

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ,
МОЛОДЕЖИ И СПОРТА УКРАИНЫ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
"ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ"

*Кафедра интегрированных технологий машиностроения
им. М.Ф.Семко*

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

**"РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ И ИНСТРУМЕНТАЛЬ-
НОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ"**

Лектор:

доц. Островерх Е.В.

Харьков-2011

Содержание

Введение	3
1. Классификация инструментов.....	5
2. Требования к инструментам	6
3. Основные принципы конструирования инструментов	8
3.1. Цели и задачи конструирования	8
3.2. Рабочие и присоединительные части инструмента.....	8
3.3. Крепление инструментов на станках	9
3.4. Простота и технологичность конструкций	9
3.5. Рабочий чертеж инструмента	10
4. Материалы для изготовления инструментов	11
4.1. Углеродистые инструментальные стали	14
4.2. Легированные инструментальные стали	14
4.3. Быстрорежущие стали.....	14
4.4. Твердые сплавы	15
4.5. Минералокерамика	16
4.6. Алмазы.....	16
4.7. Синтетические материалы	17
4.8. Перспективы совершенствования и использования инструментальных материалов.....	17
5. Токарные резцы	18
5.1. Назначение и классификация	18
5.2. Конструктивные элементы и геометрия токарных резцов	20
6. Фасонные резцы.....	21
6.1. Назначение и классификация	23
6.2. Геометрия фасонных резцов.....	23
6.3. Конструктивные элементы фасонных резцов и их крепление на.....	24
6.4. Профилирование фасонных резцов	26
6.5. Аналитический расчет профиля призматических и круглых фасонных резцов	26
7. Протяжки	30
7.1. Назначение и классификация	30
7.2. Конструктивные элементы протяжки для отверстия.....	30
7.3. Особенности конструкций протяжек.....	34
8. Фрезы	36
8.1. Назначение и классификация	36
8.2. Конструктивные элементы и геометрические параметры фрез.....	36
8.3. Конструктивные особенности разных типов фрез	38
9. Фасонные фрезы	39
9.1. Острозаточенные фасонные фрезы.....	39
9.2. Затылованные фасонные фрезы	40
9.3. Затылование. Кривые затылования. Величина затылования	40
9.4. Задние углы затылованной фрезы	41
9.5. Двойное затылование	43
9.6. Особенности конструирования фасонных затылованных фрез.....	43
10. Инструменты для обработки отверстий	47
10.1. Основные типы сверл.....	47
10.2. Сверла для глубоких отверстий	48
10.3. Назначение и основные типы зенкеров.....	48
10.4. Назначение и особенности разверток.....	51
11. Резьбонарезные инструменты	53
11.1. Резьбовые резцы и гребенки.....	53

11.2. Метчики	55
11.3. Резьбонарезные фрезы	59
11.4. Резьбонакатные инструменты	59
12. Зуборезные инструменты	61
12.1. Дисковые модульные фрезы.....	62
12.2. Пальцевые модульные фрезы.....	63
12.3. Зуборезные гребенки.....	63
12.4. Червячные фрезы.....	66
12.4.1. Винтовые поверхности, их образование	66
12.4.2. Профилирование червячных фрез	67
12.4.3. Конструкция и геометрия червячных фрез.....	69
12.5. Фрезы для червячных зубчатых колес	71
12.6. Долбяки	72
12.6.1. Принципы конструирования долбяка.....	75
12.6.2. Особенности работы долбяка	76
12.6.3. Косозубые долбяки.....	78
12.7. Шеверы	78
12.8. Инструменты для конических зубчатых колес.....	80
13. Инструменты, работающие методом обкатки для неэвольвентных профилей.....	83
13.1. Червячная шлицевая фреза	85
14. Инструменты для автоматизированного производства и станков с программным управлением	89
14.1. Методы повышения стойкости и производительности инструментов	89
14.2. Обеспечение регулировки и замены инструмента	90
14.3. Формирование и отвод стружки	90
14.4. Обеспечение стабильности размеров	94
Литература	95

Введение

В настоящем курсе рассматриваются основные металлорежущие инструменты, вопросы их расчета и конструирования.

Из всего многообразия инструментов речь пойдет только о металлорежущих инструментах для обработки металлов на металлорежущих станках. Эти инструменты представляют собой часть станка, непосредственно обеспечивающую получение нужной формы и размеров обрабатываемой детали.

История возникновения и развития металлорежущих инструментов неотделима от истории возникновения и развития машиностроения и металлообработки.

Особенно интенсивное развитие вопросы расчета и конструирования металлорежущих инструментов получили в XX веке. С одной стороны это связано с бурным развитием машиностроительного производства и со все возрастающими его потребностями в точном и производительном инструменте, с другой - с развитием науки о процессе резания металлов.

Инструментальное, производство развивается по двум основным направлениям:

- производство стандартного инструмента на специализированных заводах (фирмах);
- производство специального инструмента в инструментальных цехах металлообрабатывающих заводов.

О том, насколько сложным является обеспечение инструментом современного производства, говорит тот факт, что для изготовления автомобиля требуется около 40 тысяч наименований инструментов. Инструментальное производство страны одна из наиболее современных отраслей и характеризуется следующими особенностями:

- использование прогрессивных технологических процессов;
- использование передовых методов организации труда;
- комплексная механизация и автоматизация производства;
- совершенствование методов контроля.

Успешное развитие инструментального производства невозможно без серьезного научного обеспечения. Инструмент - достаточно сложный научно-технический объект, включающий в сферу своих интересов не только такие дисциплины как технология машиностроения, металлорежущие станки и теория резания, но и математику, физику, термодинамику, металловедение, теорию машин и механизмов, ЭВМ и целый ряд других научных дисциплин. Важной особенностью инструмента является и то, что режущая часть его состоит из специфических инструментальных материалов, обладающих особыми физико-механическими свойствами.

Инструментальщики страны успешно решают основную задачу инструментального производства - полное удовлетворение потребностей промышленности в инструменте. Основные направления для решения этой задачи следующие

- совершенствование производства на существующих инструментальных предприятиях;
- развитие и укрепление инструментальной базы заводов;
- улучшение качества изготавливаемого инструмента;
- создание новых, более эффективных конструкций инструментов;
- создание новых совершенных инструментальных материалов;
- улучшение эксплуатации инструмента, рациональное его использование.

1. Классификация инструментов

Классификация металлорежущих инструментов сложна. Это объясняется большим разнообразием их конструкций, видов обработки, а также использованием для обработки разных поверхностей инструментов одного наименования. Так резцы применяются для точения наружной поверхности, для нарезания резьбы, для обработки отверстий, для строгания зубьев зубчатых колес. Отверстия могут быть обработаны такими разнородными инструментами как сверло и протяжка. В то же время, помимо классического использования инструментов на металлорежущих станках, к металлорежущим инструментам следует отнести штампы для холодной штамповки и электроды для обработки металлов на электроэрозионных станках. Все это очень усложняет классификацию, поэтому с практической точки зрения, для достаточно четкого представления об основных, наиболее распространенных инструментах, в основу ее положены два принципа:

- специфические обрабатываемые поверхности, наиболее распространенные в деталях машин, механизмов и приборов;
- конструкция наиболее часто применяемых инструментов.

Несмотря на определенную условность такой классификации, она позволяет в достаточно полном объеме представить металлорежущий инструмент во всем его многообразии.

Основными группами в такой классификации являются:

- инструменты для обработки отверстий;
- инструменты для образования резьбы;
- инструменты для зубонарезания;
- инструменты для обработки неэвольвентных профилей методом обкатки.

Все лезвийные инструменты, не вошедшие в эти четыре группы, объединены в группу инструментов общего назначения.

Отдельные группы образуют такие специфические инструменты как:

- абразивные инструменты;
- алмазные инструменты.

В каждой из этих групп инструменты классифицируются по конструкции: резцы, фрезы, сверла, развертки, метчики, долбяки и так далее (рис. 1).

Все это разнообразие видов и конструкций инструментов вызывается различными требованиями к инструменту, разнообразными формами и размерами обрабатываемых деталей, различными типами металлорежущих станков, особенностями производства. Рациональное использование инструмента в конкретных производственных условиях позволяет повысить его эффективность, увеличить производительность труда.

