переналаживаемых торцовых фрез диаметром 125...800 мм

(см. рис. 9.3, табл. 9.31), которая значительно расширяет технологические возможности фрез вышеописанной конструкции. В переналаживаемых фрезах кассеты выполнены так, что осевой и радиальный задние углы задаются державкой, а пазы в корпусе фрезы выполнены симметрично относительно оси фрезы. Такое решение открывает широкие возможности для оснащения корпусов фрез кассетами с пластинами из ПКНБ, ПКА, режущей керамики и твердых сплавов, поскольку оптимальная геометрия режущего клина из того или иного инструментального материала при обработке различных материалов заложена непосредственно в кассете. Кассеты (рис. 9.5) для переналаживаемых фрез могут оснащаться, например, круглыми и квадратными пластинами с задними углами, в том числе с радиусными зачистными фасками и диаметром вписанной окружности, достигающим до 12,7 мм, а также пластинами любых других форморазмеров.

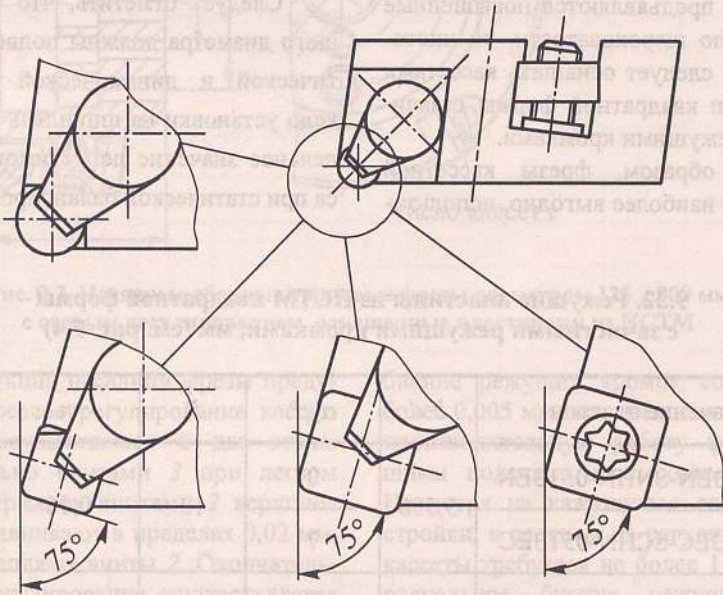


Рис. 9.5. Пример оснащения кассет переналаживаемых фрез пластинами различных форморазмеров

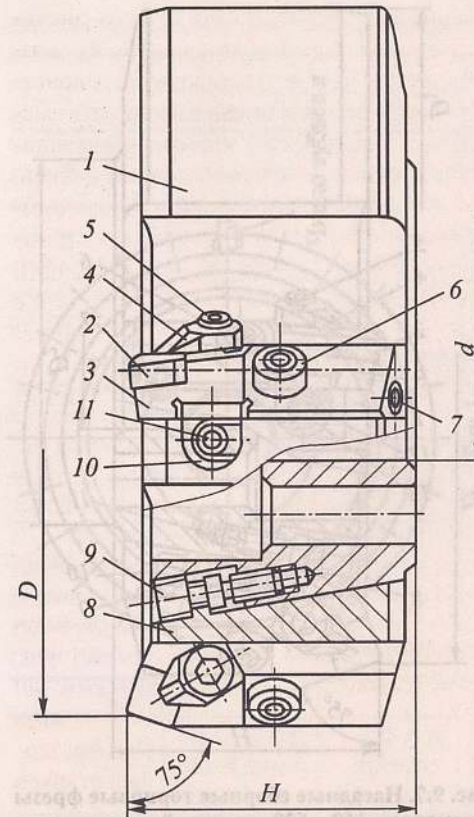


Рис. 9.6. Насадные сборные торцовые фрезы диаметром 160...630 мм с двойным и радиальным регулированием и настройкой положения режущих кромок пластин из ПСТМ и керамики

В целях дальнейшего повышения производительности, качества обработанной поверхности и надежности работы инструментов разработаны торцовые фрезы с осевой и радиальной регулировками кассет, оснащенные сменными режущими пластинами из ПСТМ (рис. 9.6). Такая 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 в корпусе осуществляется 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 входя-

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 10 винтом 11 за счет наличия угла между направлением указанного перемещения и осью паза кассеты. Радиальная регулировка осуществляется за счет перемещения регулировочного клина 8 винтом 9 вдоль паза корпуса.

Порядок регулировки рекомендуется следующий: 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 ослабляют крепежный винт 6, а винт 7 отпускают. При предварительной осевой регулировке винт 6 должен быть слегка поджат, а винт 7 отпущен. Во время окончательной осевой регулировки винт 6 должен быть полностью затянут. Регулировка должна производиться только путем перемещения кассет к рабочему торцу фрезы, а по ее окончании винт 7 должен быть зажат. После окончательной осевой регулировки желательно проверять радиальное биение режущих кромок, при неудовлетворительном результате регулировку повторяют.

Также разработаны фрезы с осевой, радиальной и угловой регулировками кассет (рис. 9.7). Такая 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 в корпусе осуществляется 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 входя-

ший своим поводком в паз кассеты. Осевая регулировка осуществляется путем перемещения сухаря винтом 13 за счет угла между направлением указанного перемещения и осью паза кассеты. Радиальная регулировка осуществляется путем перемещения 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 регулировка (0,005 мм). Во время угловой и радиальной регулировок при необходимости ослабляют крепежный винт 6, а винт 7 отпускают. Регулировка аналогична предыдущей (см. рис. 9.6).

Фрезы как с двойной, так и с тройной регулировкой имеют следующие типоразмеры:

Диаметр фрезы, мм.....	160	200	250	315
Диаметр отверстия, мм....	40	60	60	60
Число зубьев (кассет).....	8	10	12	15
Диаметр фрезы, мм.....	400	500	630	
Диаметр отверстия, мм....	60	60	60	
Число зубьев (кассет).....	20	25	30	

Регулируемые торцовые фрезы со вставными напайными ножами, оснащенными композитом 01, предназначены для чистового и тонкого фрезерования открытых и ступенчатых, в том числе типа

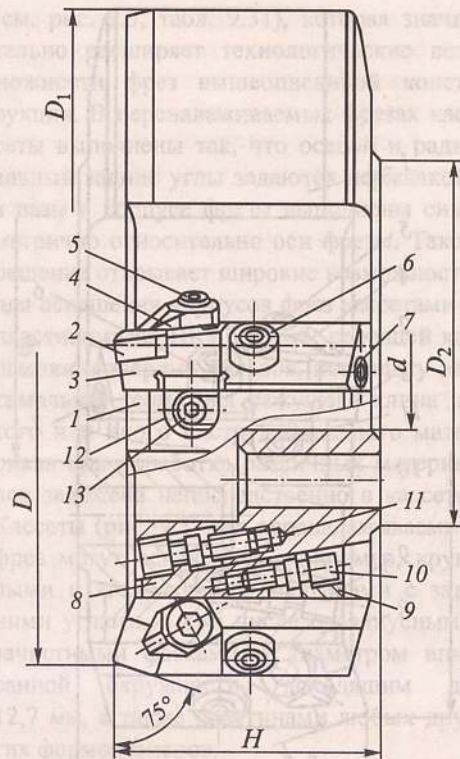


Рис. 9.7. Насадные сборные торцовые фрезы диаметром 160...630 мм с тройным осевым, радиальным и угловым регулированием и настройкой положения режущих пластин из ПСТМ и керамики

«ласточкин хвост», поверхностей деталей из сталей и чугунов любой твердости.

Фрезы изготавливают одноступенчатыми – тип 1 (табл. 9.33) и многоступенчатыми – тип 2 (табл. 9.34) в исполнениях для фрезерных (рис. 9.8) и шлифовальных (рис. 9.9) станков. Причем в исполнении для шлифовальных станков одноступенчатые фрезы изготавливают с различными вариантами крепления на станке: ножами от шпинделя и ножами к шпинделю станка. 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.

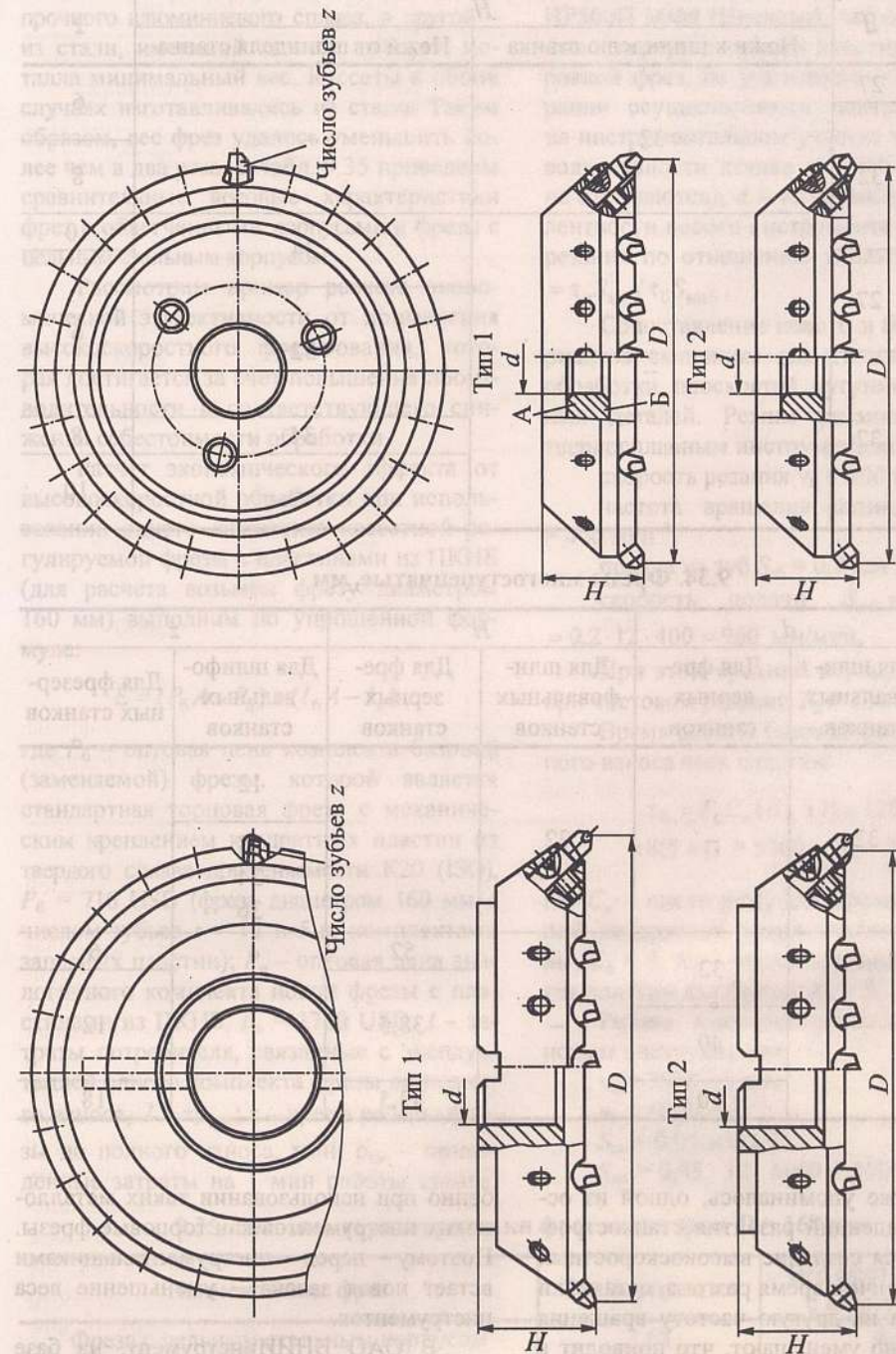


Рис. 9.9. Насадные сборные торцовые фрезы диаметром 80...200 мм с регулируемыми в осевом направлении вставными напайными ножами, оснащенными композитом 01, для шлифовальных станков

Рис. 9.8. Насадные сборные торцовые фрезы диаметром 80...200 мм с регулируемыми в осевом направлении вставными напайными ножами, оснащенными композитом 01, для фрезерных станков

## 9.33. Фрезы одноступенчатые, мм

D	d	H		z
		Ножи к шпинделю станка	Ножи от шпинделя станка	
80	27	32	-	6
100	32			8
125				10
160				34
200	27	-	32	6
80				8
100	32	-	34	10
125				6
160				8
200				10

## 9.34. Фрезы многоступенчатые, мм

D	d		H		z	
	Для шлифовальных станков	Для фрезерных станков	Для шлифовальных станков	Для фрезерных станков	Для шлифовальных станков	Для фрезерных станков
80	32	-	32	-	12	-
100					18	
125					24	
160					36	
200	32	-	-	52	6	
80					12	
100	-	40	-	38,5	-	12
125						18
160						24
200	50	43,5	18			

Как уже упоминалось, одной из основных тенденций развития станкостроения является создание высокоскоростных станков. Причем время разгона, остановки и перехода на другую частоту вращения максимально уменьшают, что приводит к резкому увеличению ускорительных нагрузок на детали шпиндельного узла, осо-

бенно при использовании таких металлоемких инструментов как торцовые фрезы. Поэтому перед инструментальщиками встает новая задача – уменьшение веса инструментов.

В ОАО ВНИИинструмент, на базе вышеописанных нерегулируемых торцовых фрез (см. рис. 9.2) были разработаны

две конструкции фрез диаметром  $D = 160$  мм. В одной из них корпус был изготовлен из прочного алюминиевого сплава, в другой – из стали, имеющий за счет выборки металла минимальный вес. Кассеты в обоих случаях изготавливались из стали. Таким образом, вес фрез удалось уменьшить более чем в два раза. В табл. 9.35 приведены сравнительные весовые характеристики фрез с облегченными корпусами и фрезы с цельным стальным корпусом.

Рассмотрим пример расчета экономической эффективности от применения высокоскоростного фрезерования, которая достигается за счет повышения производительности и соответствующего снижения себестоимости обработки.

Расчет экономического эффекта от высокоскоростной обработки при использовании одного комплекта кассетной регулируемой фрезы с пластинами из ПКНБ (для расчета возьмем фрезу диаметром 160 мм) выполним по упрощенной формуле:

$$E = (P_6 A - P_n) + (I_6 A - I_n),$$

где  $P_6$  – оптовая цена комплекта базовой (заменяемой) фрезы, которой является стандартная торцовая фреза с механическим креплением квадратных пластин из твердого сплава применяемости K20 (ISO),  $P_6 = 716$  USD (фреза диаметром 160 мм с числом зубьев  $z = 12$  и 5-ю комплектами запасных пластин);  $P_n$  – оптовая цена аналогичного комплекта новой фрезы с пластинами из ПКНБ,  $P_n = 3740$  USD;  $I$  – затраты потребителя, связанные с эксплуатацией одного комплекта фрезы до полного износа,  $I = \tau \rho_{см}$ ;  $\tau$  – время работы фрезы до полного износа, мин;  $\rho_{см}$  – приведенные затраты на 1 мин работы станка,

$\rho_{см} = 0,3$  USD/мин (расчет ведем применительно к многоцелевому станку мод. ИР500П МФ4 (Иваново), затраты, связанные с переустановками пластин и регулировкой фрез, не учитываем, т.к. эти операции осуществляются централизованно на инструментальном участке и на производительности станка с ЧПУ или линии не отражаются);  $A$  – коэффициент эквивалентности нового инструмента и процесса резания по отношению к базовому,  $A = \tau_n S_{мн} / \tau_6 S_{мнб}$ .

Сопоставление нового и базового вариантов выполним для типового случая обработки плоскостей чугуновых корпусных деталей. Режим резания базовым твердосплавным инструментом:

скорость резания  $v_6 = 200$  м/мин,  
частота вращения шпинделя  $n_6 = 400$  мин<sup>-1</sup>,  
подача на зуб  $S_{з6} = 0,2$  мм/зуб;  
скорость подачи  $S_{м6} = S_{з6} z_6 n_6 = 0,2 \cdot 12 \cdot 400 = 960$  мм/мин.

При этом средний период стойкости при чистовом резании  $T_6 = 120$  мин.

Время работы базовой фрезы до полного износа всех пластин:

$$\tau_6 = T_6 C_e (K_6 + 1) = 120 \times 8(5 + 1) = 5760 \text{ мин} = 96 \text{ ч},$$

где  $C_e$  – число режущих кромок негативной квадратной твердосплавной пластины,  $C_e = 8$ ;  $K_6$  – число запасных комплектов пластин для фрезы,  $K_6 = 5$ .