Металлорежущие инструменты

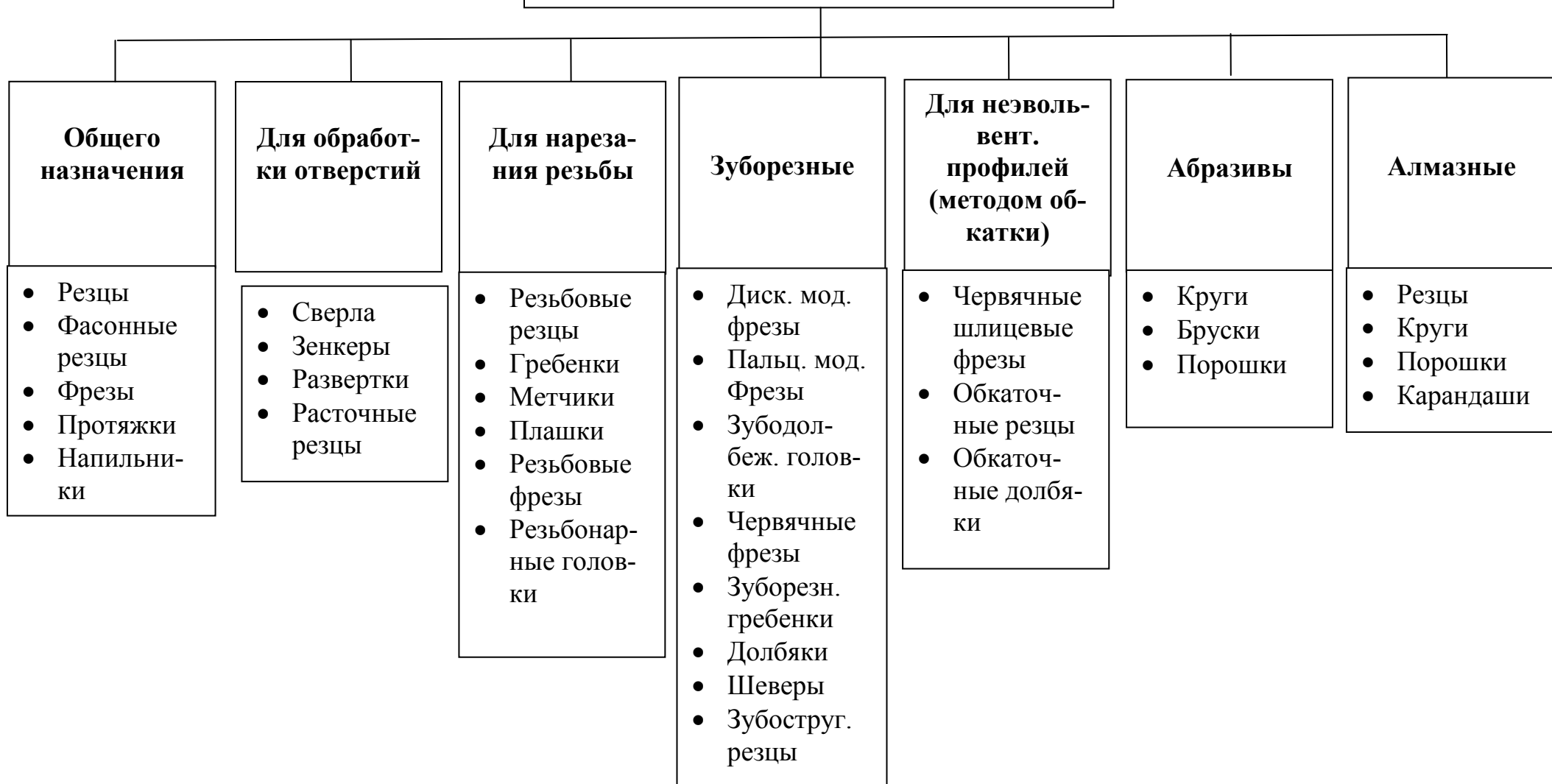


Рис. 1

2. Требования к инструментам

Каждый инструмент в процессе резания металла должен обеспечивать решение основной задачи - качественная и производительная обработка детали, поэтому к инструментам предъявляются следующие основные требования:

- обеспечение геометрической формы детали;
- точность выполняемых размеров;
- чистота обрабатываемой поверхности;
- производительность;
- стойкость и размерная стойкость;
- экономия инструментальных материалов;
- технологичность конструкции;
- экономичность.

Подчас выполнение всех этих требований является сложной или невозможной задачей. Тогда в каждом конкретном случае приходится отдавать предпочтение тем или иным из них.

Качество инструментов регламентируется государственными стандартами, включающими в себя технические условия на приемку инструмента при его изготовлении. В технических условиях указываются основные параметры инструмента, требования к внешнему виду, чистоте отделки, к инструментальному материалу, к термической обработке, наконец, к размерам и допускам на них, а также к испытаниям и условиям приемки. Важными являются требования, предъявляемые к инструменту в процессе эксплуатации: соблюдение правильных геометрических параметров режущих элементов и остроты режущих кромок, применение оптимальных режимов резания, правильная установка и закрепление инструмента на станке, соответствующая подготовка детали к обработке, уход за инструментом - своевременная его переточка и правильное хранение.

3. Основные принципы конструирования инструментов

3.1. Цели и задачи конструирования

Цель конструирования инструмента заключается в выборе типа инструмента, определении всех его размеров путем расчетов и графических построений, в составлении рабочего чертежа и технических условий, по которым инструмент может быть изготовлен.

При этом задачи конструктора сводятся к следующему:

- произвести анализ сил резания, действующих на режущие элементы инструмента, определить оптимальную геометрию режущих зубьев, подобрать подходящий инструментальный материал, выбрать форму рабочей части, обеспечивающей свободное отделение стружки;
- выполнить необходимые расчеты профиля зубьев сложного инструмента;
- определить наиболее целесообразные габаритные размеры рабочей и присоединительной части инструмента;
- произвести расчеты кинематических параметров инструмента;
- рассчитать рабочую и присоединительную часть инструмента на прочность, жесткость, надежность;
- составить рабочий чертеж инструмента, технические условия на его изготовление, определить допуски на все размеры, обеспечивающие точность работы инструмента.

В большинстве случаев работа конструктора упрощается, если инструмент конструируют для определенных условий работы с точно заданными условиями резания и данными об обрабатываемой детали.

3.2. Рабочие и присоединительные части инструмента

Каждый из инструментов, независимо от вида и назначения, имеет общие части: рабочую и присоединительную.

Рабочая часть - непосредственно осуществляет снятие стружки и для этого снабжена одной или несколькими режущими кромками. У многих инструментов рабочую часть можно разделить на режущую, выполняющую основную работу по снятию стружки, и калибрующую, предназначенную для окончательного формирования размеров обрабатываемой поверхности и зачистки её для обеспечения соответствующей шероховатости.

Рабочая часть инструмента является основной его частью, поэтому определение её формы и размеров составляет основную задачу при расчете и конструировании инструментов.

Присоединительная часть - предназначена для передачи усилий, развиваемых станком, к рабочей части инструмента. С помощью этой части ин-

струмент присоединяется - устанавливается и закрепляется к исполнительным органам станка (шпиндель, суппорт, резцедержатель и т.д.).

Конструкции, как рабочих частей, так и присоединительных весьма разнообразны. Целесообразно стремиться к сокращению этого разнообразия. Для этого осуществляется стандартизация инструментов, особенно важная для присоединительных частей, так как от их форм и размеров зависят формы и размеры гнезд в исполнительных органах станков. Поэтому при конструировании инструментов необходимо пользоваться существующими стандартами на различные виды инструментов.

3.3. Крепление инструментов на станках

Все виды соединения инструмента со станком можно разделить на три группы:

- жесткие соединения, передающие усилия шпонками, штифтами или какими-либо выступами;
- фрикционные соединения, передающие усилия силами трения в местах стыка между соединительными частями инструмента и станка;
- комбинированные соединения, совмещающие жесткие и фрикционные элементы».

Важным условием при конструировании присоединительной части является легкая и быстрая установка инструмента на станке.

3.4. Простота и технологичность конструкций

Конструкция инструмента должна быть по возможности простой, лишённой каких-либо излишеств, не вызываемых крайней необходимостью.

Одновременно конструкция инструмента должна быть технологичной, то есть сравнительно простой в изготовлении; учитывающей возможности изготовления инструмента в конкретных условиях.

Важно учесть особенности материалов, из которых будет изготавливаться инструмент и методы их обработки, технологические и метрологические возможности оборудования.

В сборных инструментах необходимо предусмотреть особенности изготовления каждой детали.

Конструктор должен ясно представлять технологию изготовления данного инструмента, в том числе специфические особенности инструментального производства, так что при конструировании инструмента все эти вопросы решаются комплексно. Особо следует подчеркнуть важность их комплексного решения в условиях индивидуального производства в инструментальных цехах заводов.

3.5. Рабочий чертеж инструмента

После необходимых расчетов выполняется рабочий чертеж инструмента. Основные требования к чертежу регламентируются стандартами.

При вычерчивании инструмента существует ряд условностей, упрощающих графическую работу:

- не всегда изображаются стружечные канавки (метчики, развертки, фрезы);
- вычерчиваются обычно только 2-3 зуба у многозубых инструментов;
- винтовые линии на чертежах заменяют прямыми;
- профиль инструмента обычно вычерчивается отдельно в увеличенном масштабе;
- сечения для обозначения величины передних и задних углов выполняются частично.

На чертеже необходимо указать все размеры. Если это однотипные инструменты (комплект метчиков, нормали резцов и т.п.), на чертеже проставляются буквенные обозначения размеров, а числовые значения их даются в таблицах.

Обязательно должна быть указана шероховатость поверхностей инструмента, особенно важно указать ее на важнейших поверхностях; ими являются:

- режущие поверхности зуба;
- опорные, установочные и контрольные поверхности.

На рабочем чертеже должны быть указаны технические требования к данному инструменту:

- внешний вид;
- допуски на размеры, биение основных поверхностей;
- обозначение материала инструмента;
- твердость отдельных частей инструмента;
- описание маркировки, что маркируется и на каком месте инструмента.

Технические требования к инструментам содержатся в технических условиях, которые на большинство инструментов стандартизованы.

Можно сказать, что стандартизация инструментов занимает важное место и служит основой повышения качества инструмента и эффективности его использования.

4. Материалы для изготовления инструментов

Рабочая часть металлорежущих инструментов изготавливается из разных материалов.

Выбор материала определяется рядом факторов, основными из которых являются:

- конструкция инструмента;
- технология изготовления инструмента;
- эффективность использования инструмента.

Все инструментальные материалы подразделяются на несколько групп (рис.2).