Режим высокоскоростного резания новым инструментом:

$v_n = 3000$  м/мин;  
 $n_n = 6000$  мин<sup>-1</sup>;  
 $S_{зн} = 0,05$  мм/зуб;  
 $S_{мн} = 0,05 \cdot 12 \cdot 6000 = 3600$  мм/мин.

9.35. Весовые характеристики фрез диаметром  $D = 160$  мм

Наименование фрез	Вес корпуса, кг	Вес фрезы в сборе с кассетами, кг
Фреза с цельным стальным корпусом	3,68	4,3
Фреза с корпусом из алюминиевого сплава	1,32	1,94
Фреза с облегченным стальным корпусом	1,25	1,87

### 9.36. Экономическая эффективность высокоскоростного фрезерования серого чугуна инструментом из ПКНБ ( $E = (P_6 A - P_n) + (I_6 A - I_n)$ )

Сравниваемые показатели	Обычное резание (б)	Высокоскоростное резание (н)
<b>Инструмент:</b> фреза торцовая $D = 160$ мм; $z = 12$ ; 5 комплектов запасных пластин Цена комплекта фрезы, USD	твердый сплав K20 (ISO) $P_6 = 716$	PCBN $P_n = 3740$
<b>Эксплуатационные расходы:</b> $I = \tau_{рсм} \cdot USD$ $\tau$ – время резания до полного износа фрезы, мин $\rho_{см}$ – затраты на 1 мин эксплуатации станка, USD	1728 5760 0,30	2592 8640 0,30
<b>Режим резания:</b> Скорость $v$ , мин <sup>-1</sup> Число оборотов шпинделя $n$ , об/мин Подача на зуб $S_z$ , мм/зуб Подача стола $S_m$ , мм/мин	200 400 0,2 960	3000 6000 0,05 3600
<b>Коэффициент эквивалентности</b> $A = \tau_n S_{мн} / \tau_6 S_{мнб}$	–	5,625

$E = 7415,5$  USD – на один комплект фрезы;  $E = 51,5$  USD – на один час резания;  
 $E = 103$  USD – на каждую пластину из ПКНБ.

При этом средний период стойкости при чистовом резании  $T_n = 180$  мин.

Время работы новой фрезы до полного износа всех пластин:

$$\tau_n = T_n C_e (K_n + 1) = 180 \cdot 8(5 + 1) = 8640 \text{ мин} = 144 \text{ ч.}$$

Производительность процесса резания (скорость подачи) возросла почти в 4 раза, а коэффициент эквивалентности нового инструмента по отношению к базовому составляет:

$$A = \tau_n S_{мн} / \tau_6 S_{мнб} = (8640 \cdot 3600) / (5760 \cdot 960) = 5,625.$$

Соответственно:

$$I_6 = 5760 \cdot 0,30 = 1728 \text{ USD};$$

$$I_n = 8640 \cdot 0,30 = 2592 \text{ USD}.$$

Отсюда экономический эффект составляет (табл. 9.36):

$$E = (P_6 A - P_n) + (I_6 A - I_n) = (716 \cdot 5,625 - 3740) + (1728 \cdot 5,625 - 2592) = 287,5 + 7128 = 7415,5 \text{ USD}.$$

В расчете не учтено значительное повышение качества обработанной поверхности новыми регулируемые фрезами с пластинами из ПКНБ по сравнению с твердосплавными пластинами, достигаемое за счет: уменьшения величины подачи на один оборот фрезы в 4 раза (от 2,4 до 0,6 мм/об); увеличения скорости резания в 15 раз (от 200 до 3000 м/мин); уменьшения составляющих силы резания в 2...3 раза.

Таким образом, каждый час высокоскоростного фрезерования чугуновых деталей на станках типа "обрабатывающий центр" или на автоматических линиях инструментом с пластинами из новых износостойких и прочных ПКНБ дает более 51,5 USD чистой прибыли (табл. 9.36), а

каждая использованная режущая пластина из ПКНБ окупается более чем двукратно. С увеличением стоимости оборудования и его эксплуатации эффективность инструмента из ПКНБ возрастает. Это однозначно свидетельствует в пользу высокоскоростной обработки.



## Глава 10

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Автоматизация производства на базе станков с ЧПУ и ГПС приводит к значительному увеличению стоимости станко-часа. Поэтому с целью сокращения сроков окупаемости первоначальных затрат требуется интенсификация процессов обработки, которая наряду с другими мероприятиями может быть повышена за счет применения инструментальных систем.

В связи с тем, что номенклатуру инструментов подбирают с учетом обработки перспективной номенклатуры деталей, возникает задача существенного снижения затрат на приобретение инструментов, их эксплуатацию и хранение.

Одним из способов решения этой задачи является разделение инструментов на собственно режущие инструменты и вспомогательные инструменты, используемые для базирования и закрепления режущих инструментов, а также для базирования и закрепления собранных инструментальных блоков. Помимо решения задачи взаимозаменяемости инструментов на различных станках, такое разделение позволяет производителям удовлетворять потребности рынка в широкой номенклатуре разнообразных инструментов, обеспечивая гибкое реагирование на спрос. Такой подход позволяет также снизить затраты на изготовление инструментов путем разделения их на унифицированные узлы и детали. Благодаря этому повышается серийность инструментального производства, сокращаются сроки обработки и выполнения заказов и в итоге уменьшается цена инструментов.

Для достижения высокой производительности обработки инструменты для автоматизированного производства должны обладать повышенной режущей спо-

собностью, а время технического обслуживания на их замену и подналадку должно быть минимизировано. Кроме того, инструменты должны быть высокоточными, так как точность обработки в большой степени зависит от точности инструментов. Для автоматического цикла обработки также важны жесткость инструментов, стабильный стружкоотвод и другие показатели.

В свою очередь, режущие инструменты также изготавливают сборными, состоящими из инструментальных модулей. Очевидно, что в сборных инструментах объективно заложено противоречие между разделением инструментов на взаимозаменяемые модули и обеспечением качества сборных инструментов в соответствии с предъявляемыми требованиями.

Разрешение этого противоречия обеспечивается проектированием оптимизированных инструментальных систем, удовлетворяющих как требованиям эффективной эксплуатации автоматизированных производств, так и условиям инструментального производства.

## 10.1. Инструментальные модули

В инструментальных системах уровень унификации определяется взаимозаменяемостью модулей, к которым относятся: режущие пластины, резцовые вставки, кассеты, головки, удлинители, переходники и державки с хвостовиками для закрепления на станках (рис. 10.1). Взаимозаменяемость вставок, кассет и резцовых головок для различных типоразмеров режущих инструментов позволяет

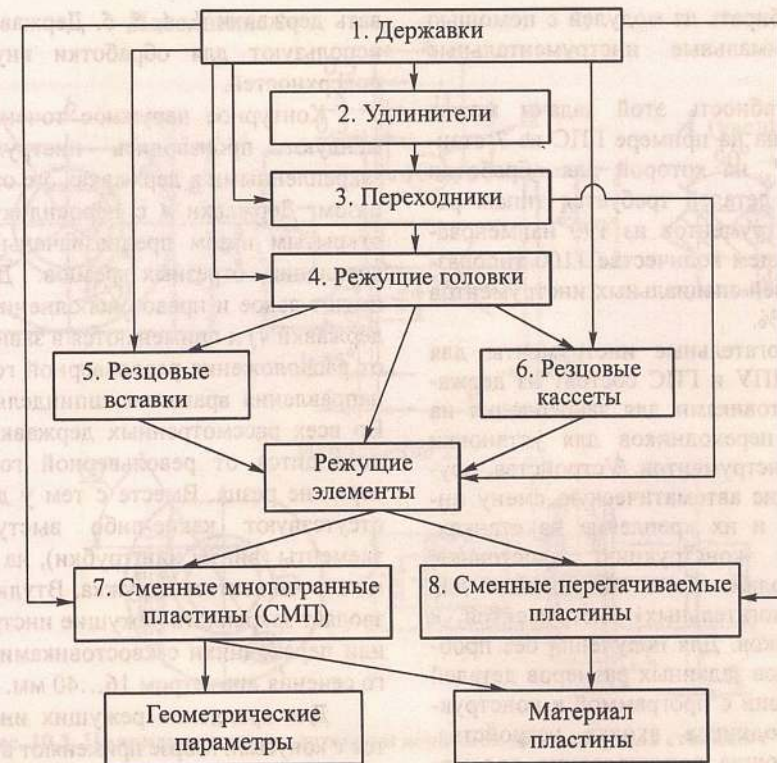


Рис. 10.1. Схема компоновки инструментальных модулей (1–8 – номера модулей)

создавать их гаммы по видам и размерам и объединять в большие группы режущих инструментов, включаемые в системы.

В совокупности с набором державок, удлинителей и переходников (вспомогательных инструментов) такие системы позволяют полностью удовлетворять потребность в специализированных инструментах и сводить к минимуму долю заказов специальных инструментов, что дает существенную экономию.

Для создания различных типов инструментов используют определенное количество модулей, которые после сборки представляют собой взаимосвязанные механизмы, обладающие достаточной результирующей жесткостью и точностью.

Модульные инструменты по сравнению с цельными инструментами позво-

ляют:

а) создавать из входящих в систему модулей инструментальные блоки, наиболее подходящие для каждой операции механообработки;

б) уменьшать при обработке двух различных деталей суммарную стоимость инструментальных блоков из модулей по сравнению со стоимостью инструментальных блоков из цельных режущих и вспомогательных инструментов;

в) обеспечивать с увеличением номенклатуры обрабатываемых деталей большую экономическую эффективность системы модулей. При этом наибольший эффект достигается в тех производствах, где необходимо использовать станки с различными системами крепления инструментов;

г) подбирать из модулей с помощью ЭВМ оптимальные инструментальные блоки.

Масштабность этой задачи может быть оценена на примере ГПС из 7 станков с ЧПУ, на которой для обработки корпусных деталей требуется типаж режущих инструментов из 190 наименований при общем количестве 1100 типоразмеров с долей специальных инструментов порядка 70 %.

Вспомогательные инструменты для станков с ЧПУ и ГПС состоят из державок с хвостовиками для закрепления на станках и переходников для установки режущих инструментов. Устройства, осуществляющие автоматическую смену инструментов и их крепление на станках, определяют конструкцию хвостовика, который должен быть одинаковым для всех вспомогательных инструментов к группе станков. Для получения без пробных проходов заданных размеров деталей в соответствии с программой в конструкцию переходников входят устройства, обеспечивающие регулирование положения режущих кромок инструментов.

Для токарных станков с ЧПУ с револьверными инструментальными головками разработана система унифицированных державок с цилиндрическим хвостовиком (рис. 10.2).

Державки 1–6 позволяют заменять резцы с размерами сечения державок от  $16 \times 16$  до  $40 \times 40$  мм. Для обработки наружных поверхностей можно использо-

вать державки 1, 4, 5, 6. Державки 2 и 3 используют для обработки внутренних поверхностей.

Контурное наружное точение рекомендуют производить инструментами, закрепленными в державках 5 с открытым пазом. Державки 4 с перпендикулярным открытым пазом предназначены для закрепления отрезных резцов. Державки имеют левое и правое исполнения (кроме державки 4) и применяются в зависимости от расположения револьверной головки и направления вращения шпинделя станка. Во всех рассмотренных державках СОЖ подводится от револьверной головки к вершине резца. Вместе с тем у державок отсутствуют какие-либо выступающие элементы (винты или трубки), на которые может навиваться стружка. Втулка 10 позволяет закреплять режущие инструменты или переходники с хвостовиками круглого сечения диаметром 16...40 мм.

Для крепления режущих инструментов с конусами Морзе применяют втулки 9.

Растачивание отверстий диаметром 25...60 мм и глубиной 75...250 мм в деталях можно производить либо резцами, закрепленными в державках 7, либо с помощью расточных оправок 8.

Базирование и крепление при помощи цилиндрических хвостовиков обеспечивает надежное центрирование инструмента. Базирование державки осуществляется по цилиндру хвостовика и штифту,

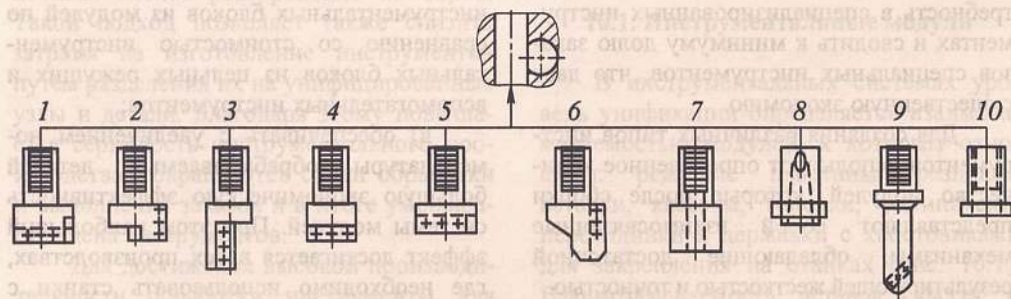


Рис. 10.2. Система унифицированных державок для токарных станков с ЧПУ

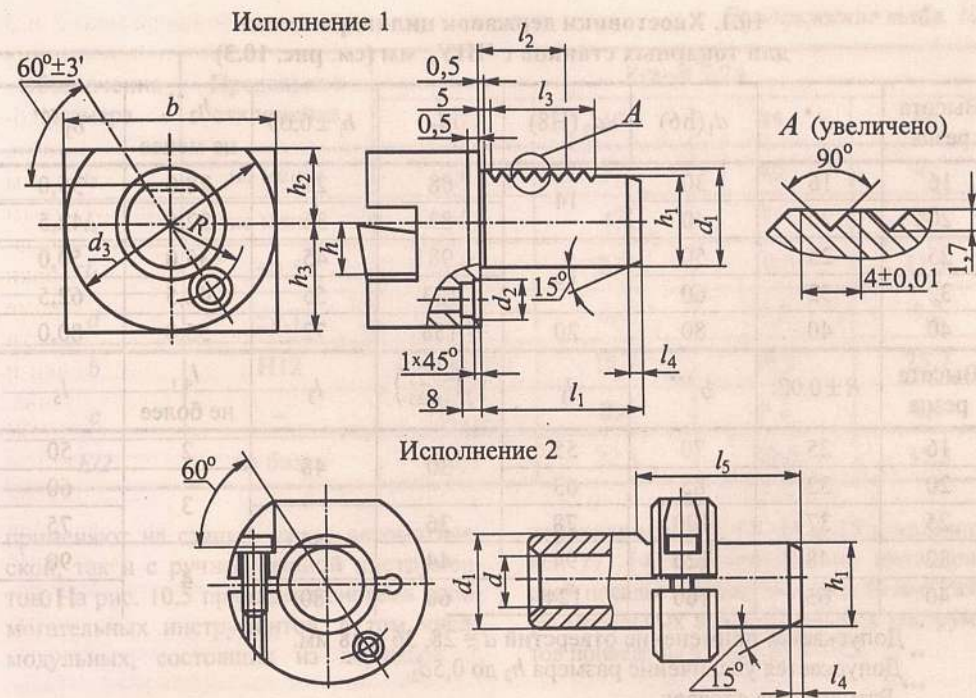


Рис. 10.3. Цилиндрические хвостовики державок для токарных станков с ЧПУ

обеспечивающему точную угловую установку инструмента: резцедержатель крепится в револьверной головке при помощи клина, имеющего рифления, смещенные относительно рифления хвостовика. В результате вспомогательный инструмент прижимается к револьверной головке станка с усилием 3...4 кН.

Основные размеры цилиндрических хвостовиков державок приведены на рис. 10.3 и табл. 10.1.

Для станков с ЧПУ сверлильно-расточной и фрезерной групп разработан ГОСТ 25827–93, регламентирующий основные размеры хвостовиков конусностью 7:24 (рис. 10.4. и табл. 10.2). Такие хвостовики

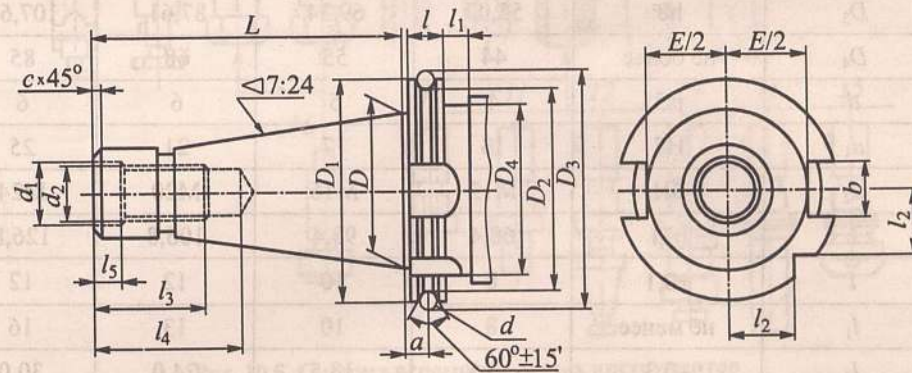


Рис. 10.4. Хвостовики конусностью 7:24 по ГОСТ 25827–93 (исп. 3)

### 10.1. Хвостовики державок цилиндрические для токарных станков с ЧПУ, мм (см. рис. 10.3)

Высота резца	$d^*$	$d_1$ (h6)	$d_2$ (H8)	$d_3$	$h_1 \pm 0,05$	$h_2^{**}$ , не менее	$h_3^{***}$
20	20	40	83	36	32,5	42,5	
25	25	50	16	98	45	35,0	50,0
32	32	60		123	55	42,5	62,5
40	40	80	20	158	72	55,0	80,0
Высота резца	$R \pm 0,02$	$b^{***}$	$l_1$	$l_2 \begin{pmatrix} -0,25 \\ -0,35 \end{pmatrix}$	$l_3$	$l_4$ , не более	$l_5$
16	25	70	55	30	48	2	50
20	32	85	63			3	60
25	37	100	78	36	56	3	75
32	48	125	94			4	90
40	65	160	124	60	80	4	110

\* Допускается применение отверстий  $d = 28, 36$  и  $48$  мм.

\*\* Допускается увеличение размера  $h_2$  до  $0,5d_3$ .

\*\*\* Размеры для справок.

### 10.2. Основные размеры хвостовиков конусностью 7:24, мм (см. рис. 10.4)

Обозначение размера	Предельное отклонение	Конус 7:24			
		30	40	45	50
$D$	—	31,75	44,45	57,15	69,85
$D_1$	$\pm 0,15$	50	63	80	100
$D_2$	$-0,5$	46	58	74	94
$D_3$	h8	55,07	69,34	87,61	107,61
$D_4$	не более	44	55	68	85
$d$	js5	4	5	6	6
$d_1$	H7	13	17	21	25
$d_2$	6H	M12	M16	M20	M24
$L$	h11	68,4	93,4	106,8	126,8
$l$	$\pm 0,1$	8	10	12	12
$l_1$	не менее	8	10	13	16
$l_2$	$-0,3$	15,5	18,5	24,0	30,0

Продолжение табл. 10.2

Обозначение размера	Предельное отклонение	Конус 7:24			
		30	40	45	50
$l_3$	не менее	24	32	40	47
$l_4$	не менее	34	43	53	62
$l_5$	$+0,5$	5,5	8,2	10,0	11,5
$a$	$\pm 0,1$	5,6	6,6	9,2	9,2
$b$	H12	16,1	16,1	19,3	25,7
$c$	—	0,2	0,4	0,6	0,6
$E/2$	не более	16,2	22,5	29,0	35,3

применяют на станках как с автоматической, так и с ручной сменой инструментов. На рис. 10.5 приведена система вспомогательных инструментов, в том числе модульных, состоящих из державок 7,

переходников 10, 12, 13 и 15 и удлинителей 11, 14, соединяемых по цилиндрической посадке с размерами 36 и 48 мм. Размеры модульных вспомогательных инструментов приведены в табл. 10.3–10.5.

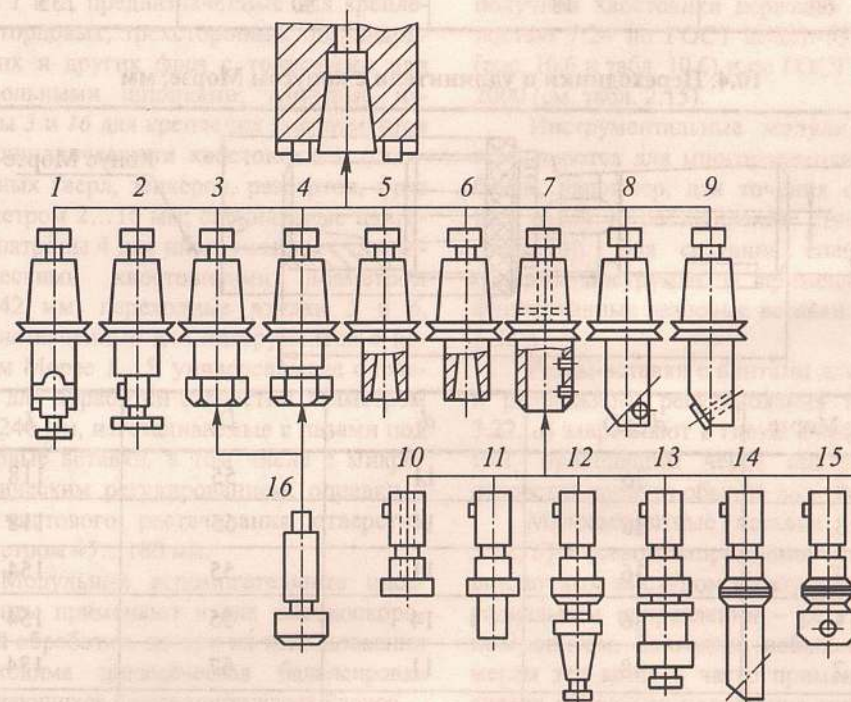
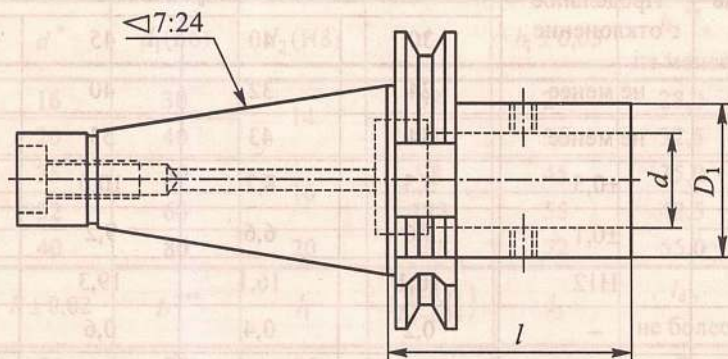


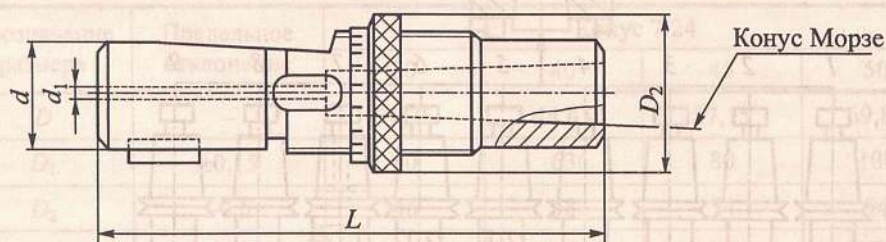
Рис. 10.5. Система вспомогательных инструментов для сверлильно-фрезерно-расточных станков с ЧПУ

## 10.3. Державки для регулируемых по длине модулей, мм



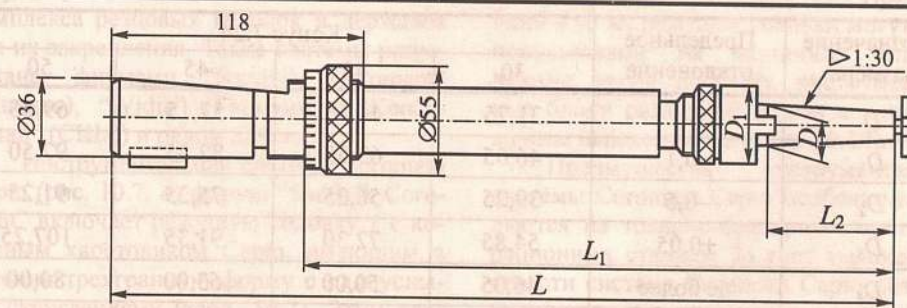
Конус 7:24	$d$ (H6)	$D_1$	$l$
30	28	40	85
40	36	55	90
50	36	63	120
60	48	80	135

## 10.4. Переходники и удлинители с конусом Морзе, мм



Конус Морзе	$d$ (g5)	$d_1$	$D_2$	$L$
2	36	11	55	118
3	36	14	55	118
2	36	11	55	154
3	36	14	55	154
2	48	11	67	184
3	48	14	67	184
4	48	18	67	184

## 10.5. Переходники для насадных разверток, мм



$D$	$D_1$	$L$	$L_1$		$L_2$
			min	max	
19	34	300	195	231	50
22	38	319	215	250	55
27	45	379	274	309	55

Цельные вспомогательные инструменты включают оправки для насадных фрез 1 и 2, предназначенные для крепления торцовых, трехсторонних, цилиндрических и других фрез с торцовыми или продольными шпонками; цанговые патроны 3 и 16 для крепления инструментов с цилиндрическими хвостовиками (стандартные сверла, зенкеры, развертки, фрез диаметром 2...16 мм; специальные цанговые патроны 4 для инструментов с цилиндрическими хвостовиками диаметром 16...42 мм; переходные втулки 5 и 6, предназначенные для инструментов с конусом Морзе 1...5; универсальные оправки 8 для обработки отверстий диаметром 40...240 мм, изготавливаемые с пазами под резцовые вставки, в том числе с микрометрическим регулированием; оправки 9 для чистового растачивания отверстий диаметром 45...180 мм.

Модульные вспомогательные инструменты применяют и для высокоскоростной обработки, но при их использовании необходима динамическая балансировка получающихся инструментальных блоков.

В связи с применением станков с ЧПУ иностранного производства, а также

в связи с поставками отечественных станков на экспорт, широкое распространение получили хвостовики державок с конусностью 7:24 по ГОСТ 25827-93 (исп. 2) (рис. 10.6 и табл. 10.6) и по ГОСТ Р 51547-2000 (см. табл. 2.15).

Инструментальные модули широко применяются для многопереходной обработки, например, для точения ступенчатых валов и растачивания ступенчатых отверстий. Для создания специальных сборных инструментов применяют унифицированные резцовые вставки (см. рис. 3.22).

Резцы-вставки с винтами для осевого и радиального регулирования (см. рис. 3.22, а) закрепляют в гнезде оправки винтом, проходящим через продолговатое отверстие корпуса обычно под углом 45°.

Малогабаритные вставки (см. рис. 3.22, б) в осевом направлении фиксируют шпоночным выступом в пазу оправки, а в радиальном направлении – регулировочным винтом. Благодаря небольшим размерам эти вставки часто применяют для снятия фасок или подрезания торцов. Типичный сборный инструмент с применением резцовых вставок показан на рис. 3.21.

## 10.6. Основные размеры хвостовиков конусностью 7:24, мм, (см. рис. 10.6)

Обозначение размера	Предельное отклонение	Конус 7:24			
		30	40	45	50
$D$	—	31,75	44,45	57,15	69,85
$D_1$	-0,1	46,05	63,55	82,55	97,50
$D_2$	-0,5	39,25	56,25	75,25	91,25
$D_3$	$\pm 0,05$	54,85	72,30	91,35	107,25
$D_4$	не более	46,05	50,00	63,00	80,00
$d$	H7	13	17	21	25
$d_1$	6H	M12	M16	M20	M24
$L$	-0,3	47,8	68,4	82,7	101,75
$l$	+0,5	5,5	8,2	10,0	11,5
$l_1$	не менее	24	32	40	47
$l_2$	не менее	34	43	53	62
$l_3$	-0,1	19,1	19,1	19,1	19,1
$l_4$	-0,3	15,5	18,5	24,0	30,0
$a$	$\pm 0,1$	3,2	3,2	3,2	3,2
$b$	H12	16,1	16,1	19,3	25,7
$r$	-0,5	0,75	1,20	2,00	2,50
$e$	-0,4	16,4	22,8	29,1	35,5
$e_1$	-0,4	19,0	25,0	31,3	37,7

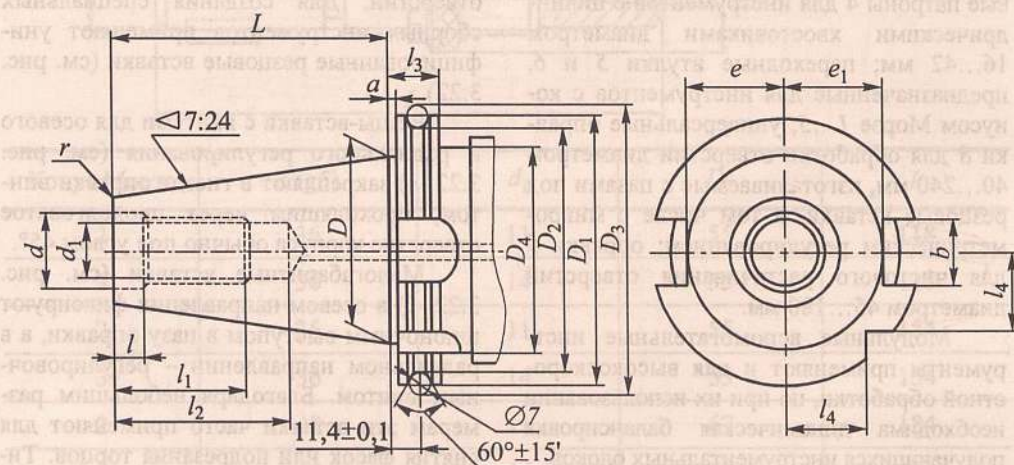


Рис. 10.6. Хвостовики конусностью 7:24 по ГОСТ 25827–93 (исп. 2)

На токарных станках применяют инструментальные системы, состоящие из комплекса режущих головок и державок для их закрепления. Такие системы разработаны фирмами “Sandvik Coromant” (Швеция), “Widia” (Германия), “Kennametal” (США) и рядом других.

Инструментальная система Coromant Capto (рис. 10.7, а) фирмы “Sandvik Coromant” включает режущую головку 1 с конусным хвостовиком Capto, имеющим в сечении трехгранную форму с радиусными скруглениями (табл. 10.7). Этим хвостовиком головка базируется в державке 2 и закрепляется тягой 3 с раздвижными захватами 4. Эти захваты взаимодействуют с фигурной расточкой 5. При ручном закреплении в державке используется резьба 6, в которую вворачивается резьбовой конец стандартной тяги.

С помощью гидропривода тяга 3 осуществляет закрепление головки 1 по конусу и торцу. Крутящий момент  $M$  равномерно передается тремя гранями, а значительный натяг по торцу обеспечивает высокую жесткость (рис. 10.7, б).

Державка 2 может быть закреплена или в револьверной головке токарного станка (табл. 10.8. и 10.9) или в шпинделе фрезерного станка, если она выполнена с конусом 7:24.

Применение инструментальной системы Coromant Capto эффективно при

точении, фрезеровании, обработке отверстий, нарезании резьбы и т.п. При этом одни и те же режущие головки могут быть использованы на различных станках. Можно также получать инструментальные блоки различной длины с использованием переходников (табл. 10.10).

Преимущества инструментальной системы Coromant Capto особенно проявляются на токарно-фрезерных многооперационных станках. За счет высокой жесткости система Coromant Capto позволяет полностью использовать мощность современных станков.

Небольшие размеры и масса режущих головок Coromant Capto дают возможность создавать большие по емкости инструментальные магазины, облегчают смену инструментов и позволяют значительно снизить динамические нагрузки при высокоскоростной обработке.

Инструментальная система MTX фирмы “Widia” включает также гамму режущих головок и соответствующие державки. Режущие головки с различными СМП выполняют весь спектр операций. Они позволяют обтачивать цилиндрические, конические и профильные поверхности тел вращения стационарно закрепленных или вращающихся заготовок с осевой подачей, а также протачивать канавки, снимать фаски, подрезать торцы и т.п.