При выборе инструментальных материалов необходимо учитывать их основные свойства: температуростойкость (тепlostойкость), износостойкость, поведение при термической обработке (деформация, прокаливаемость, склонность к обезуглероживанию), механические свойства, обрабатываемость, стоимость.

Температуростойкость - свойство инструментального материала сохранять достаточно высокую твердость при нагреве во время работы инструмента в течение периода стойкости. Высокая температуростойкость позволяет обеспечивать производительную работу инструмента.

Износостойкость - способность режущей кромки сопротивляться истиранию при резании.

Поведение при термической обработке характеризуется несколькими факторами:

- деформация, то есть изменение формы и размеров инструментов при термической обработке;
- прокаливаемость - способность воспринимать закалку на все сечение инструмента или только на определенную глубину;
- склонность к обезуглероживанию, к уменьшению содержания углерода на поверхности, ведущему к снижению твердости поверхностного слоя.

Механические свойства - определяют способность инструментальных материалов сопротивляться силовым нагрузкам. Основной характеристикой является твердость.

Обрабатываемость - характеризует возможность производительной и качественной обработки инструментальных материалов в холодном состоянии (резание, шлифование) и в горячем (ковка, штамповка, прокатка).

Стоимость всех инструментальных материалов достаточно высока, это необходимо учитывать при выборе их для конкретного инструмента.

В таблице (рис.3) приведены основные данные о свойствах инструментальных материалов.

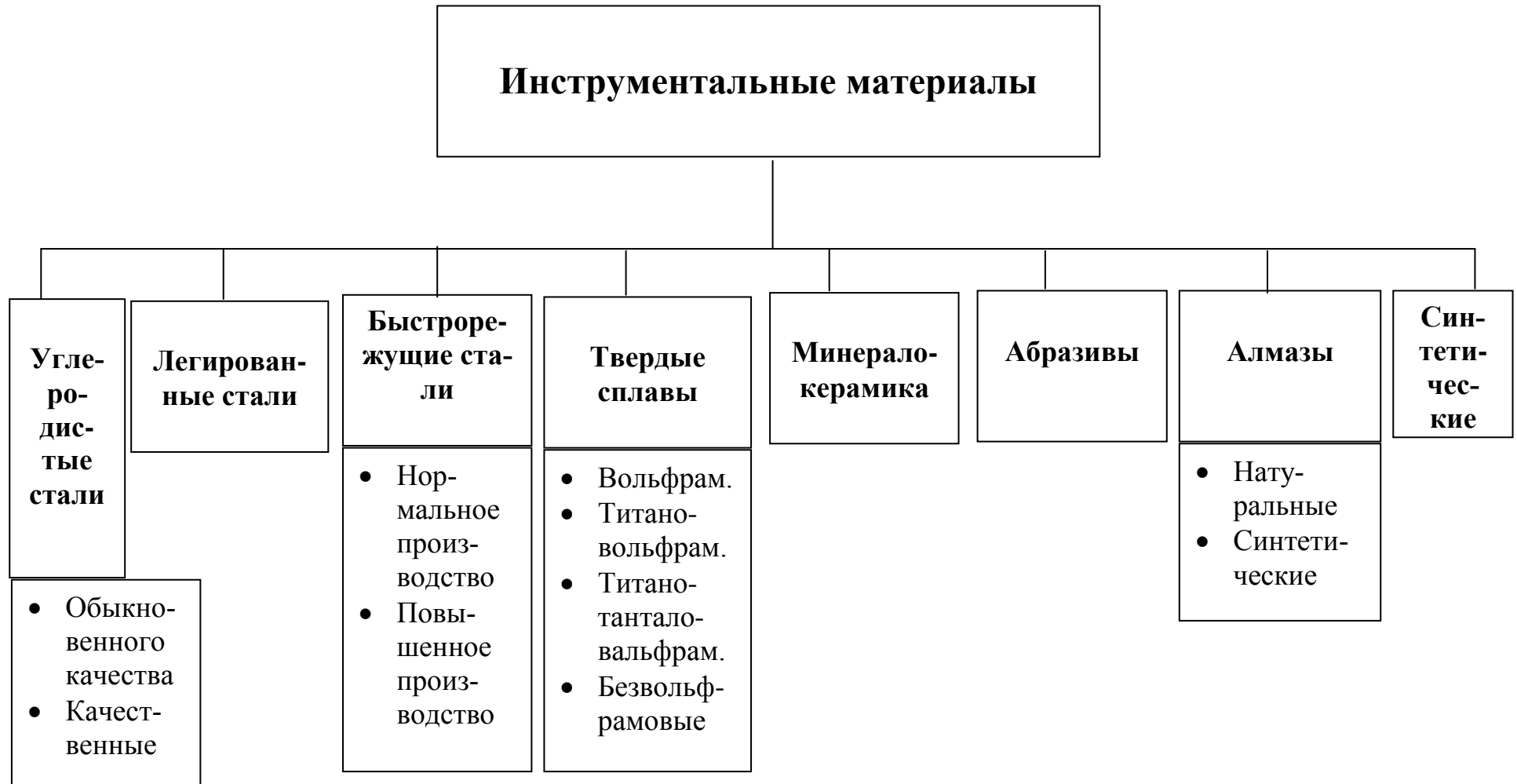


Рис. 2

Наименование материала	Температуростойкость в градусах С	Износостойкость	Поведение при термообработке			Твердость	Обрабатываемость		Допустимая скорость резания, м/мин
			Деформация	Прокаливаемость	Обезуглероживание		Холодное состояние	Горячее состояние	
Углеродистые стали	200-250	Удовлетворительная	Большая	Удовлетворительная	Незначительное	HRC ₃ 56...58	Хорошее	Хорошее	3-5
Легированные стали	250-350	Повышенная	Малая	Хорошая	Незначительное	HRC ₃ 63...65	Хорошее	Хорошее	10-15
Быстрорежущие стали	610-670	Высокая	Малая	Хорошая	Большое	HRC ₃ 63...67	Удовлетворительное	Удовлетворительное	30-40
Твердые сплавы	750-1000	Высокая				HRA ₃ 88...92	Удовлетворительное		150-300
Минералокерамика	1000-1200	Высокая				HRA ₃ 91...95	Удовлетворительное		200-500
Алмаз	800-850	Очень высокая				До 100000 МПа			500-3000
Синтетические материалы (эльбор)	1200-1500	Очень высокая				До 80000 МПа			150-5000

Рис. 3

4.1. Углеродистые инструментальные стали

Стали обыкновенного качества марок У7-У13 и высококачественные марок У7А-У13А содержат 0,7-1,3% углерода. Буква А в маркировке свидетельствует о максимально допустимом содержании вредных примесей - серы и фосфора – до 0,03% сообщающих стали красноломкость и хладноломкость.

Применяются углеродистые инструментальные стали сравнительно редко и только для ручных и ударных инструментов, а также для рабочих элементов (матрицы и пуансоны) штампов для холодной штамповки.

4.2. Легированные инструментальные стали

Режущие свойства их выше, чем углеродистых. Основными легирующими элементами служат хром, ванадий, молибден, марганец, кремний и вольфрам. Наибольшее распространение получили следующие марки сталей: 9ХС, ХВГ, Х12, Х12Ф, Х12М, ХГС, ХГСВФ.

Применяются легированные инструментальные стали для ручных и машинных (работающих с небольшими скоростями) инструментов, для накатных инструментов и для рабочих элементов штампов.

4.3. Быстрорежущие стали

Эти стали получили широкое распространение в промышленности для изготовления металлорежущих инструментов.

Быстрорежущие стали делятся на две подгруппы:

- нормальной производительности марок Р9, Р12, Р18, Р6М5, Р6М3, которые применяются для инструментов, обрабатывающих обычные конструкционные стали;
- повышенной производительности марок Р9К5, Р9К10, Р14Ф4, Р10Ф5К5, Р9М4К8, Р6М5К5, применяющиеся для инструментов, обрабатывающих стали аустенитного класса (нержавеющие, жаропрочные и т.п.).

Основным легирующим элементом быстрорежущих сталей является вольфрам, помимо него в состав сталей могут входить молибден, ванадий, кобальт.

Быстрорежущие стали характеризуются сложностью термической обработки (ступенчатый нагрев под закалку, высокая температура нагрева при малом допустимом интервале, необходимость защитной атмосферы, многократный отпуск).

Повышения режущих свойств быстрорежущих сталей можно добиться рациональными режимами термической обработки, поверхностным упрочнением (хромирование, цианирование, сульфидирование и др.), снижением карбидной неоднородности, пластическим деформированием.

Все более распространенными методами повышения износостойкости становятся покрытия нитридами титана (TiN). Используются многослойные покрытия.

Перспективным методом является получение быстрорежущих сталей методом порошковой металлургии (марки 3B20K20X4, B16M4K16X4H2 с HRC67...69 и температуростойкостью до 750°C).

4.4. Твердые сплавы

Твердые сплавы применяются в виде пластинок разной формы, полученных методами порошковой металлургии спеканием карбидов вольфрама, титана и тантала, с кобальтом или никелем и молибденом.

Существуют четыре группы твердых сплавов:

- вольфрамовые (однокарбидные): BK2 (98%WC + 2% Co). BK3, BK4B, BK6M, BK8, BK8B, BK10 и др.;
- титановольфрамовые (двухкарбидные): T5KI2B (5%TiC + 83%WC + 12% Co), T5KI0, T14K8, T15K6, T30K4 и др.;
- титанотанталовольфрамовые (трехкарбидные): TT7KI2, TT7KI5, TT10K8B (3%TiC + 7%(TaC + NeC) + 82%WC + + 8% Co);
- безвольфрамовые на основе карбидов титана со связкой из никеля и молибдена: MHT (70%Ti C + 16%Ni + 5% Mo) и KHT (74%TiCN + 19%Ni + 7% Mo).