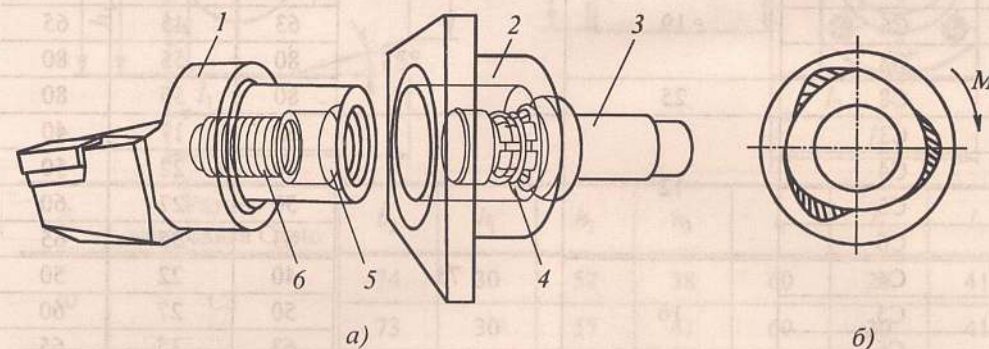
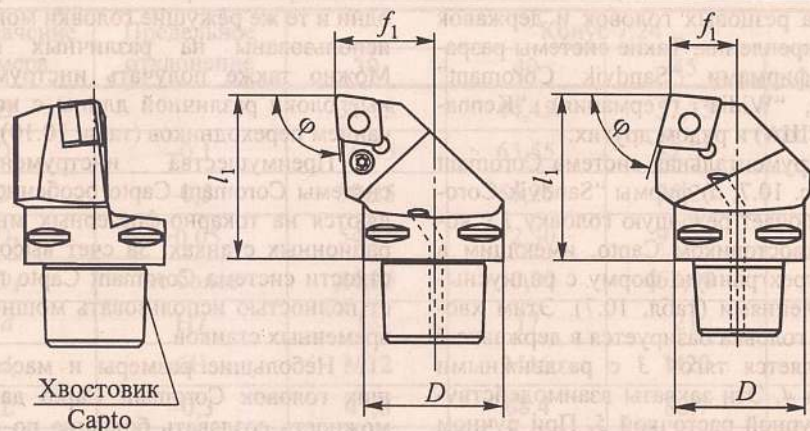


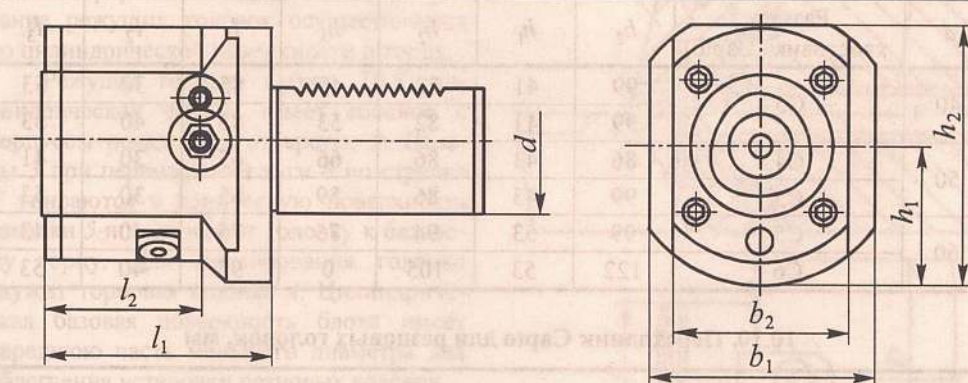
Рис. 10.7. Принцип закрепления режущей головки Coromant Capto

## 10.7. Режущая головка Сарто для контурного точения, мм



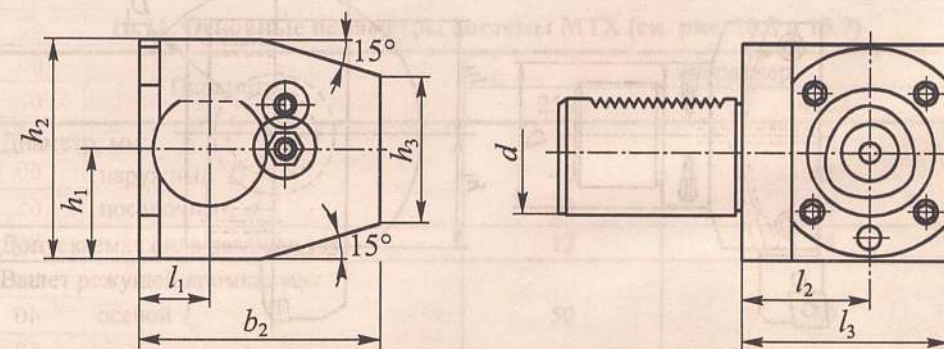
Размер хвостовика Сарто	Длина режущей кромки	$\varphi, ^\circ$	$D$	$f_1$	$l_1$
C3	9	95	32	22	40
C4			40	27	50
C5			50	35	60
C3	12		32	22	40
C4			40	27	50
C5			50	35	60
C6	16		63	45	65
C8			80	55	80
C4			40	27	50
C5	19		50	35	60
C6			63	45	65
C8			80	55	80
C8	25	80	55	80	
C3		32	17	40	
C4		40	22	50	
C5	12	75	50	27	60
C6			63	35	65
C4			40	22	50
C5	16		50	27	60
C6			63	35	65
C5			50	27	60
C6	19		63	35	65

## 10.8. Прямые державки для головок Сарто, мм



$d$	Размер хвостовика Сарто	$b_1$	$b_2$	$h_1$	$h_2$	$l_1$	$l_2$
30	C3	50	38	34	61	60	44
40	C4	75	48	41	75	75	53
	C5	75	64	41	82	85	72
50	C4	70	48	49	83	65	39
	C5	83	64	49	91	85	61
60	C5	80	64	58	100	70	16
	C6	84	84	58	111	95	50

## 10.9. Угловые державки для головок Сарто, мм

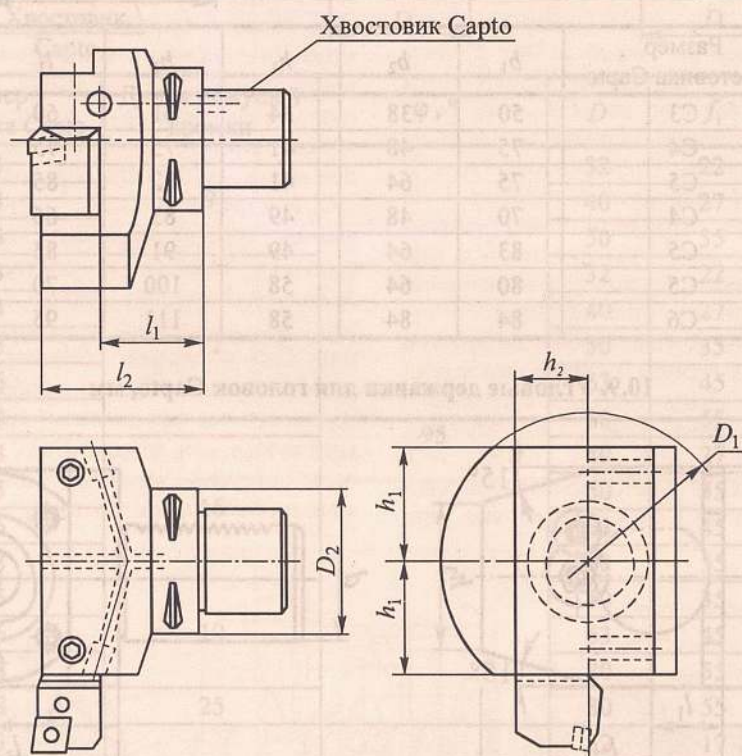


$d$	Размер хвостовика Сарто	$b_2$	$h_1$	$h_2$	$h_3$	$l_1$	$l_2$	$l_3$
30	C3	74	30	57	38	60	20	41
		73	30	57	41	60	30	41
40	C4	86	38	75	54	75	30	51
		86	38	75	60	75	40	51

Продолжение табл. 10.9

$d$	Размер хвостовика Carpto	$b_2$	$h_1$	$h_2$	$h_3$	$l_1$	$l_2$	$l_3$
40	C5	99	41	82	47	85	30	53
		99	41	82	53	85	40	53
50	C4	86	43	86	66	65	30	41
	C5	99	43	86	59	85	30	53
60	C5	99	53	94	76	75	40	43
	C6	122	53	105	0	95	40	53

## 10.10. Переходник Carpto для резцовых головок, мм



Размер хвостовика Carpto	$D_1$	$D_2$	$h_1$	$h_2$	$l_1$	$l_2$
C5	90	63	38	20	40	60
C6	110	63	45	25	45	71
	130	63	50	32	45	71
C8	142	80	55	32	53	85

В системе инструментальной оснастки МТХ фирмы Widia (Германия) базирование режущих головок осуществляется по цилиндрической поверхности и торцу.

Режущая головка 1 (рис. 10.8) цилиндрической формы имеет соосное с корпусом посадочное отверстие 2. Пальцы 3 при перемещении тяги 6 по стрелке  $F$  упираются в коническую поверхность канавки 5 и поджимают головку к базовому торцу. Для фиксирования головки служит торцовая шпонка 4. Цилиндрическая базовая поверхность блока имеет переднюю часть меньшего диаметра для облегчения установки резцовых головок.

Резцовые головки в системе МТХ имеют симметричную форму, режущие кромки расположены на оси симметрии головок, предназначенных как для наружной, так и для внутренней обработки. Поэтому для их закрепления возможно использование унифицированного блока.

На наружной цилиндрической поверхности головок нанесены V-образные канавки с углом  $60^\circ$  под захваты для автоматической замены головок. Резцовые головки имеют внутренний подвод СОЖ, совмещенный с системой закрепления.

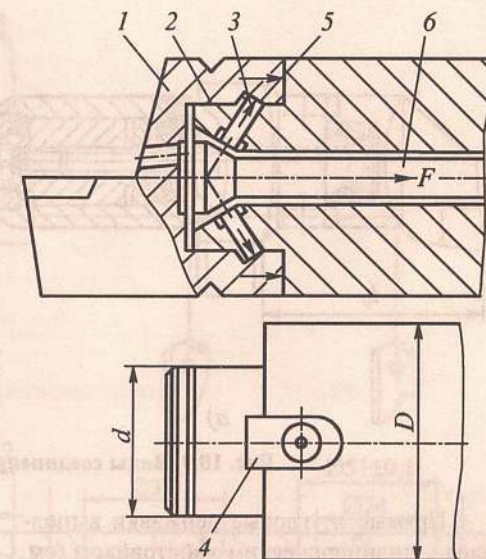


Рис. 10.8. Конструкция соединений модулей системы МТХ

Разработаны два типоразмера системы МТХ-2540 и -4063 (табл. 10.11). В систему входят прямые державки (рис. 10.9, а) для закрепления инструментов для внутренней обработки и угловые державки (рис. 10.9, б) для наружной обработки.

## 10.11. Основные параметры системы МТХ (см. рис. 10.8 и 10.9)

Параметр	Типоразмер	
	2540	4063
Диаметр, мм:		
наружный $D$	40	63
посадочный $d$	25	40
Допускаемая сила резания, кН	12	24
Вылет режущей кромки, мм:		
осевой $l_0$	50	70
радиальный $l_p$	27	43
Точность, мм:		
в осевом направлении	0,003	0,004
в радиальном направлении	0,006	0,008
Сила зажима $F$ , кН	18	25
Ход тяги, мм	2,5	3,5
Диаметр отверстий для охлаждения, мм	4	6
Масса, кг	0,3...0,6	0,7...1,5

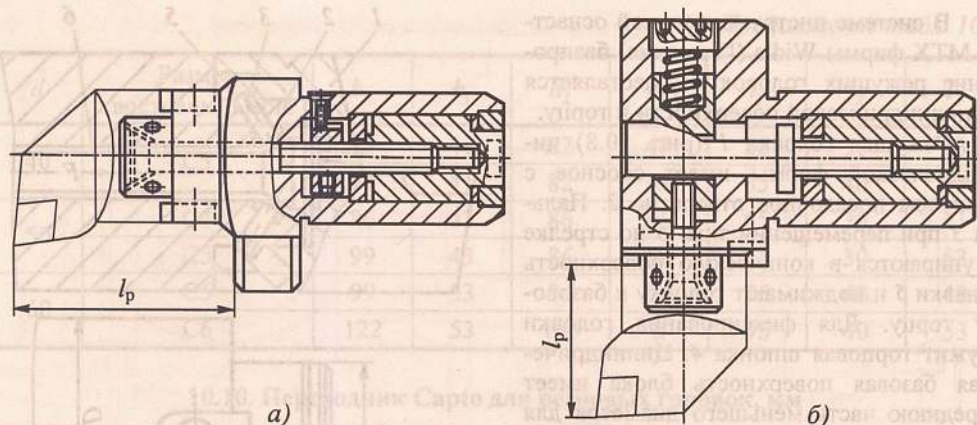


Рис. 10.9. Виды соединений модулей системы MTX

Прямые и угловые державки выполнены с цилиндрическим хвостовиком (см. табл. 10.9) для установок в обычных револьверных головках с посадочными диаметрами 40, 50 и 60 мм. Прямые державки

одного посадочного диаметра имеют две длины, а угловые – два различных расстояния от оси хвостовика. Схема взаимозаменяемости модулей системы MTX в державках показана на рис. 3.24.

Значительный эффект обеспечивает модульный принцип при конструировании инструментов для обработки отверстий.

Это связано с тем, что номенклатура этих инструментов особенно велика, а также с тем, что для изготовления и перетачивания осевых инструментов малых размеров требуются универсальные многокоординатные заточные станки. Поэтому изготовление таких инструментов малыми сериями затруднительно в инструментальных цехах заводов-потребителей.

Модульные ступенчатые зенкеры состоят из взаимозаменяемых сменных твердосплавных пластин и державок. Благодаря этому появляется возможность выбора марки твердого сплава в соответствии с материалом обрабатываемой детали.

Конструкция сборного зенкера показана на рис. 10.10.

Здесь элемент крепления 1, изготовленный из быстрорежущей стали, служит подложкой для режущей части 2, которая скошенной прилегающей поверхностью надежно крепится винтом 4 в гнезде державки 5 через штифт 3. Примеры отверстий, обрабатываемых сборными зенкерами, приведены на рис. 10.11.

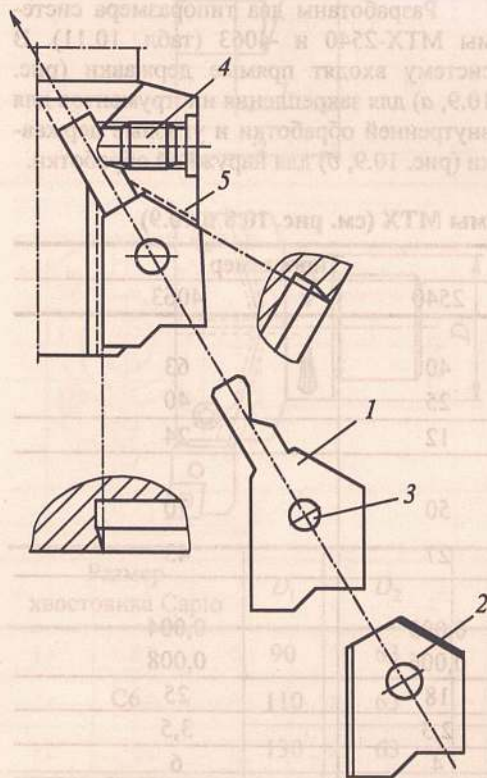


Рис. 10.10. Конструкция сборного зенкера

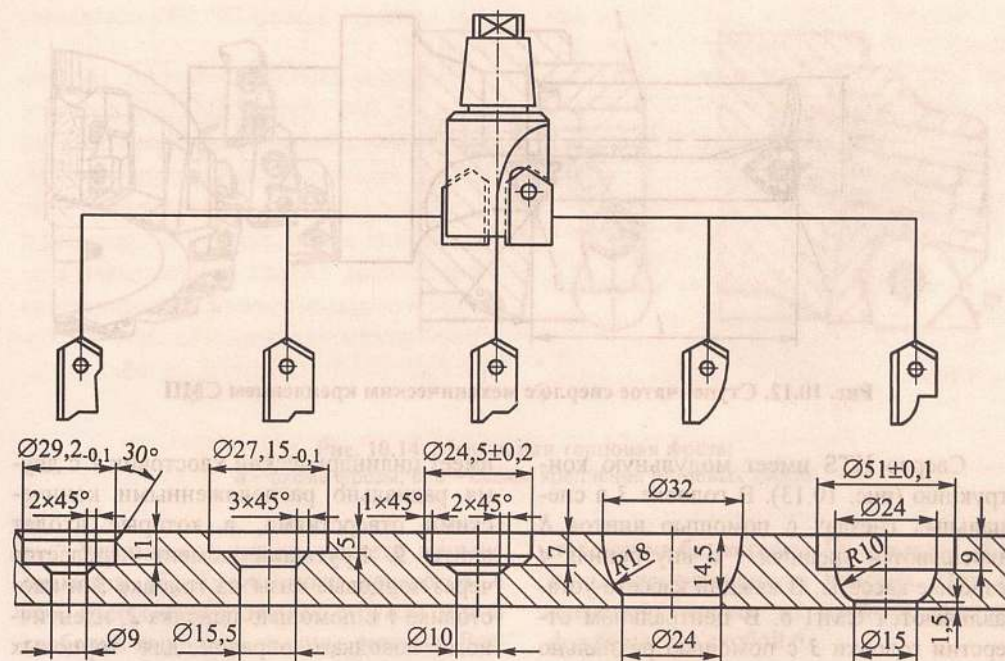


Рис. 10.11. Примеры отверстий, обрабатываемых сборными зенкерами

Ступенчатые сверла (рис. 10.12) с механическим креплением СМП имеют корпус 1 и пластины 2 и 3. В целях обеспечения более высокой точности обработки и низкой шероховатости поверхности обработанных отверстий предусматривают специальные развороты СМП, учитывающие направление действующих усилий резания при наличии винтовых канавок. Такие сверла при выводе их из отверстия по окончании сверления не оставляют риска, так как по окончании процесса резания периферийная режущая кромка отходит от обработанной поверхности.