Сплавы первой группы применяются для обработки чугуна, пластмасс, цветных металлов и сплавов. Сплавы второй группы - для обработки стали.

С увеличением содержания кобальта прочность сплавов повышается, а износостойкость уменьшается. По прочности первое место занимают трехкарбидные сплавы, затем идут однокарбидные и двухкарбидные.

Режущие свойства твердых сплавов зависят от зернистости и структуры. Величина зерен карбидов - 0,5-1,0 мкм. Мелкозернистые сплавы BK6M, особомелкозернистые BK10-OM, а также крупнозернистые с особой структурой T5KI2B, BK4B прочнее, чем обычные сплавы и применяются для обработки труднообрабатываемых материалов и при работе с ударной нагрузкой.

При изготовлении цельного твердосплавного инструмента механическую обработку его резанием ведут перед окончательным спеканием (в таком состоянии он представляет графитообразный материал, называемый пластифицированным твердым сплавом). Определяя размеры заготовки, необходимо учитывать большую усадку твердого сплава (до 35%) при окончательном спекании.

Твердые сплавы являются наиболее перспективным инструментальным материалом почти для всех видов инструментов. При конструировании и использовании инструментов целесообразно стремиться применять твердые сплавы.

Ведущие зарубежные фирмы (Sandvik Coromant) используют международную систему маркировки твердых сплавов, связывая её с рекомендациями по обработке конкретных материалов, определёнными видами обработки, формой пластин и оптимальными режимами резания.

Приняты следующие обозначения:

P (синий цвет) – для обработки стали;

M (желтый цвет) – для обработки нержавеющей стали;

K (красный цвет) – для обработки чугуна;

N (зелёный цвет) – для обработки алюминия и цветных металлов;

S (коричневый цвет) – для обработки жаропрочных и титановых сплавов;

H (серый цвет) – для обработки материалов высокой твердости.

Наряду с буквой имеются цифровые обозначения: P01, P10 ... P50; первое из которых характеризует наибольшую износостойкость, последнее – прочность.

Характерными является сервисное обслуживание фирмой конкретных заказчиков по комплексному обеспечению оптимальных условий обработки резанием.

4.5. Минералокерамика

Применяется в виде пластин, основу которых составляет технический глинозем (Al_2O_3). Достоинства керамики: высокая твердость, теплостойкость и износоустойчивость, дешевизна. Недостаток - хрупкость.

Марки минералокерамических пластин ЦМ332, белая керамика - ВШ, черная керамика В-3 (60% Al_2O_3 + 40% карбиды тугоплавких металлов). В качестве добавок к керамике используют карбиды титана, вольфрама, молибдена. Такие материалы получили название - керметы.

4.6. Алмазы

Алмазные инструменты широко применяются в металлообработке: алмазные резцы для чистовой обработки цветных металлов и сплавов и неметаллических материалов, а также алмазные порошки для абразивных инструментов. Широко применяется алмаз в виде специальных карандашей для правки абразивных шлифовальных кругов.

Алмаз - самый твердый инструментальный материал (в 4-5 раз тверже твердого сплава), однако он хрупок и дорог.

Натуральные (естественные) алмазы применяются для металлообработки редко, наиболее распространены в настоящее время инструменты из синтетического алмаза, полученного из графита в условиях высоких температур и давления (до 2000°C и 30-40 тысяч атмосфер).

Вместо однокристалльных алмазов обычно лезвийные инструменты оснащаются поликристаллическими алмазами - спеченный мелкий алмазный порошок в виде блока, (цилиндр диаметром 3-5 мм и длиной 5-8 мм).

4.7. Синтетические материалы

Основой их служит синтетический сверхтвердый материал - эльбор, состоящий из кубического нитрида бора (43,6% бора + 56,3% азота), имеющего кубическую решетку.

Эльбор используют в виде порошка для изготовления абразивного инструмента и доводочных паст, а также в виде поликристаллических блоков (цилиндр диаметром 3-5 мм и длиной 5-8 мм) для оснащения лезвийного инструмента (резцы, фрезы и др.).

Марки поликристаллических материалов на основе эльбора: композит 01, композит 02, композит 05, композит 09, композит 10, исмит 1, исмит 2, исмит 3.

Высокие физико-механические свойства позволяют обрабатывать эльборовыми резцами высокопрочные стали (с HRC 48 ... 64), металлокерамику, стеклопластик.

4.8. Перспективы совершенствования и использования инструментальных материалов

Из рассмотренных материалов наиболее распространены в металлообрабатывающей промышленности быстрорежущие стали, твердые сплавы и минералокерамика.

Удельный вес инструментов из этих материалов примерно следующий:

- быстрорежущие стали 66%;
- твердые сплавы 32%;
- минералокерамика 2%.

По объему снимаемого металла соотношение между ними выглядит так:

- твердые сплавы 68%.
- быстрорежущие стали 28%;
- минералокерамика 4%.

Основные тенденции совершенствования быстрорежущих сталей и их использования:

- переход на вольфрамомолибденовые марки;
- повышение содержания углерода;
- совершенствование теории легирования сталей;
- улучшение структуры за счет спецдобавок и порошковой металлургии;
- рациональное использование каждой марки стали для конкретных ви-

дов инструмента и условий обработки;

- повышение скорости резания для уменьшения наростообразования и большей пластичности срезаемого слоя особенно при зубофрезеровании.

Твердые сплавы - особо перспективный инструментальный материал, основные направления его совершенствования и повышения эффективности использования;

- создание новых марок твердых сплавов с более высокими прочностными и режущими свойствами за счет обработки композиции и улучшения структуры;
- разработка новых марок безвольфрамовых твердых сплавов;
- разработка специальных марок твердых сплавов для условий прерывистого резания;
- дальнейшее совершенствование методов износостойкого покрытия твердосплавных пластин.

Рациональный выбор инструментального материала при конструировании металлорежущего инструмента позволяет повысить эффективность обработки и производительность труда.

5. Токарные резцы

5.1. Назначение и классификация

Резцы – наиболее распространённые однолезвийные инструменты, предназначенные для обработки деталей с вращательным или поступательным главным движением.

Токарные резцы применяются на токарных, револьверных, карусельных, расточных станках, и токарных автоматах и полуавтоматах. В зависимости от вида станка и выполняемой работы используются различные резцы (рис.4), которые классифицируются по следующим признакам:

- по виду обработки (проходные, упорные, подрезные, расточные, отрезные, фасонные)
- по характеру обработки (черновые, чистовые);
- по установке относительно детали (радиальные, угловые, тангенциальные);
- по направлению подачи (правые, левые)
- по конструкции головки (прямые, отогнутые, изогнутые, оттянутые);
- по сечению корпуса (прямоугольные, квадратные, круглые);
- по конструкции (цельные, составные, сборные);
- по материалу рабочей части (из инструментальной стали, твёрдосплавные, из керамических материалов, алмазные, из сверхтвёрдых синтетических материалов).

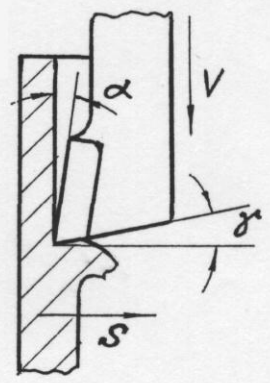
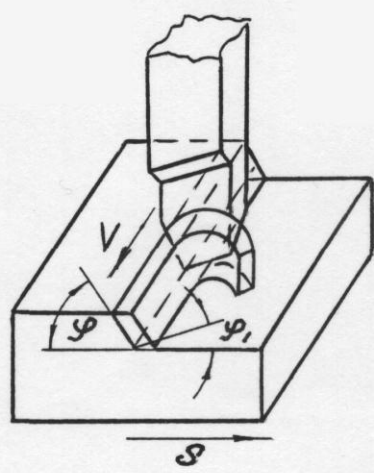
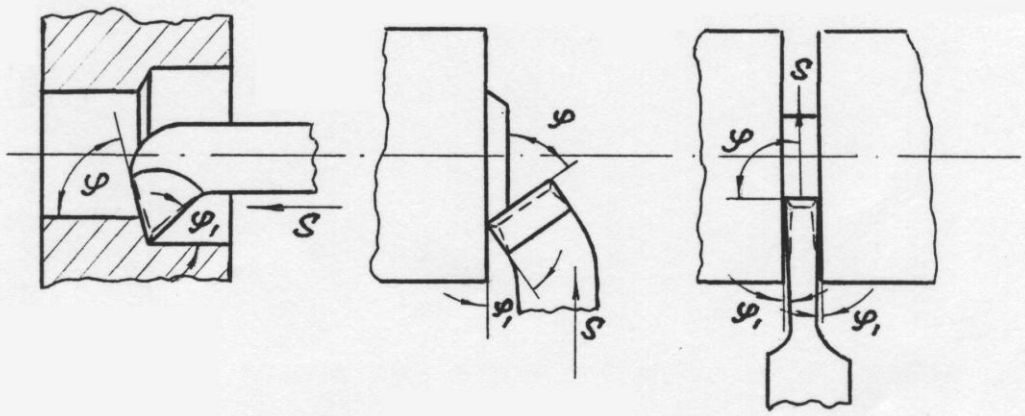
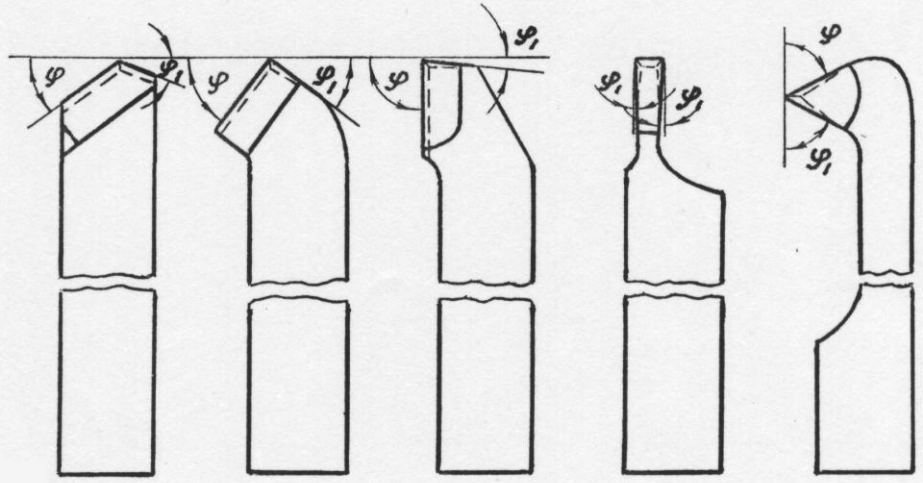