Применение сверл с СМП на токарных станках позволяет увеличивать размер обработки на 1...2 мм за счет смещения сверла в плоскости расположения режущих кромок.

Для обработки отверстий глубиной более  $3d$  требуется повышенная жесткость корпусов сверл. Так как жесткость сверл уменьшается пропорционально третьей степени их длины, то удлиненные сверла нуждаются в усилении корпусов с помо-

щью направляющих элементов (поверхностей, ленточек или цапг). Направляющие элементы, расположенные по периферии сверла, чувствительны к изменениям диаметра обрабатываемого отверстия и сходящей стружки, в то время как наличие центральной направляющей цапфы существенно снижает влияние этих факторов. Если направляющую цапфу выполнить в виде центровочного сверла, то при сверлении «по целому» можно достигнуть больших глубин сверления. За счет малой скорости резания в зоне оси вращения для изготовления таких сверл могут быть применены быстрорежущая сталь или прочный на изгиб твердый сплав. Примером является сборное сверло HTS, в котором используются преимущества обоих материалов (Kennametal, США). У такого сверла распределение глубины резания между несколькими сменными многогранными пластинами обуславливает образование узкой и мягкой стружки и позволяет уменьшить усилия резания.



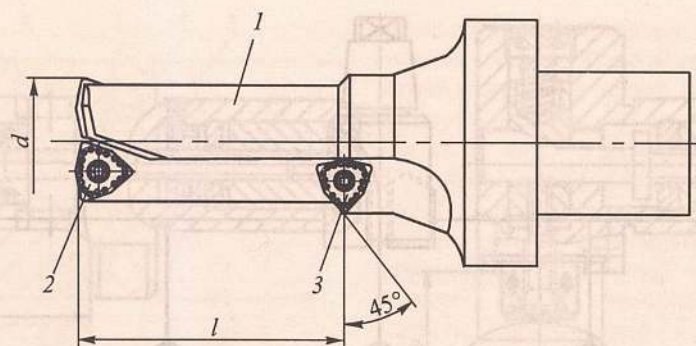


Рис. 10.12. Ступенчатое сверло с механическим креплением СМП

Сверло HTS имеет модульную конструкцию (рис. 10.13). В головке 3 в специальных гнездах с помощью винтов 8 закрепляются внешняя 7 и внутренняя 4 резовые кассеты. В каждой кассете устанавливаются СМП 6. В центральном отверстии головки 3 с помощью радиально расположенных винтов закрепляется цилиндрический (с лыской) хвостовик центрального сверла 5. Головка 3 также

имеет цилиндрический хвостовик 1 с двумя радиально расположенными коническими отверстиями, в которые входят винты 9. Крутящий момент передается через торцовые пазы на головке 3 и хвостовике 1 с помощью поводка 2, идентичного поводкам оправок для торцовых фрез. Аналогично соединяются переходники, удлинители и державки системы закрепления сверл HTS.

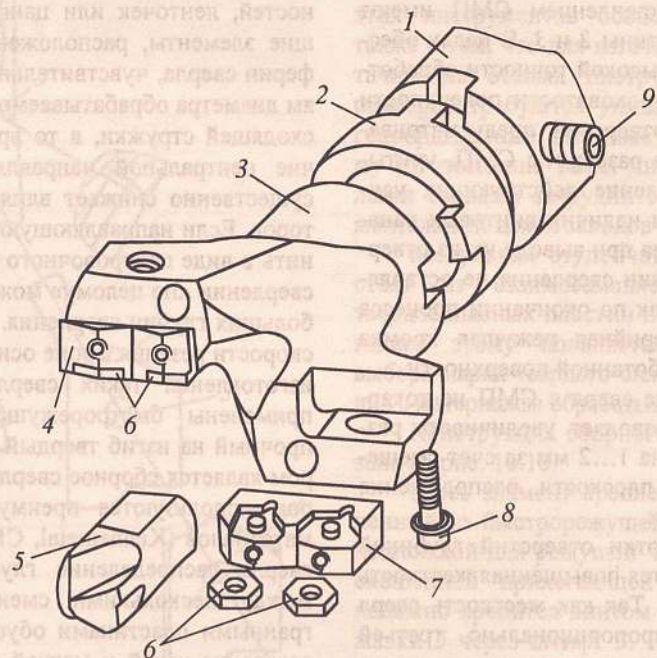


Рис. 10.13. Сборное сверло HTS

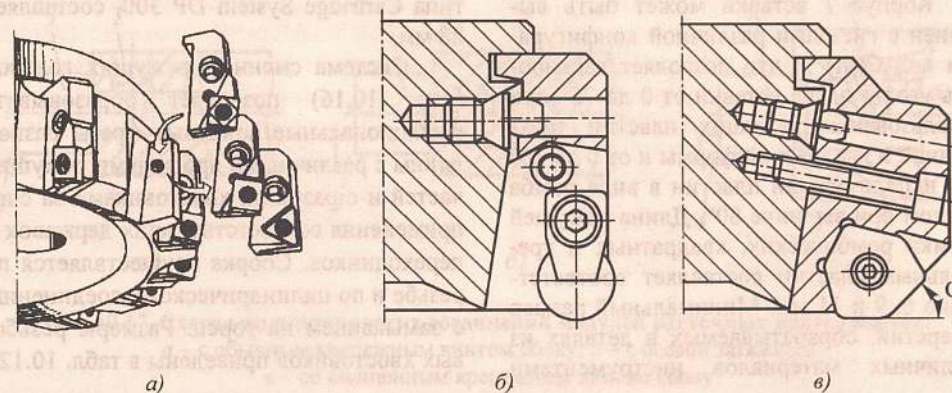


Рис. 10.14. Модульная торцовая фреза:

а – схема фрезы; б, в – схемы крепления резовых кассет

Удлинители имеют диаметр меньше диаметра обрабатываемого отверстия с тем, чтобы образующая стружка могла свободно выходить из зоны резания. Раздельное выполнение головок сверла, удлинителей и державок позволяет комбинировать размеры сборных сверл и применять различные системы базирования и закрепления на станках. При этом максимальная глубина сверления равна 10 диаметрам обрабатываемого отверстия.

Применение резовых кассет в конструкциях фрез позволяет использовать один корпус для изменения главных углов в плане  $\phi$  и производить радиальную и осевую регулировку положения режущих кромок СМП (рис. 10.14).

Для расточных инструментов фирмой "Gühring" (Германия) разработаны резовые вставки Cartridge System DP 300 (рис. 10.15).

Корпус 1 вставки крепится винтом 4 в расточных оправках вдоль их оси или перпендикулярно к ней. Винты 5, размещенные по большой и малой сторонам корпуса 1, имеют пояски, выполняемые эксцентрично относительно оси вращения винтов 5. После установки корпуса 1 в оправку осуществляется его базирование по пояскам винтов 5 и стенкам паза оправки. Вращая винты 5, можно изменить

положение баз корпуса 1 в пределах величины эксцентриситета поясков. При извлечении корпуса из оправки винты 5 фиксируются скобой 6.

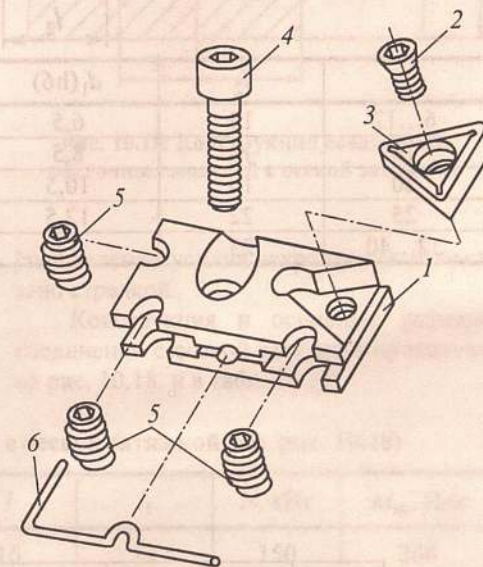


Рис. 10.15. Резовая вставка Cartridge System DP 300:

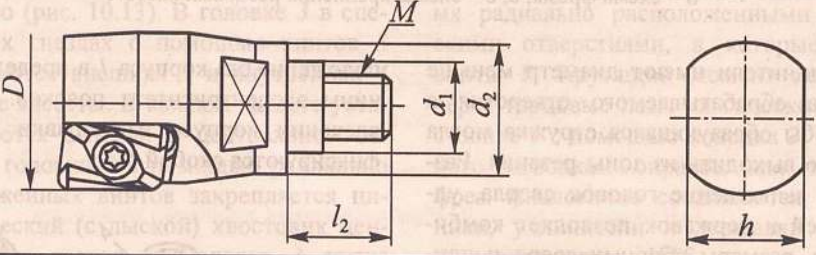
1 – корпус вставки;  
2 – винт для крепления пластин; 3 – СМП;  
4 – винт для крепления вставки в державке;  
5 – регулировочные винты;  
6 – фиксирующая скоба

Корпус 1 вставки может быть выполнен с гнездами различной конфигурации под СМП 3, что позволяет варьировать угол в плане вставки от 0 до 75° при использовании режущих пластин трехгранной и квадратной формы и от 0 до 10° при использовании пластин в виде ромба с углом при вершине 80°. Длина режущей кромки ромбических, квадратных и треугольных пластин составляет соответственно 6, 9 и 11 мм. Минимальный размер отверстий, обрабатываемых в деталях из различных материалов инструментами

типа Cartridge System DP 300, составляет 28 мм.

Система сменных режущих головок (рис. 10.16) позволяет образовывать функциональные концевые фрезы разной длины с различными профилями режущих частей и с разными хвостовиками за счет применения соответствующих державок и переходников. Сборка осуществляется по резьбе и по цилиндрическому соединению с замыканием на торец. Размеры резьбовых хвостовиков приведены в табл. 10.12.

### 10.12. Размеры резьбовых хвостовиков сборных концевых фрез, мм



$D$	$l_2$	$d_1$ (h6)	$d_2$	$h$	$M$
6...12	15	6,5	10	8	M6
16	18	8,5	13	10	M8
20	19	10,5	18	14	M10
25	22	12,5	21	17	M12
32...40	23	17	29	22	M16

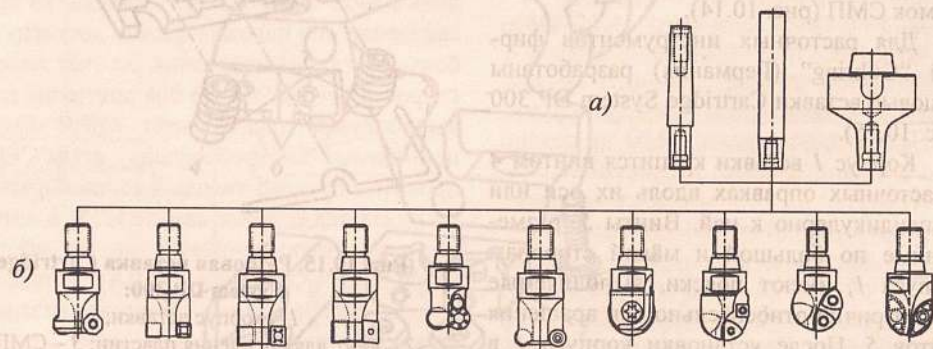


Рис. 10.16. Система сборных концевых фрез:

а – державки и переходники; б – взаимозаменяемые режущие головки

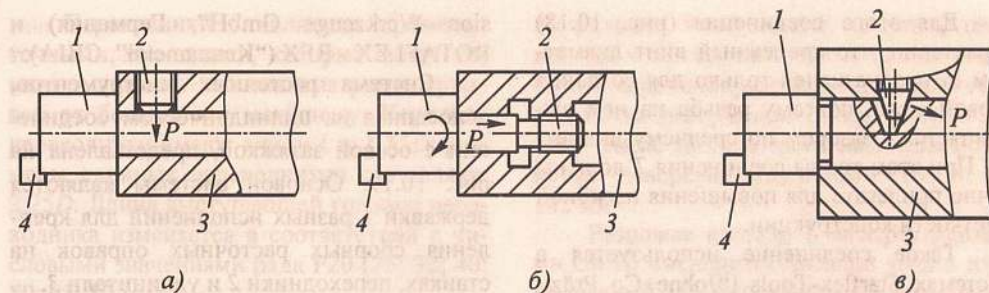


Рис. 10.17. Схемы цилиндрических соединений модулей расточных инструментов:

а – с обычным крепежным винтом сбоку; б – с осевой затяжкой; в – со смещенным крепежным винтом сбоку

Традиционно наиболее систематизированы расточные инструменты. Это связано с тем, что обработка растачиванием осуществляется в несколько переходов. Размеры диаметров  $D$  растачиваемых отверстий находятся, как правило, в диапазоне от 3 до 630 мм при длине растачивания от  $2D$  до  $7D$ . В то же время величина регулирования на диаметр режущей кромки расточного инструмента не превышает  $(0,2...0,25)D$ . В связи с этим на практике всегда используют сборные конструкции расточных инструментов.

Для соединения державок, удлинителей, переходников и резцовых головок применяют цилиндрические соединения, схемы которых показаны на рис. 10.17.

Цифрами обозначены: 1 – резцовая головка; 2 – крепежный винт; 3 – переходник, удлинитель или державка; 4 – режущий элемент или резцовая вставка.

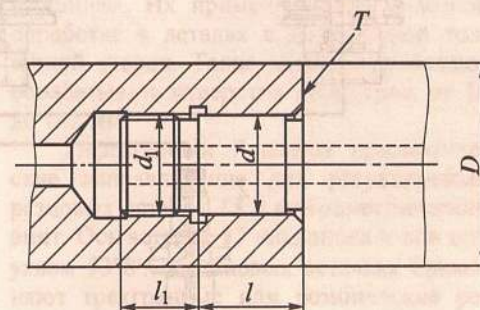


Рис. 10.18. Конструкция соединения расточных модулей с осевой затяжкой

Направление усилия закрепления  $P$  показано стрелкой.

Конструкция и основные размеры соединения с осевой затяжкой приведены на рис. 10.18. и в табл. 10.13.

### 10.13. Характеристики соединений с осевой затяжкой (см. рис. 10.18)

$D$	$d$ (g5/H6)	$d_2$	$l$	$l_1$	$N$ , кВт	$M_{кр}$ , Н·м
32	18	M16×2	16	14	150	266
40	25	M24×3	24	16	190	900
50	30	M27×3	27	18	290	1280
63	40	M36×4	40	26	400	3030
80	50	M48×5	42	28	580	7190

Для этого соединения (рис. 10.18) характерно, что крепежный винт диаметром  $d_1$  предназначен только для создания осевой силы, поэтому резьба на нем выполняется с зазором по среднему диаметру. При этом торцы соединения  $T$  должны точно прилегать для повышения изгибной жесткости конструкции.

Такое соединение используется в системах Starflex-Tools ("Johne+Co Präzi-

sion Werkzeuge GmbH", Германия) и ROTAFLEX - RFX ("Kennametal", США).

Система расточных инструментов, основанная на цилиндрическом соединении с осевой затяжкой, представлена на рис. 10.19. Основой системы являются державки  $1$  разных исполнений для крепления сборных расточных оправок на станках, переходники  $2$  и удлинители  $3$ .