Рис. 4

5.2. Конструктивные элементы и геометрия токарных резцов

Резец состоит из рабочей части и крепежной, служащей для закрепления на станке.

Габаритные размеры резца определяются длиной державки, выбираемой в зависимости от надежности закрепления, и её сечением, которое стандартизировано и может быть квадратной формы (4x4; 6x6; 10x10; 12x12; 16x16; 20x20; 25x25; 32x32; 40x40 мм²); прямоугольной (10x16; 12x20; 16x20; 16x25; 20x25; 20x32; 25x32; 25x40; 32x40; 32x50; 40x50; 50x63 мм²) и круглой диаметром от 10 до 40 мм. Высота державки определяется по соответствующему размеру станка или может быть ориентировочно рассчитана на прочность под действием изгибающей силы P_z . Правильней рассчитывать прочность пластины по предлагаемым схемам (рис.5.).

Резцы из быстрорежущей стали могут быть цельными или с приваренной рабочей частью (головка или пластина). Форма передней поверхности резцов и геометрические параметры назначаются в зависимости от свойств обрабатываемого материала.

Твердосплавные резцы наиболее распространены в промышленности, поскольку обеспечивают увеличение скорости и производительности обработки. Могут быть цельными, с припаянными стандартными пластинами или с механическим креплением пластин, в этом случае пластины обычно многогранные. Конструктивное оформление передней поверхности твердосплавных резцов и их геометрические параметры зависят от свойств обрабатываемого материала (рис.6).

Из-за высокой скорости резания при обработке твердосплавными резцами необходимо предусмотреть устройства для стружколомания. Существуют различные способы для ломания стружки и удаления ее из зоны резания (заточка резца, накладные стружколоматели, специальные устройства).

Большое распространение в последнее время резцов с многогранными неперетачиваемыми пластинами связано с их преимуществами:

- прочность лезвия, неповреждённого напайванием;
- долговечность корпуса (державки) резца;
- экономия материала державки и затрат на её изготовление;
- отсутствие затрат на переточку резцов;
- наличие на пластине стружколомающих элементов;

Для крепления многогранных пластин к державке резца существуют многочисленные конструкции.

Попытки повысить эффективность токарной обработки приводит к созданию различных конструкций резцов, рабочие части некоторых из них приведены на рис.7.