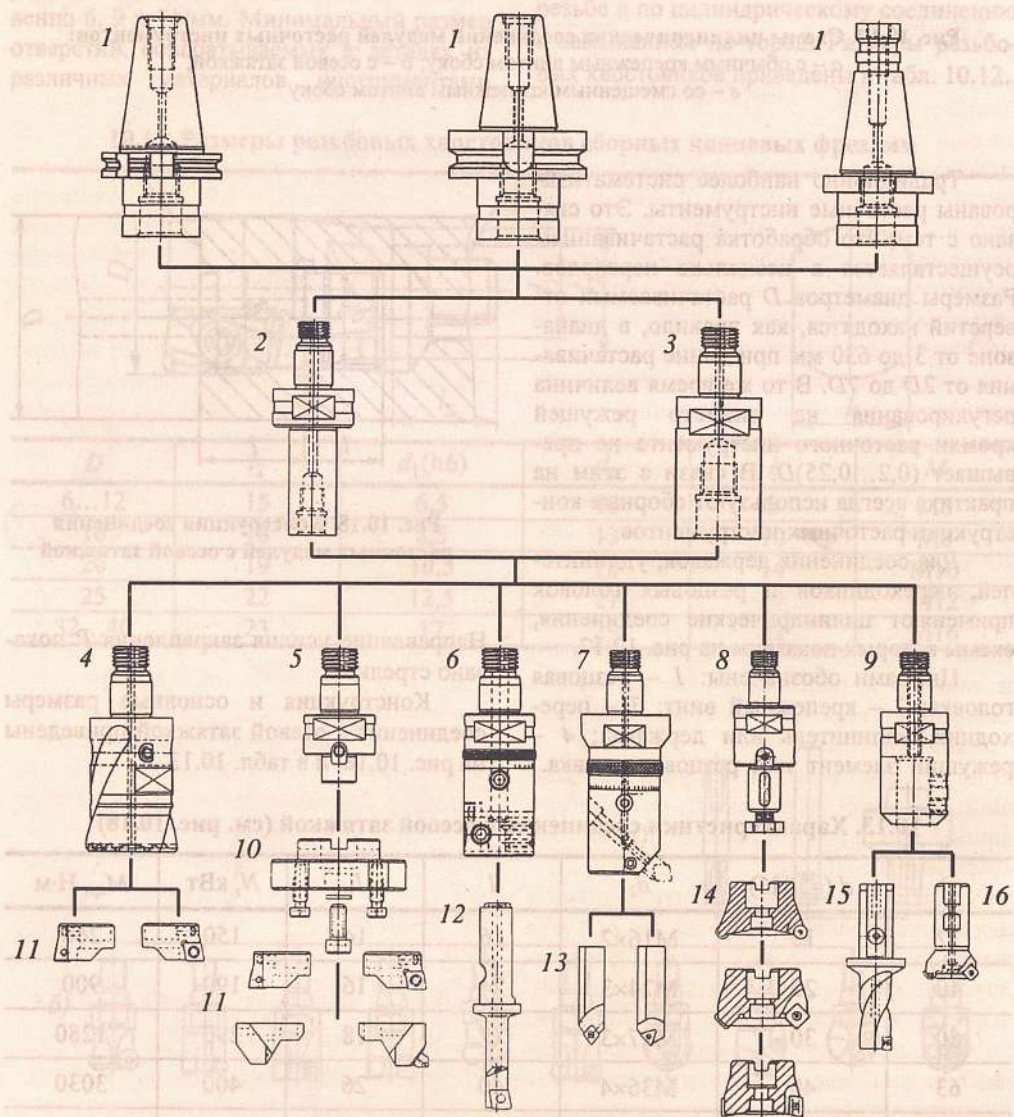


Рис. 10.19. Система расточных инструментов с осевой затяжкой

Переходники  $2$  являются промежуточными элементами, которые могут изменять диаметр хвостовиков резцедержавок от большего к меньшему. Короткие переходники имеют длину  $L = 1,55D$ , размеры длинных переходников составляют  $2,25D$ . Длина выступающей головки переходника изменяется в соответствии с числовыми значениями ряда P20 (25; 32; 40; 50; 63; 80 мм).

Удлинители  $3$  имеют одинаковый диаметр с передней частью державок и могут быть короткими или длинными. Длины коротких удлинителей изменяются по основному ряду P10 со знаменателем геометрической прогрессии 1,25 (25; 31; 40; 50; 63; 80; 100; 125 мм), в то время как длинные удлинители изменяются по геометрическому ряду P20 со знаменателем геометрической прогрессии 1,15, т.е. получаются нечетные разрядные значения (36; 45; 56; 71; 90; 112; 140 мм).

Непосредственно в хвостовики или через переходники и удлинители с помощью резьбового соединения могут устанавливаться: расточные головки  $4$  с обычной и микрометрической регулировкой резцовых кассет  $11$ ; расточные патроны  $6$  и  $7$ ; оправки  $8$  для насадных фрез  $14$ ; патроны  $9$  для сверл  $15$  и концевых фрез  $16$ .

На переходниках  $5$  устанавливают планки  $10$ , служащие базой для двухзубых расточных головок для обработки отверстий большого диаметра.

Внутри такой планки находится микрометрический винт, служащий для передвижения ножей. По соответствующей направляющей планки, при повороте микрометрического винта, который поворачивается в резьбовой втулке, перемещаются резцовые кассеты  $11$  шпилькой, связанные с резьбовой втулкой. Точность регулировки по лимбу микрометрического винта — 0,05 мм.

Резцовые кассеты  $11$  с ромбическими СМП, имеющими главный угол в плане  $90^\circ$  с тем, чтобы толщина стружки была равна подаче на оборот. Это приводит к снижению радиальной составляющей си-

лы резания. Ромбические пластины применяют в тех случаях, когда нужно обработать перпендикулярные торцы или есть опасность деформации тонких стенок детали. Такие кассеты применяют для обработки отверстий диаметром от 8 до 142 мм.

Резцовые кассеты с четырехгранными СМП, имеющими главный угол в плане, равный  $75^\circ$ . Радиальная составляющая силы резания в этом случае больше, чем при обработке с главным углом в плане  $90^\circ$ , но толщина стружки меньше. Четырехгранные поворотные режущие пластины имеют большую износостойкость по вершинам. Их применяют при сквозной обработке в деталях с достаточной толщиной стенок. Такие кассеты позволяют обрабатывать отверстия диаметром от 16 до 142 мм.

Переходники  $7$  имеют призматические направляющие для регулируемых резцовых вставок  $13$  и микрометрический винт. Ось вставок  $13$  наклонена к оси под углом  $53^\circ 8'$ . В резцовых вставках применяют трехгранные или ромбические режущие пластины. Отчет по лимбу микрометрического винта обеспечивается с точностью до 0,01 мм. Вставка после регулировки фиксируется винтами.

Для окончательного растачивания отверстий с точностью IT6 в систему включены патроны  $6$  с микрометрической подачей расточных резцов  $12$ , имеющих цилиндрические хвостовики диаметрами 12 и 16 мм. Патроны позволяют обрабатывать отверстия в диапазоне диаметров 5...40 мм. Точность регулировки положения вершины резца по нониусу патрона — 0,001 мм.

Варианты сборных расточных оправок оптимизируют по критерию максимальной жесткости, чтобы свести к минимуму деформации под действием составляющей  $P_r$  силы резания. Эта задача решается на персональном компьютере с помощью программы автоматического подбора наилучших сочетаний модулей системы. При этом по программе рассчитывают параметры сборки из модулей по

базе данных о возможностях модулей, о геометрических и размерных параметрах обрабатываемых деталей, видах обработки и о конструкциях шпинделей. С помощью математической модели, которая описывает поведение сборок, определяется жесткость каждой из возможных конфигураций. Это позволяет выбрать конфигурацию, обладающую наибольшей жесткостью. На рис. 10.20 приведен пример конфигурации сборки, когда обработка ведется однолезвийным расточным инструментом: растачивается сквозное отверстие диаметром 30Н8, глубиной 80 мм, с параметром шероховатости  $Ra 1,25$  на станке со шпинделем с конусом 50 по стандарту ISO. Для этого применяется режущая головка 4 (см. рис. 10.19) диаметром 20 мм, длиной 17 мм, которая используется для растачивания отверстий диаметром 26...36 мм. Если режущая головка монтируется с переходником 2 длиной 25 мм, то суммарная длина составляет

42 мм. Так как к этому отверстию примыкает отверстие диаметром 50 мм, то выбирают переходник 2 с диаметра 40 на диаметр 20 мм. Удлинитель имеет длину 45 мм с посадочным цилиндром диаметром 20 мм. Если сложить длины элементов диаметром 20 мм, то их суммарная длина будет равна 87 мм, что и требуется для заданных условий.

Перед обрабатываемым отверстием имеются отверстия диаметрами 50, 80 и 100 мм. Для обеспечения высокой жесткости оправки за первым переходником становится еще один переходник – с диаметра 63 на диаметр 40 мм. Затем могут быть установлены удлинитель диаметром 63 мм, длиной 100 мм и соответствующий хвостовик-державка с конусом 50 и вылетом передней части 63 мм.

При варианте с удлинителем 3 диаметром 80 мм и переходником 2 с 40 на 80 мм сборка удлинится на 27 мм, что снижает ее жесткость.

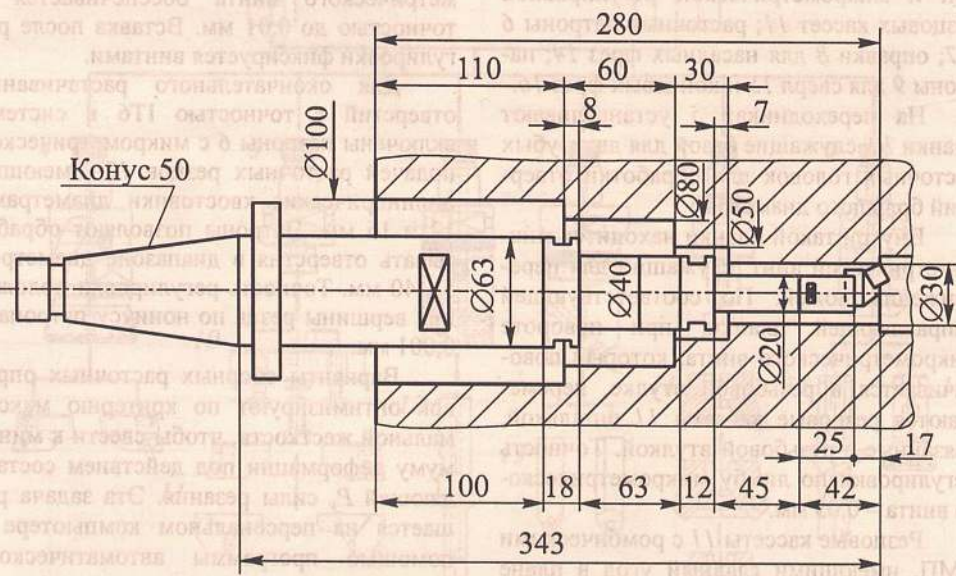


Рис. 10.20. Сборная расточная оправка для обработки ступенчатого отверстия

Фирмы "ISCAR" (Израиль), "Wohlhaupter" (Германия), "KAISER" (Швейцария), «Пумори-СИЗ» (Россия) и "NIK-KEN" (Япония) используют в системах расточного инструмента цилиндрическое соединение модулей со смещенным винтом (рис. 10.21).

Система модульного расточного инструмента «Пумори-СИЗ» для обработки отверстий диаметром  $D = 28...220$  мм представлена на рис. 10.22. Здесь цифрами обозначены: 1 – державка; 2 – переходник; 3 – удлинитель; 4 – двухзубая черновая режущая головка; 5 – однозубая режущая головка с микрометрической регулировкой; 6 – переходник для планок двухзубых режущих головок для обработки больших диаметров; 7 – то же, с микрометрической регулировкой; 8 – планка; 9 и 10 – режцовые кассеты с СМП.

В качестве режущих головок для черновой обработки используют (например, фирма Nikken, Япония) модульные конструкции, в которых на радиальных рифлениях устанавливают сменные вставки с различными гнездами для СМП с разными углами в плане.

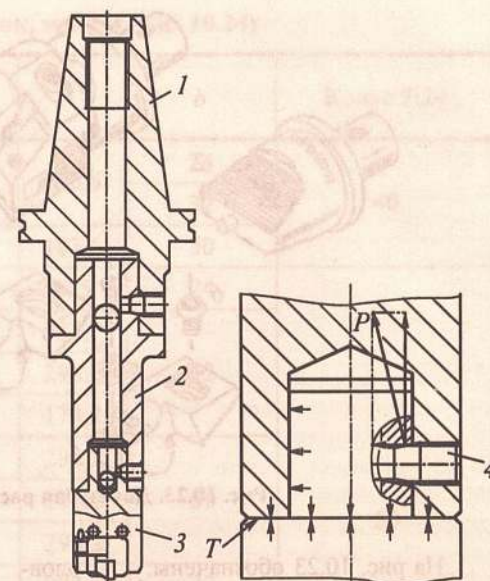


Рис. 10.21. Соединение модулей смещенным винтом: 1 – державка; 2 – переходник; 3 – режущая головка; 4 – смещенный винт; P – зажимная сила; T – торец

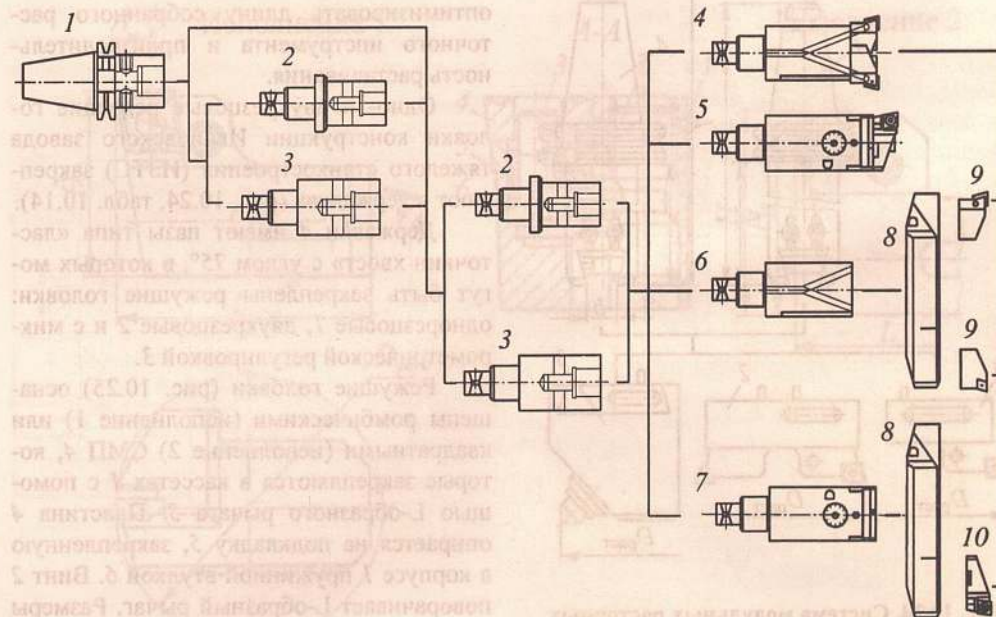


Рис. 10.22. Система модульных расточных инструментов «Пумори-СИЗ»

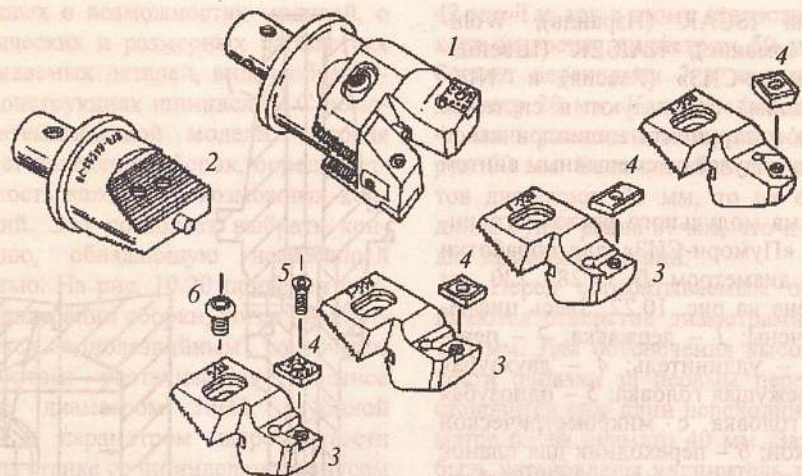


Рис. 10.23. Двухзубая расточная режущая головка

На рис. 10.23 обозначены: 1 – головка в сборе; 2 – корпус головки; 3 – режцовые вставки; 4 – СМП; 5 – винт крепления СМП; 6 – винт крепления вставок к корпусу 2 режущей головки.