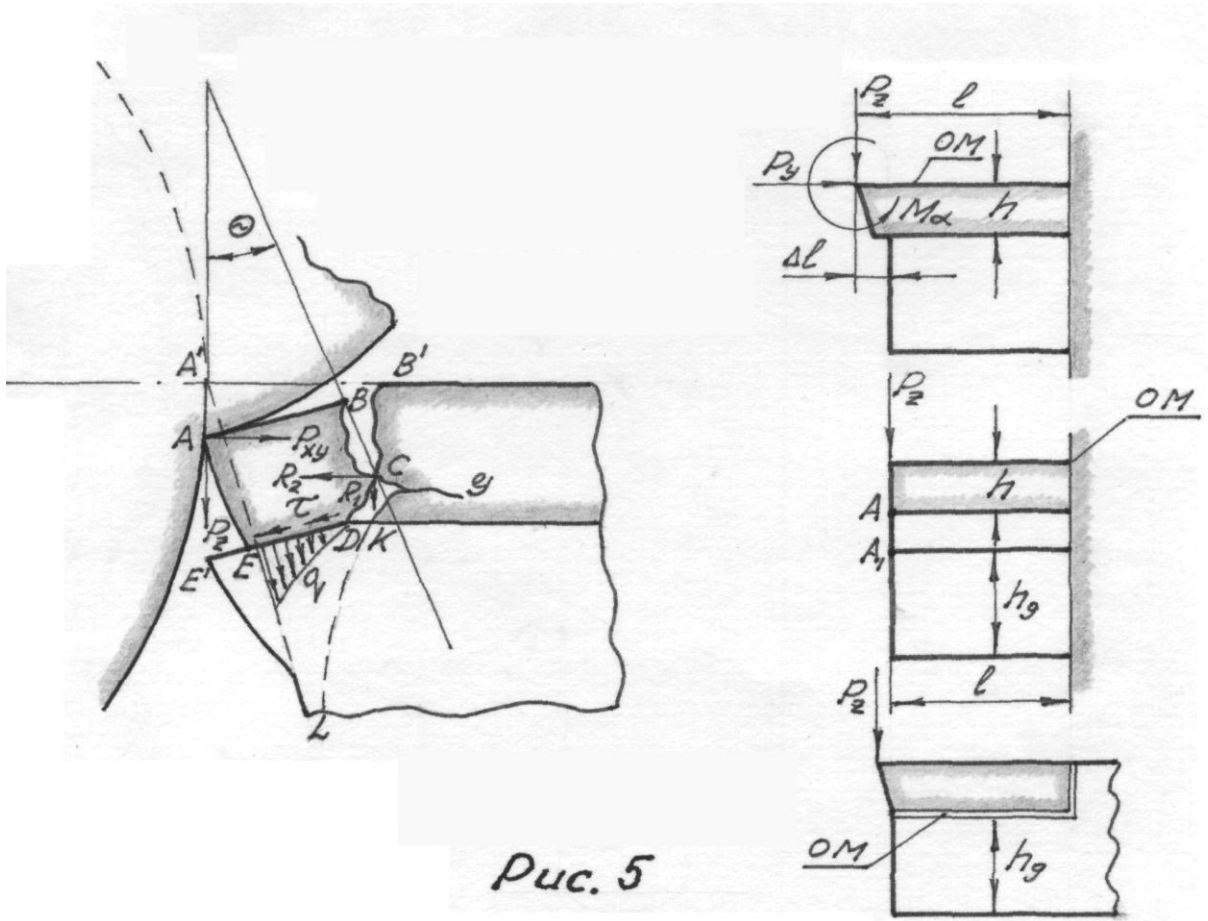


Рис. 5

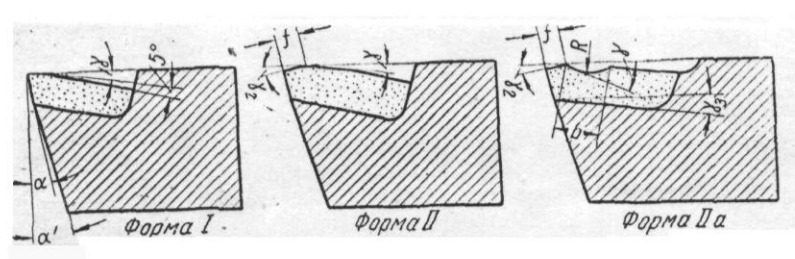


Рис. 6

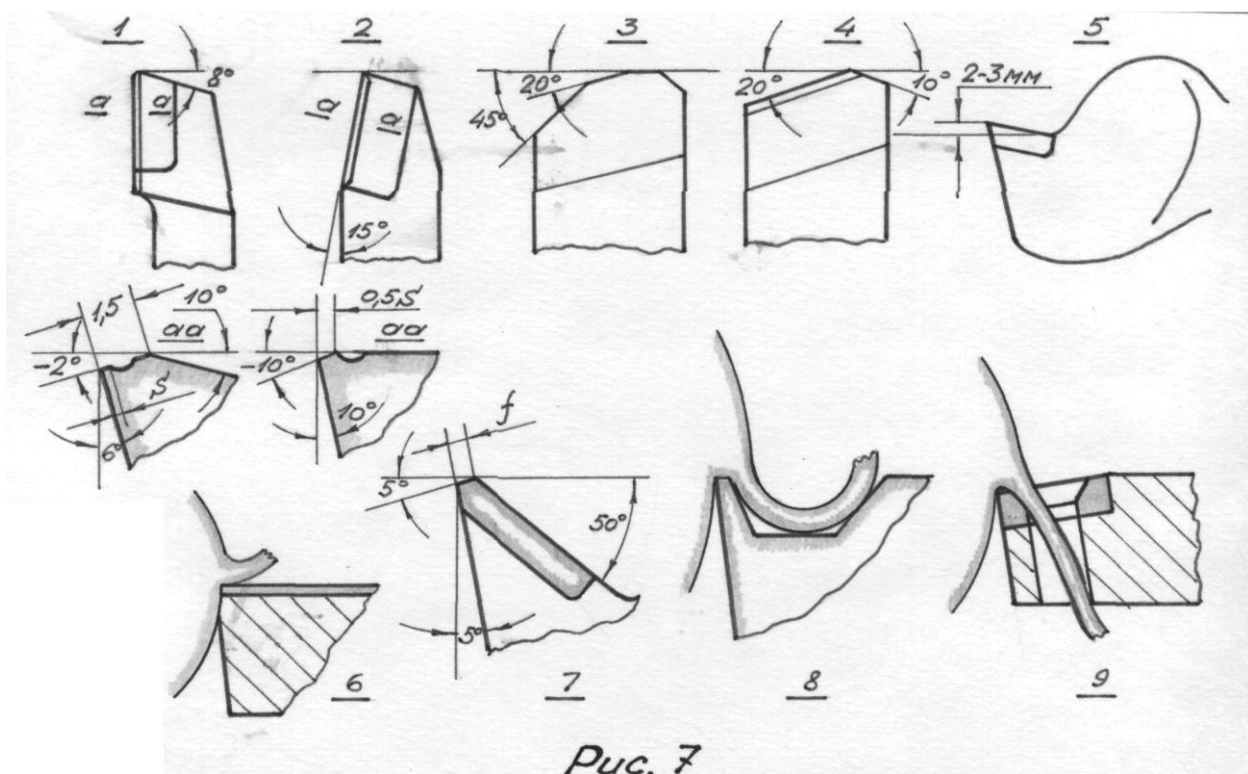


Рис. 7

6. Фасонные резцы

6.1. Назначение и классификация

Фасонный резец - это специальный инструмент, форма режущих кромок которого определяется формой профиля изделия.

Применяются фасонные резцы для обработки деталей типа тел вращения (на токарных станках) и типа плоских, прямоугольных, и тому подобных тел (на строгальных и долбежных станках).

Достоинства фасонных резцов:

- однородность профиля и точность размеров обрабатываемой детали;
- высокая производительность обработки;
- длительность эксплуатации (большое число переточек);
- не требуют высокой квалификации рабочего для обработки фасонных деталей.

Фасонные резцы широко используются в крупносерийном и массовом производстве, несмотря на сложность в изготовлении и высокую стоимость.

Фасонные резцы можно классифицировать следующим образом:

по форме:

- стержневые;
- призматические;
- круглые;

по расположению оси или базы крепления по отношению к оси детали:

- с параллельным расположением;
- с наклонным расположением;

по направлению подачи:

- радиальные;
- тангенциальные;

по форме образующих:

- круглые резцы с кольцевыми образующими;
- круглые резцы с винтовыми образующими;
- призматические резцы с плоскими образующими.

Основные виды фасонных резцов показаны на рис. 8.

6.2. Геометрия фасонных резцов

Передний угол фасонного резца выбирается в зависимости от обрабатываемого материала в пределах от 0° до 25° . Чем меньше твердость обрабатываемого материала, тем больше передний угол.

Задний угол зависит от формы фасонного резца и его типа. Увеличение заднего угла может привести к ослаблению режущей кромки, что наиболее опасно для круглого резца. Поэтому задний угол для круглых резцов выбирается в пределах $10-15^\circ$, а для призматических - $12-17^\circ$. У фасонных резцов,

предназначенных для затылования, задний угол увеличен до 25-30° с тем, чтобы обеспечить необходимый задний угол в относительном движении резца и заготовки при затыловании.

Особенностью фасонных резцов является то, что задний угол в процессе резания образуется у них специальной установкой на станке (рис. 9)

Призматический резец поворачивается на величину заднего угла: этот поворот обеспечивает специальная конструкция державки.

Круглый резец устанавливается относительно обрабатываемой детали так, чтобы ось его располагалась выше оси обрабатываемой детали.

Высота установки резца определяется из $\triangle ABC$ по следующей формуле:

$$h = R \cdot \sin \alpha$$

Указанные значения переднего и заднего углов относятся к наружным точкам профиля. С удалением точек профиля резца от оси обрабатываемой детали задний угол будет увеличиваться, а передний - уменьшаться. На величину переднего и, что особенно важно, заднего угла влияет наклон режущей кромки относительно оси обрабатываемой детали.

Если представить, что режущая кромка наклонена к линии, перпендикулярной оси обрабатываемой детали под углом φ , то можно определить задний угол α_N в точке A режущей кромки (рис.10).

Из пирамиды $ABDC$:

$$\operatorname{tg} \alpha = BD/AB;$$

$$\operatorname{tg} \alpha_N = BC/AB.$$

Разделив почленно эти равенства, можно написать:

$$\operatorname{tg} \alpha_N = \operatorname{tg} \alpha \sin \varphi.$$

При $\varphi = 90^\circ$ $\alpha_N = \alpha$, при $\varphi = 0$ $\alpha_N = 0$ и в этом случае необходимо предпринимать специальные меры для увеличения заднего угла на боковых режущих кромках.

6.3. Конструктивные элементы фасонных резцов и их крепление на станках

Основными конструктивными элементами призматического фасонного резца являются ширина резца, толщина, высота, узел крепления и размеры профиля.

Основные конструктивные элементы круглого фасонного резца - диаметр резца, диаметр отверстия, длина резца, размеры выемки для стружки, узел крепления и все элементы профиля.

Все конструктивные элементы фасонных резцов за исключением элементов профиля выбираются конструктивно из справочных материалов в зависимости от максимальной высоты фасонного профиля детали.

Крепление призматического фасонного резца на станке осуществляется с помощью державки, в которой резец устанавливается под определенным углом, равным заднему углу резца и закрепляется с помощью узла крепле

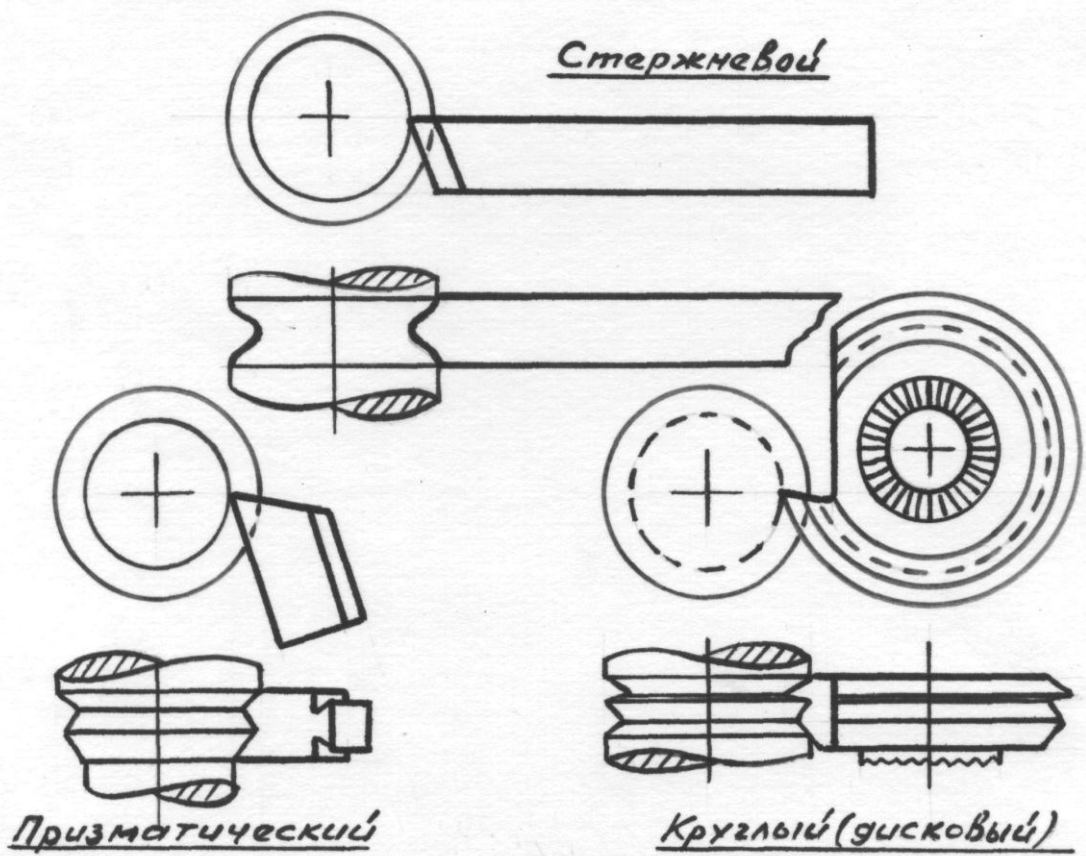


Рис. 8

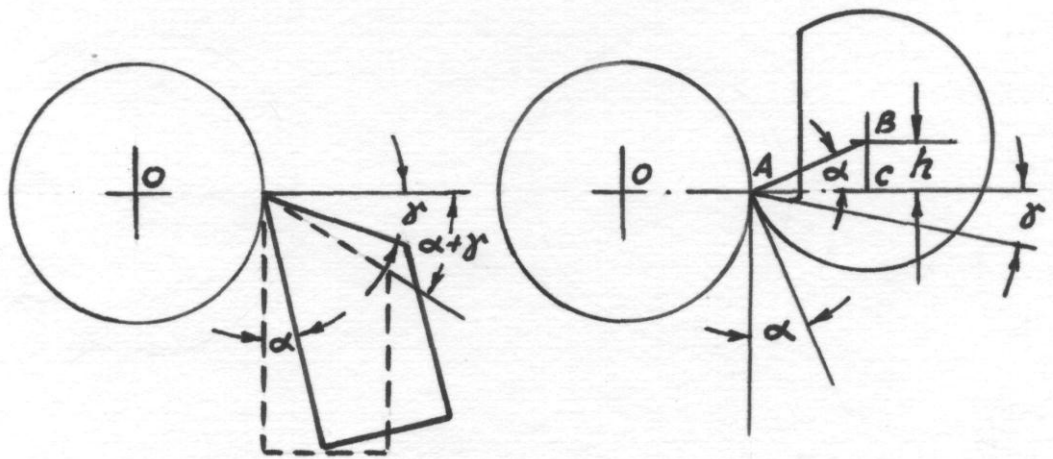


Рис. 9

ния, называемого "ласточкин хвост", от перемещения в державке под действием сил резания резец удерживается силами трения (рис.11).

Круглый фасонный резец устанавливается и закрепляется на станке с помощью державки, конструкция которой предусматривает установку оси резца выше оси обрабатываемой детали на величину, соответствующую заднему углу резца. От проворачивания под действием силы резания резец предохраняется сочленением радиальных рифлений на торце резца с такими же рифлениями на торце державки или с помощью штифта, входящего в отверстие на торцах резца и державки.

В основу многочисленных по конструкции державок положены именно указанные методы крепления призматического и круглого фасонных резцов.

Стержневой фасонный резец крепится на станке как обычный токарный резец.

6.4. Профилирование фасонных резцов

Наиболее сложной частью при расчете и конструировании фасонных резцов является определение фасонного профиля режущей части.

Выше говорилось о том, что профиль фасонного резца не соответствует профилю обрабатываемой детали, отличается от него.

Поэтому для изготовления фасонного резца необходимо определить размеры его профиля.

Для правильного изготовления резца необходимо знать размеры профиля в двух характерных плоскостях: в передней плоскости и в плоскости, нормальной к задней поверхности. Выбор этих плоскостей обусловлен технологическими обстоятельствами: в плоскости передней грани резца удобно производить контроль профиля, а размерам профиля резца в нормальном сечении к задней грани должны соответствовать размеры профиля инструмента II порядка, то есть инструмента для чистовой обработки этого резца. Обычно таким инструментом служит шлифовальный круг с размерами профиля в осевом сечении, соответствующими размерам профиля резца в сечении, нормальном к его задней поверхности. Такой профиль образуется на шлифовальном круге специальной правкой.

Расчет профиля или профилирование фасонного резца может выполняться графически и аналитически, в качестве основного используется аналитический (расчетный) метод, так как требуется высокая точность расчета - до 0,001 мм, графический метод, основу которого составляют принципы начертательной геометрии, используется как вспомогательный - для проверки правильности аналитического расчета.

6.5. Аналитический расчет профиля призматических и круглых фасонных резцов

Наиболее распространенными конструкциями фасонных резцов являются призматический и круглый с параллельным расположением базы креп

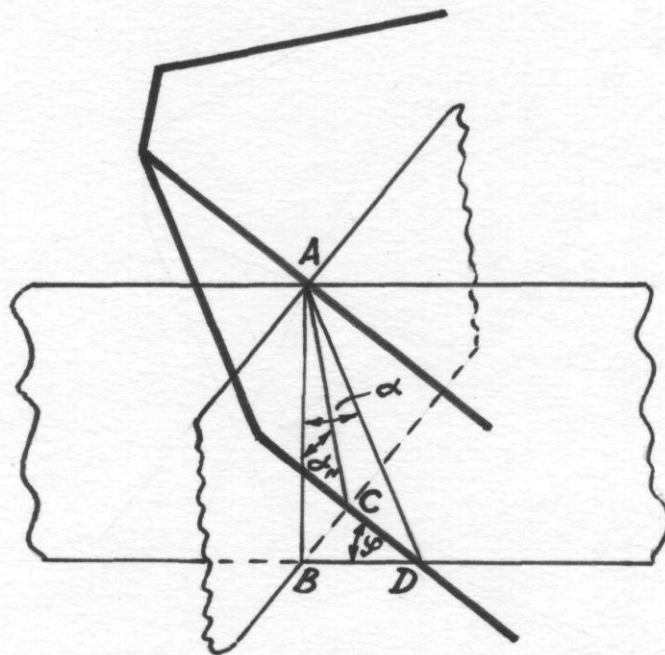


Рис. 10

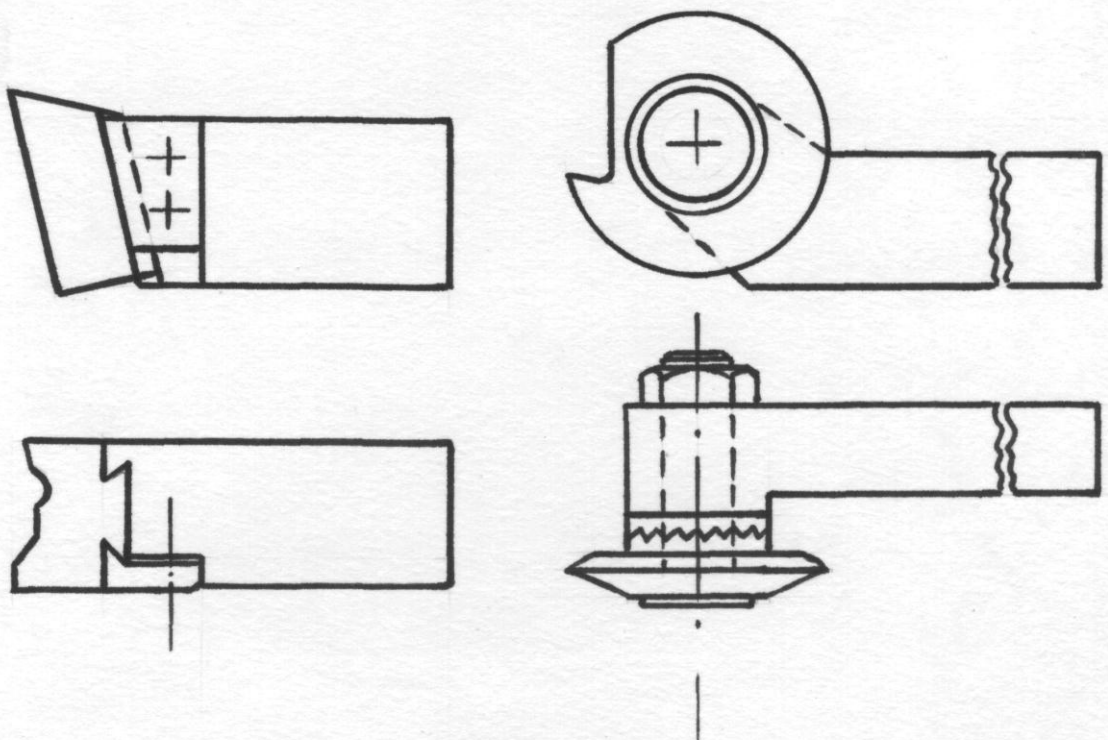


Рис. 11

ления и оси резца относительно оси обрабатываемой детали, работающие с радиальной подачей.

Аналитический расчет таких резцов упрощается за счет того, что осевые размеры (вдоль оси обрабатываемой детали) у резца такие же, как у детали, и расчет сводится к определению только радиальных (по отношению к детали) размеров или, как их обычно называют, высот профиля резца.

Достаточно рассмотреть расчет для одной точки профиля резца, для других точек, определяющих конфигурацию профиля и поэтому называемых "узловыми", принцип расчета будет тот же, изменятся лишь исходные параметры для расчета, то есть размер соответствующего участка профиля детали.

Для определения высот профиля в плоскости передней грани - C_x и в плоскости, нормальной к задней грани - t_x , можно воспользоваться расчетом с применением теоремы синусов или рассмотреть прямоугольные треугольники ΔOCX и ΔOCA (рис. 12).

Если пользоваться теоремой синусов, то можно написать:

$$\begin{aligned} r_0/\sin\gamma_x &= r_x/\sin(180^\circ-\gamma); \\ r_0/\sin\gamma_x &= r_x/\sin\gamma. \end{aligned}$$

Отсюда:

$$\sin\gamma_x = r_0 \times \sin\gamma / r_x$$

С помощью этой формулы можно определить значение переднего угла γ_x в искомой узловой точке.

Для определения высоты профиля в плоскости передней грани необходимо спроектировать стороны треугольника ΔOAX на горизонтальную плоскость:

$$r_0 + C_x \times \cos\gamma = r_x \times \cos(\gamma - \gamma_x);$$

откуда:

$$C_x = (r_x \times \cos(\gamma - \gamma_x) - r_0) / \cos\gamma.$$

Для призматического резца высоты профиля t_x в плоскости, нормальной к задней грани, определяется из прямоугольного треугольника ΔAXB :

$$t_x = C_x \times \cos(\alpha + \gamma).$$

Для круглого резца:

$$t_x = R - R_x,$$

где R – принятый наибольший радиус резца $D/2$.