Преимуществами модульных режущих головок являются возможность унификации инструментов в размерах инструментального хозяйства предприятия, а также упрощение технологии их изготовления.

Система головок с использованием удлинителей различной длины позволяет оптимизировать длину собранного расточного инструмента и производительность растачивания.

Одно- и двухрезцовые режущие головки конструкции Ивановского завода тяжелого станкостроения (ИЗТС) закрепляют в державках (рис. 10.24, табл. 10.14).

Державки 4 имеют пазы типа «ласточкин хвост» с углом  $75^\circ$ , в которых могут быть закреплены режущие головки: однорезцовые 1, двухрезцовые 2 и с микрометрической регулировкой 3.

Режущие головки (рис. 10.25) оснащены ромбическими (исполнение 1) или квадратными (исполнение 2) СМП 4, которые закрепляются в кассетах 1 с помощью L-образного рычага 3. Пластина 4 опирается на подкладку 5, закрепленную в корпусе 1 пружинной втулкой 6. Винт 2 поворачивает L-образный рычаг. Размеры головки приведены в табл. 10.15.

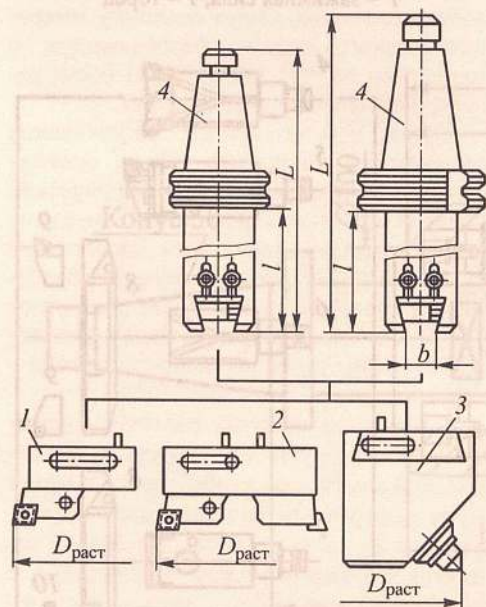


Рис. 10.24. Система модульных расточных инструментов конструкции ИЗТС

10.14. Размеры державок, мм (см. рис. 10.24)

Диаметр растачиваемых отверстий $D_{\text{раст}}$	$d$	$L$	$l$	$b$	Конус 7:24
40...63	38	250	156,6	24	40
63...100	60			32	
100...135	95	275	181,6	50	50
40...63	38	282	155	24	
63...100	60			265	
100...170	95	425	298,2	50	
		300	173,2		
170...240	125	425	298,2	50	
		300	173,2		
63...100	60	500	373,2	32	50
100...170	95	425	298,2	50	
		500	373,2		
170...240	125	425	298,2	50	
		500	373,2		

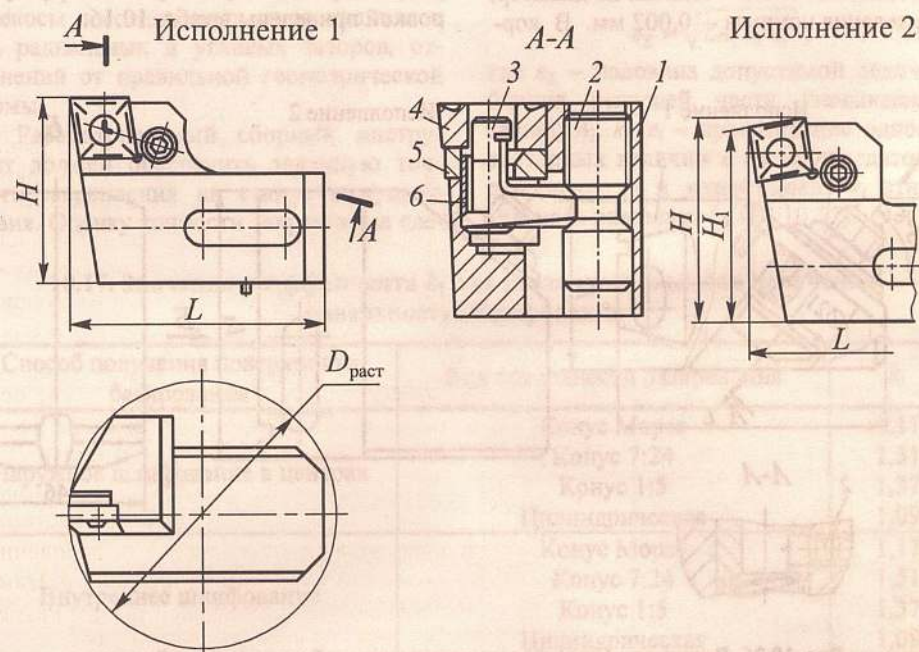


Рис. 10.25. Однорезцовая режущая головка

## 10.15. Размеры однорезцовых режущих головок, мм (см. рис. 10.25)

Исполнение	$D_{\text{раст}}$ однокассетной головки	Угол в плане, °	$L$	$H$	$H_1$
1	40...63	90	39	39,5	—
2		75			36,2
1	63...100	90	61,5	44,5	—
2		75			41,2
1	100...135	90	97,5	—	—
2		75			51,6
1	135...170	90	115	54,5	—
2		75			51,6
1	170...240	90	159	—	—
2		75			51,6

Режущая головка с микрометрической регулировкой (рис. 10.26) предназначена для чистового растачивания отверстий диаметром  $D_{\text{раст}} = 40...240$  мм. Цена деления лимба — 0,02 мм на диаметр; цена деления нониуса — 0,002 мм. В кор-

пусе 3 головки с помощью винтов 4 установлена резцовая вставка 1 со сменным напайным резцом. Вставка диаметром 8 мм закрепляется в кассете 1 винтом 2. Размеры головки с микрометрической регулировкой приведены в табл. 10.16.

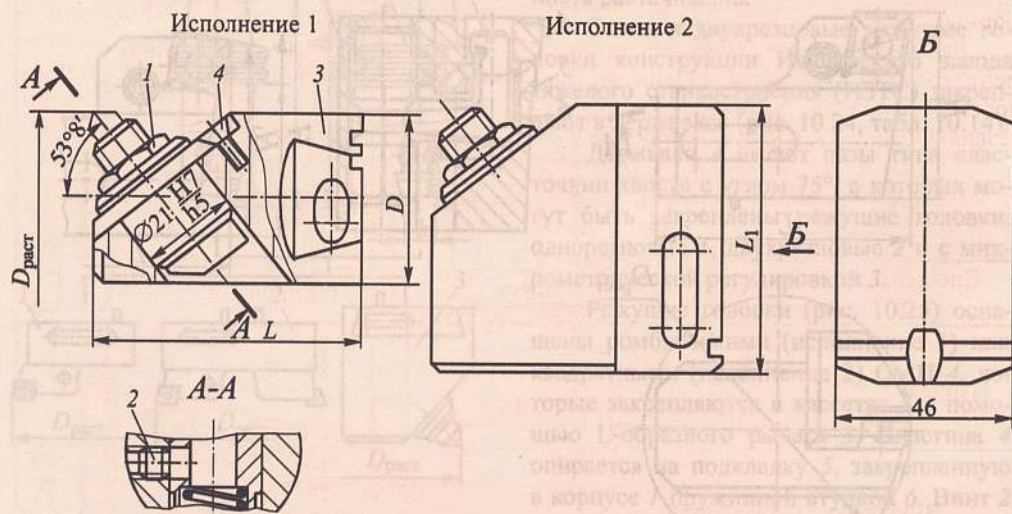


Рис. 10.26. Режущая головка с микрометрической регулировкой резца

## 10.16. Размеры режущих головок с микрометрической регулировкой, мм (см. рис. 10.26)

Исполнение	$D_{\text{раст}}$	$D$	$L$	$L_1$
1	40...63	38	65	—
	63...100	60	70	—
2	100...135	—	65	92
	135...170			126
	170...240			162

## 10.2. Расчет точности закрепления сборных инструментов

Точность обработки в автоматизированном производстве в значительной степени зависит от точности позиционирования вершины режущего резца относительно заготовки. При обработке вращающимся инструментом положение этой вершины определяется конструкцией и точностью изготовления присоединительных поверхностей инструмента. Источником погрешностей позиционирования вершины лезвия являются относительные биения присоединительных поверхностей, перекосы в соединениях из-за наличия в них радиальных и угловых зазоров, отклонений от правильной геометрической формы.

Рассматриваемый сборный инструмент должен обеспечить заданную точность закрепления на станке режущего лезвия. Оценка точности закрепления сле-

дует проводить теоретико-вероятностным методом, который позволяет учесть распределение отклонения линейных и угловых размеров от номинальных при их изготовлении и случайный характер составляющих погрешностей, таких, как смещения и перекосы осей при сборке державок, переходников, удлинителей и головок.

Угловые ошибки составляющих звеньев (перекосы осей) и векторные ошибки (параллельное смещение осей) суммируются путем проведения перекосов осей к векторному виду в плоскости замыкающего звена (биение оправки) через передаточные отношения:

$$e_{\Sigma} = \sqrt{\sum A_i^2 k_i^2 e_i^2}, \quad (10.1)$$

где  $e_{\Sigma}$  — половина допустимой величины биения режущей части (замыкающего звена);  $A_i$ ,  $k_i$ ,  $e_i$  — произведение одной из векторных величин  $e$  на ее передаточное отношение  $A$  и коэффициент  $k_i$  относительного рассеяния (табл. 10.17).

10.17. Значения коэффициента  $k_1$  для различных способов получения поверхностей базирования

Способ получения поверхности базирования	Вид поверхности базирования	$k_1$
Наружное шлифование в центрах	Конус Морзе	1,17
	Конус 7:24	1,51
	Конус 1:5	1,37
	Цилиндрическая	1,09
Внутреннее шлифование	Конус Морзе	1,17
	Конус 7:24	1,51
	Конус 1:5	1,37
	Цилиндрическая	1,09
Бесцентровое шлифование	Конус Морзе	1,03

Зависимости точности центрирования  $e_i$ ,  $\theta_i$  и коэффициенты контактной податливости от величины зазоров в соединениях приведены в табл. 10.18.

Повышенные требования предъявляются к жесткости закрепления инструмента. Производственные погрешности, вызываемые деформацией сборной точной оправки, могут составлять до 60% суммарной погрешности обработки. Контактная податливость в соединениях модулей сборных расточных инструментов определяет деформации в местах приложения сил резания. Контактные деформа-

ции зависят от следующих факторов: вида нагружения, величины и распределения давлений, зазоров, точности обработки, размеров и шероховатости сопрягаемых поверхностей и др. Перемещения в соединениях модулей вызывают существенные перемещения в точке приложения составляющей силы резания  $P_y$  на вылете  $l_i$  от начала стыка,

$$y_k = P_y \theta_i l_i^2, \quad (10.2)$$

где  $\theta_i$  – коэффициент контактной податливости  $i$ -го соединения,  $(\text{Н}\cdot\text{м})^{-1} \cdot 10^{-5}$ ;  $l_i$  – вылет оправки в  $i$ -м соединении, мм.

### 10.18. Зависимости $e_i$ и $\theta_i$ от зазоров $\Delta_i$ и $\alpha_i$ в соединениях

Поверхности базирования, образующие соединения	Вид зазора, размерность	Величина зазора в соединении	Величина $e_i$ на вылете 100 мм, мкм	Величина $\theta_i$ $(\text{Н}\cdot\text{м})^{-1} \cdot 10^{-5}$
Конус 7:24 № 40	Угловой, $\Delta\alpha_i, \text{с}$	0...10	0,0625 $\Delta\alpha_i$	0,0001+0,0525 $\Delta\alpha_i$
		10...15	0,0625+0,125( $\Delta\alpha_i - 10$ )	
		15...30	1,250+0,177( $\Delta\alpha_i - 15$ )	
		30...60	3,0+0,150( $\Delta\alpha_i - 30$ )	
Конус 7:24 № 50	Угловой, $\Delta\alpha_i, \text{с}$	0...10	0,0625	0,0002+0,0125 $\Delta\alpha_i$
		10...15	0,0625+0,125( $\Delta\alpha_i - 10$ )	
		15...30	1,250+0,177( $\Delta\alpha_i - 15$ )	
		30...60	3,0+0,150( $\Delta\alpha_i - 30$ )	
Цилиндрическая поверхность диаметром 20...40 мм	Радиальный $\Delta_i, \text{мкм}$	8...15	0,0017+0,189( $\Delta\alpha_i - 0,008$ )	0,0009+0,025 $\Delta\alpha_i$
		15...30	0,003+0,133( $\Delta\alpha_i - 0,015$ )	
		30...50	0,0026+0,085( $\Delta\alpha_i - 0,030$ )	
		50...100	0,0033+0,086( $\Delta\alpha_i - 0,05$ )	
Цилиндрическая поверхность диаметром 40...50 мм	Радиальный $\Delta_i, \text{мкм}$	15...25	0,001+0,22( $\Delta\alpha_i - 0,015$ )	0,0003+0,0125 $\Delta\alpha_i$
		25...45	0,0032+0,050( $\Delta\alpha_i - 0,025$ )	
		45...70	0,0042+0,056( $\Delta\alpha_i - 0,045$ )	
		70...100	0,0056+0,113( $\Delta\alpha_i - 0,07$ )	

По формуле (10.1) возможно рассчитать погрешность установки сборного инструмента с известными погрешностями изготовления модулей или, наоборот, установить требования к точности присоединительных поверхностей модулей, задавшись требованиями к точности установки сборного инструмента. В табл. 10.19 в качестве примера приведены значения допустимого биения и жесткости закрепления расточных оправок.

**Пример 1.** Расчет биения  $e_\Sigma$  сборной оправки длиной  $2l = 343$  мм, закрепленной в шпинделе станка (см. рис. 10.20). Биение конического отверстия шпинделя

станка класса точности II у торца составляет 8 мкм, на вылете 300 мм – 10 мкм. т.е. допустимый перекося равен 1 мкм на 300 мм длины.

Погрешность изготовления конических поверхностей конуса 50 конусностью 7:24 принимаем по степени точности АТ7 (ГОСТ 19860–93), что соответствует максимальной разнице углов внутреннего и наружного конусов  $\Delta\alpha_i = 32$  мкм. Этому зазору соответствует значение перекося  $e_1$  в коническом соединении, равное  $3,00 + 0,150(32 - 30) \approx 3,3$  мкм на вылете 100 мм (см. табл. 10.18). Данные расчета сведены в табл. 10.20.

$$2e_\Sigma = 2\sqrt{(1 \cdot 1,14 \cdot 1,1)^2 + (4 \cdot 1 \cdot 1,17)^2 + (3,3 \cdot 1,51 \cdot 3,43)^2} = 35,5 \text{ мкм.}$$

### 10.19. Допустимое биение $e_\Sigma$ расточных оправок после установки в шпинделе и допустимая жесткость их закрепления

Расточные оправки	Допустимое биение $e_\Sigma$ , мм	Минимально допустимая жесткость, Н/мкм
Для предварительной обработки диаметром, мм:		
20...80	0,020	6,54
80...180	0,030	9,09
Для чистовой обработки диаметром, мм:		
20...80	0,005	10,53
80...180	0,010	15,87

### 10.20. Данные расчета величины биения расточной оправки, закрепленной в шпинделе станка

Биение	Ошибка	$e_i$ , мкм	$k_1$	$A_i$
Шпинделя от перекося оси	Угловая	1/300	1,1	1,14
Конического отверстия шпинделя	Векторная	4	1,17	1
Расточной оправки от перекося при установке в конусе конусностью 7:24	Угловая	3,3/100	1,51	3,43

Примечания: 1. Через дробь приведена длина в мм, на которой измерено биение  $e_i$ .

2. Величина  $A_i$  определяется как отношение реальной длины сборной оправки к длине, на которой определяется биение  $e_i$ .

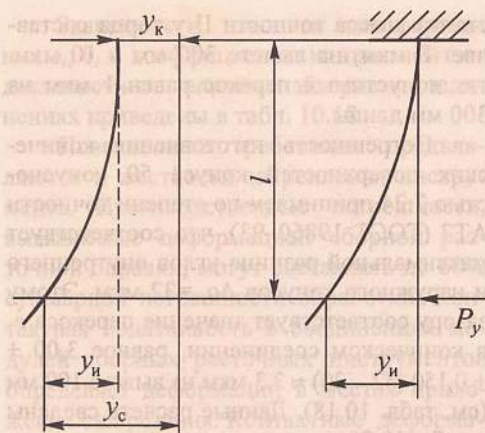


Рис. 10.27. Схема образования стрелы прогиба  $y_n$  совместно с контактными деформациями  $y_k$  в соединениях модулей сборной расточной оправки

Биеение  $2e_z$  расточной оправки составляет 0,035 мм на вылете 343 мм от торца шпинделя, что больше величины, указанной в табл. 10.19. Анализ размерной цепи показывает, что необходимо повысить точность изготовления конуса 7:24 для черновой обработки до степени точности АТ5, а для чистовой обработки — до степени точности АТ4 (ГОСТ 19860–93).

В результате действия силы тяжести, дисбаланса масс и сил резания инструмент деформируется. Деформация расточного инструмента регламентируется допустимой жесткостью, т.е. величиной, обратной величине деформации в точке приложения силы, отнесенной к величине этой силы. Минимально допустимая жесткость расточного инструмента приведена в табл. 10.19.

Суммарная деформация инструмента  $y_c$  равна сумме двух величин (рис. 10.27):

$$y_c = y_n + y_k, \quad (10.3)$$

где  $y_n$  — деформации в области режущей части от изгиба оправки;  $y_k$  — упругие перемещения в результате деформаций контактирующих поверхностей в местах соединений модулей (см. формулу (10.2)).

Стрелу прогиба (упругая деформация) консольной оправки в плоскости режущей кромки определяют по формуле:

$$y_n = \sum \frac{P_y l_i^3}{3EI_i}, \quad (10.4)$$

где  $P_y$  — составляющая силы резания, Н;  $l_i$  — вылет оправки одного диаметра, мм;  $E$  — модуль продольной упругости материала оправки,  $E = 2,1 \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup> — для закаленной углеродистой стали;  $I_i$  — момент инерции сечения тела оправки в пределах длины  $l_i$ ,  $I_i = 0,05$  — для круглого сечения.

**Пример 2.** Расчет перемещения режущей кромки в точке приложения составляющей силы резания  $P_y$  с учетом контактной податливости в коническом соединении сборная оправка—шпиндель и в цилиндрических соединениях модулей с обычными крепежными винтами сбоку (линейные размеры — см. рис. 10.20).

В рассматриваемом примере точность изготовления конуса 50 принимается равной степени АТ5. Модуль диаметром 20 мм соединяется с модулем диаметром 40 мм по цилиндрической посадке 20 Н7/g6, а модуль диаметром 40 мм с модулем диаметром 63 мм — по посадке 36 Н7/g6. Сила резания  $P_y = 20$  Н.

Подставляя эти данные в формулу (10.4), получаем:

$$y_n = \frac{20 \cdot 87^3}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^2 \cdot 0,05 \cdot 20^4} + \frac{20 \cdot 162^3}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^2 \cdot 0,05 \cdot 40^4} + \frac{20 \cdot 343^3}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^2 \cdot 0,05 \cdot 63^4} = 5,25 \text{ мкм.}$$

Суммарное перемещение  $y_k$  от контактных деформаций в цилиндрических соединениях находим по формуле:

$$y_k = 343^2 \theta_1 P + 180^2 \theta_2 P + 99^2 \theta_3 P. \quad (10.5)$$

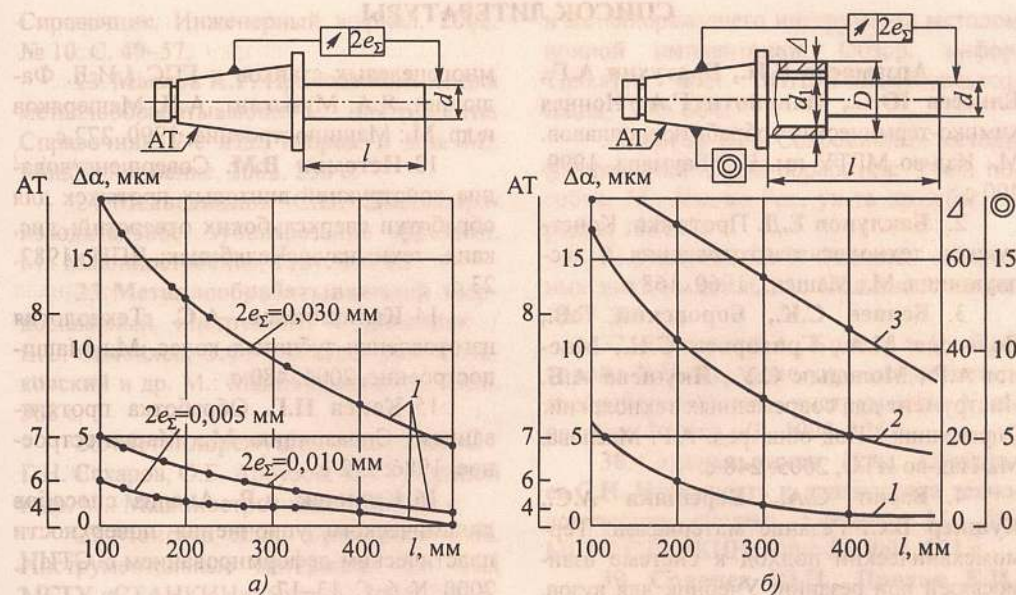


Рис. 10.28. Допуски на присоединительные поверхности расточных оправок в зависимости от их вылета  $l$ : а — цельная оправка; б — сборная оправка

Величины  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  определяются по табл. 10.18. Для конуса 50 угловой зазор  $\Delta\alpha_i = 12''$ , тогда  $\theta_1 = 0,0002 + 0,0125 \times \times 12 = 0,15$  (Н·м)<sup>-1</sup> · 10<sup>-5</sup>.

Для цилиндрического соединения диаметром 20 мм с зазором  $\Delta_i = 21$  мкм: по табл. 10.18 определяют, что  $\theta_2 = 0,526$  (Н·м)<sup>-1</sup> · 10<sup>-5</sup>, а для соединения диаметром 40 мм с зазором 37 мкм определяем, что  $\theta_3 = 0,463$  (Н·м)<sup>-1</sup> · 10<sup>-5</sup>.

Подставляя эти значения в формулу (10.5), получаем:

$$y_k = 20 (0,150 \cdot 343^2 \cdot 10^{-5} + 0,526 \cdot 180^2 \times \times 10^{-5} + 0,463 \cdot 99^2 \cdot 10^{-5}) = 7,82 \text{ мкм.}$$

Общая деформация  $y_{\text{сист}} = 13,07$  мкм; соответствующая жесткость 1,5 Н/мкм, что явно недостаточно даже для черновой обработки. Анализ допусков показывает, что при такой комбинации модулей необ-

ходимо устанавливать допуски на конусы 7:24 по степени точности АТ4, а цилиндрические соединения выполнять по посадкам Н6/g5. Такие требования в настоящее время выполняются всеми фирмами, выпускающими расточные инструменты.

На рис. 10.28 показан пример назначения основных допусков на присоединительные поверхности, в зависимости от вылета цельного и сборного расточных инструментов. Здесь обозначены: 1 — допуски АТ на угол конуса 7:24 и величину углового зазора  $\Delta\alpha_i$ ; 2 — допуски на радиальный зазор  $\Delta_i$  в цилиндрическом соединении; 3 — допуск на неконцентричность цилиндрического отверстия и конуса 7:24;  $2e_z$  — величина суммарного биеения, мм (замыкающее звено).



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арзамасов Б.Н., Братухин А.Г., Елисеев Ю.С., Панайоти Г.А. Ионная химико-термическая обработка сплавов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1999. 400 с.
2. Баклунов Е.Д. Протяжки. Конструкция, технология изготовления и эксплуатация. М.: Машгиз, 1960. 168 с.
3. Беляев С.К., Боровский Г.В., Волосова М.А., Григорьев С.Н., Маслов А.Р., Молодык С.У., Якушева А.Б. Инструмент для современных технологий: Справочник / Под общ. ред. А.Р. Маслова. М.: Изд-во ИТО, 2005. 248 с.
4. Васин С.А., Верещака А.С., Кушнер В.С. Резание материалов: Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании: Учебник для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 448 с.
5. Гаврилов Ю.В., Желудева Л.П., Булатов В.Я. Способ образования стружкоразделительных канавок протяжек. Пат. №2064375; зарегистр. 27.07.96.
6. Гаврилов Ю.В., Желудева Л.П., Булатов В.Я. Способ образования стружкоразделительных канавок протяжки. Пат. №2085344; зарегистр. 27.07.97.
7. Гаврилов Ю.В., Романко В.П. Способ устранения волнистости при обработке отверстий протягиванием. Пат. №2064374; зарегистр. 27.07.96.
8. Грановский Г.И., Панченко К.П. Фасонные резцы. М.: Машиностроение, 1975. 309 с.
9. Гуляев А.П., Малинкина К.А., Саверина С.М. Инструментальные стали: Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1975. 272 с.
10. Дарманчев С.К. Расчеты точности работы фасонных инструментов. М.-Л.: Машгиз, 1959. 141 с.
11. Егоров С.А. Электрофизические методы упрочнения поверхностей деталей машин и инструмента: Учеб. пособие. Иваново, 2001. 129 с.
12. Инструмент для станков с ЧПУ, многоцелевых станков и ГПС / И.Л. Фадюшин, Я.А. Музыкант, А.И. Мещеряков и др. М.: Машиностроение, 1990. 272 с.
13. Истомин В.М. Совершенствование конструкций винтовых протяжек для обработки сверхглубоких отверстий: дис. канд. техн. наук. Челябинск: ЧПИ, 1982. 23 с.
14. Калашников А.С. Технология изготовления зубчатых колес. М.: Машиностроение, 2004. 480 с.
15. Кацев П.Г. Обработка протягиванием: Справочник. М.: Машиностроение, 1986. 272 с.
16. Киричек А.В. Анализ способов динамического упрочнения поверхности пластическим деформированием // СТИН. 2000. № 6. С. 13–17.
17. Кирсанов С.В., Гречишников В.А., Схиртладзе А.Г., Кокарев В.И. Инструменты для обработки точных отверстий. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2005. 336 с.
18. Кирсанов С.В. Современные конструкции инструментов для сверления и растачивания глубоких отверстий // Справочник. Инженерный журнал. 2005. № 2. С. 46–53.
19. Клебанов Ю.Д., Григорьев С.Н. Концентрированные потоки энергии (КПЭ) в процессах обработки материалов: Учебник. М.: ИЦ МГТУ «СТАНКИН»; Янус-К, 2004. 224 с.
20. Кожевников Д.В., Гречишников В.А., Кирсанов С.В., Кокарев В.И., Схиртладзе А.Г. Режущий инструмент: Учебник для вузов / Под ред. С.В. Кирсанова. М.: Машиностроение, 2004. 215 с.
21. Лашнев С.И., Юликов М.И. Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ. М.: Машиностроение, 1975. 391 с.
22. Мальков О.В., Литвиненко А.В., Малькова Л.Д. Обзор конструкций комбинированных инструментов для изготовления отверстий сложного профиля, содержащих резьбовой участок //

Справочник. Инженерный журнал. 2002. № 10. С. 49–57.

23. Маслов А.Р. Приспособление для металлообрабатывающего инструмента: Справочник. 2-е изд., исправ. и доп. М.: Машиностроение, 2002. 256 с.

24. Медведицков С.Н. Высокопроизводительное зубонарезание фрезами. М.: Машиностроение, 1981. 105 с.

25. Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент: Справочник / В.С. Самойлов, Э.Ф. Эйхманс, В.А. Фальковский и др. М.: Машиностроение, 1988. 368 с.

26. Металлорежущие инструменты / Г.Н. Сахаров, О.Б. Арбузов, Ю.Л. Боровой и др. М.: Машиностроение, 1989. 328 с.

27. Моисеев В.Ф., Григорьев С.Н. Инструментальные материалы. М.: ИЦ МГТУ «СТАНКИН»; Янус-К, 2004. 248 с.

28. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др.; Под общ. ред. А.А. Панова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2004. 784 с.

29. Поляк М.С. Технология упрочнения: Технологические методы упрочнения. В 2 т. Т.1. М.: Машиностроение; Л. В. М. – СКРИПТ, 1995. 827 с.

30. Поляк М.С. Технология упрочнения: Технологические методы упрочнения. В 2 т. Т.2. М.: Машиностроение, Л. В. М. – СКРИПТ, 1995. 685 с.

31. Протяжки для обработки отверстий / Д.К. Маргулис, М.М. Тверской, В.Н. Ашихмин и др. М.: Машиностроение, 1986. 232 с.

32. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвердыми и керамическими материалами, и их применение: Справочник / В.П. Жедь, Г.В. Боровский, А.Я. Музыкант, Г.М. Ипполитов. М.: Машиностроение, 1987. 320 с.

33. Режущий инструмент: Альбом: Ч.1. / Под ред. В.А. Гречишникова. М.: Изд-во СТАНКИН, 1996. 348 с.

34. Резников Л.А., Резникова Н.П., Савватимова И.Б. Повышение эксплуатационных характеристик деталей машин

и металлорежущего инструмента методом ионной имплантации: Обзор. инфор. Тольятти: Фил. ЦНИИТЭИавтосельхозмаша, 1990. 66 с.

35. Рогов В.А. Современные методы физико-химической обработки: Учеб. пособие. М.: Изд-во Рос. ун-та дружбы народов, 1997. 86 с.

36. Романов В.Ф. Расчеты зуборезных инструментов. М.: Машиностроение, 1969. 256 с.

37. Рыжкин А.А., Бровер Г.И., Пустовойт В.Н. Лазерное упрочнение металлообрабатывающего инструмента: Учеб. пособие. Ростов н/Д, 1998. 125 с.

38. Синопальников В.А., Григорьев С.Н. Надежность и диагностика технологических систем: Учебник. М.: ИЦ МГТУ СТАНКИН; Янус-К, 2003. 331 с.

39. Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И., Войткун Ф. Материаловедение: Учеб. для вузов по металлург., машиностроит. и общетехн. спец. / Под общ. ред. Ю.П. Солнцева. М.: МИСИС, 1999. 600 с.

40. Составной режущий инструмент / К.П. Имшенник, Ю.В. Коротков, И.Н. Иванов, Н.И. Фомичев.; Под. общ. ред. К.П. Имшенника. М.: Машиностроение, 1995. 208 с.

41. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др.; Под общ. ред. И.А. Ординарцева. Л.: Машиностроение, 1987. 846 с.

42. Шатин В.П., Шатин Ю.В. Справочник конструктора-инструментальщика. М.: Машиностроение, 1975. 456 с.

43. Щеголев А.В. Конструирование протяжек. М.: Машгиз, 1960. 352 с.

44. Якухин В.Г. Оптимальная технология изготовления резьб. М.: Машиностроение, 1985. 184 с.

45. Greyer K., Hintze W., Müller M. Schnittstoffe zur Trockenbearbeitung // Werkstatt und Betrieb. 1997. Bd. 130. № 6. S. 420–425.

46. König W., Klocke F. Fertigungsverfahren: Drehen, Fräsen, Bohren. 7. Korrigierte Auflage. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2002. 409 с.

**Баранчиков Василий Иванович, Боровский Георгий Владиславович, Гаврилов Юрий Викторович, Гречишников Владимир Андреевич, Григорьев Сергей Николаевич, Иванов Ювеналий Иванович, Кирсанов Георгий Николаевич, Кирсанов Сергей Васильевич, Кокарев Владимир Иванович, Кравченко Борис Александрович, Круцило Виталий Григорьевич, Лукина Светлана Валентиновна, Маслов Андрей Руффович, Нерубай Марк Семенович, Николаев Лев Владимирович, Плешивцев Виктор Васильевич, Схиртладзе Александр Георгиевич**

## **СПРАВОЧНИК КОНСТРУКТОРА-ИНСТРУМЕНТАЛЬЩИКА**

Издание второе, переработанное и дополненное

Под ред. *В.А. Гречишникова* и *С.В. Кирсанова*

Лицензия ИД № 05672 от 22.08.2001 г.

Редактор *И.В. Синцова*

Художественный редактор *Т.Н. Галицына*

Корректор *М.Я. Барская*

Инженер по компьютерному макетированию *Н.И. Смольянина*

Сдано в набор 30.01.2006 г. Подписано в печать 07.08.2006 г. Формат 70 × 100 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать офсетная

Усл. печ. л. 44,2. Уч.-изд. л. 42,7.

Тираж 2000 экз. Заказ № 4177

Ордена Трудового Красного Знамени ОАО "Издательство «Машиностроение»",  
107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Оригинал-макет изготовлен в ООО "Издательство Машиностроение-1"

Отпечатано в полном соответствии с качеством  
предоставленного оригинал-макета в ГУП ППП "Типография "Наука" РАН  
121099, г. Москва, Шубинский пер., 6

630-00