Величина:

$$R_x = \sqrt{R^2 + C_x^2 - 2 \cdot R \cdot C_x \cdot \cos(\alpha + \gamma)}.$$

определяется из известной теоремы об определении третьей стороны треугольника по известным двум и углу между ними.

Для определения высоты профиля в плоскости передней грани C_x из рассмотрения треугольников ΔOCX и ΔOCA можно написать:

$$\begin{aligned} C_x &= \overline{AX} = \overline{CX} - \overline{CA}; \\ \overline{CX} &= \sqrt{(r_x^2 - r_x^2) \cdot \sin^2 \gamma}; \end{aligned}$$

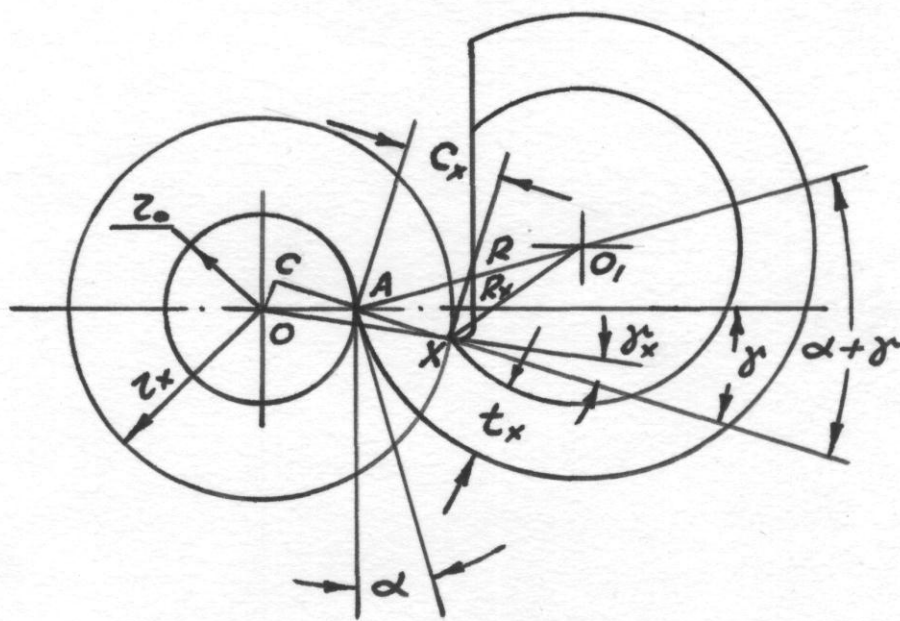
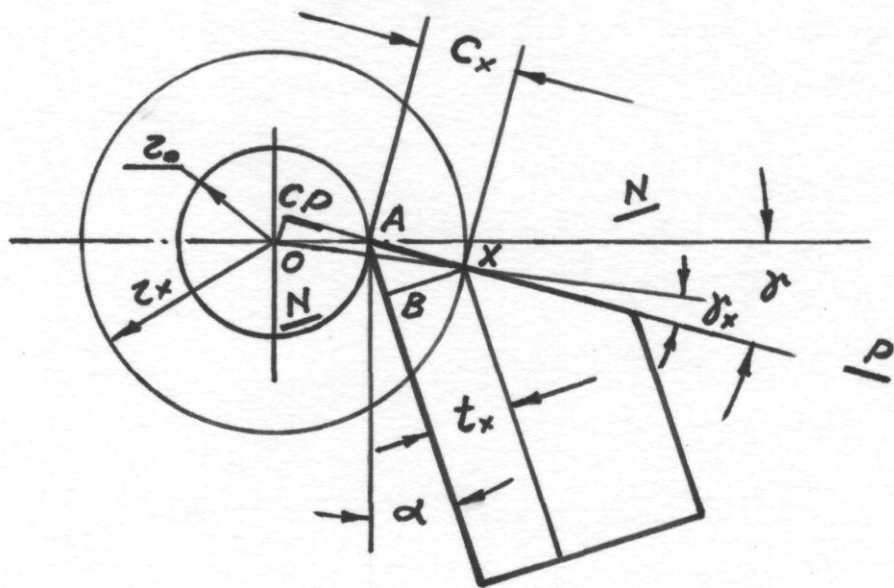


Рис. 12

$$\overline{NR} = r_0 \cdot \cos \gamma .$$

Поэтому:

$$C_x = \sqrt{(r_x^2 - r_0^2) \cdot \sin^2 \gamma} - r_0 \cdot \cos \gamma .$$

7. Протяжки

7.1. Назначение и классификация

Протяжки предназначаются для обработки внутренних отверстий различной формы (рис. 13) и для обработки наружных поверхностей. Резание этими многозубыми инструментами осуществляется за счёт увеличения высоты или диаметра каждого последующего зуба по отношению к предыдущему.

Протяжки получили широкое распространение из-за следующих достоинств:

- высокая точность обработки (6-7 квалитет) и качество поверхности ($R_a=0,5 - 1,0$ мкм);
- высокая стойкость;
- большая производительность.

В то же время протяжки имеют недостатки:

- сложность в изготовлении и эксплуатации;
- специализированность.

По способу приложения силы к инструменту – растягивающая или сжимающая – различаются протяжки (рис.14) и прошивки.

В зависимости от характера работы различают протяжки: режущие, калибрующие и выглаживающие.

Протяжки могут работать как одиночные, так и в комплекте из 2 – 3 и более штук.

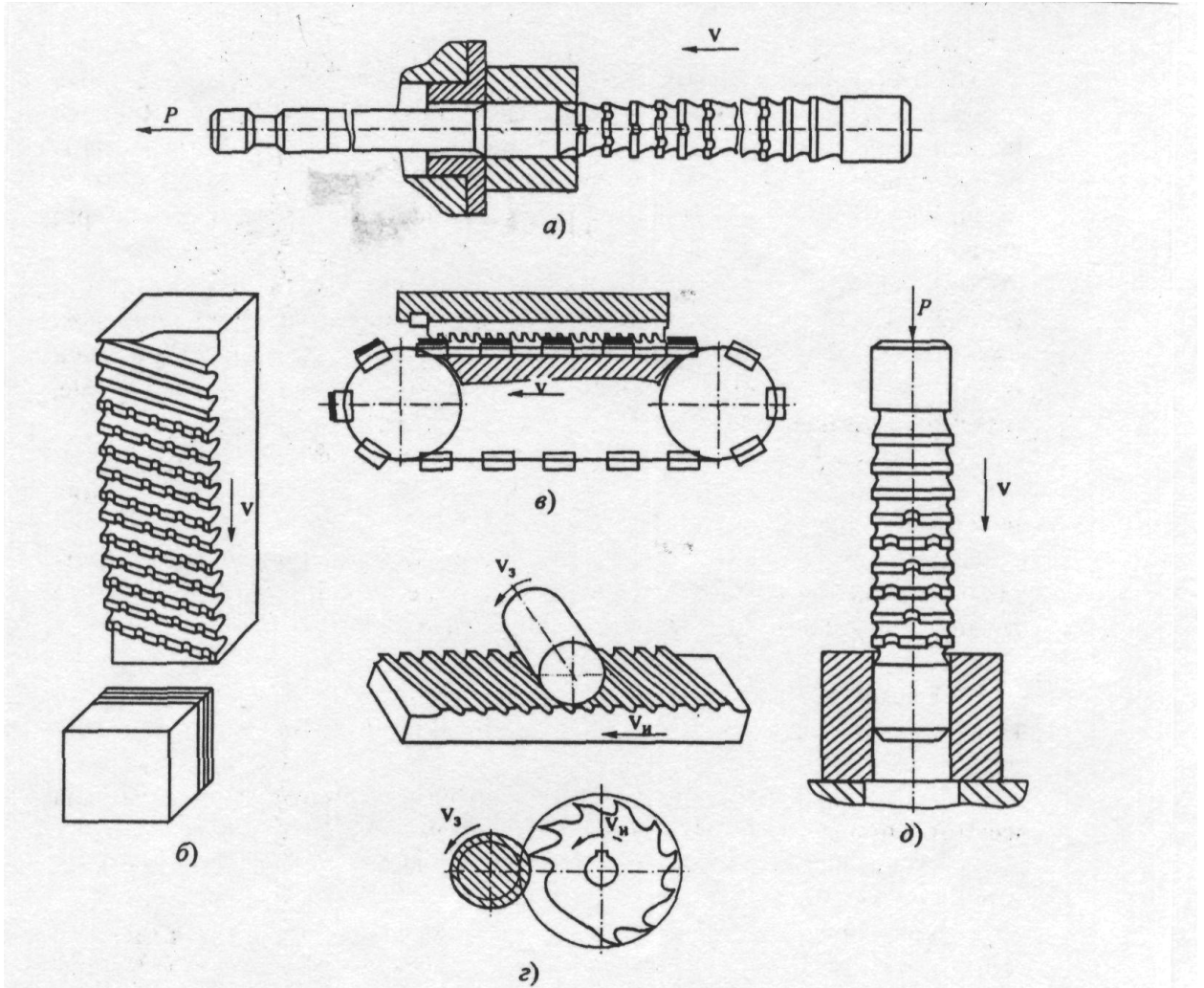
Диаметры протягиваемых отверстий обычно 6 – 100 мм.

7.2. Конструктивные элементы протяжки для отверстия

Протяжка для отверстия состоит из присоединительной части, рабочей части и задней направляющей и включает в себя: хвостовик (l_1), шейку (l_2), переходный конус (l_3), переднюю направляющую (l_4), режущую часть (l_5), калибрующую часть (l_6), заднюю направляющую (l_7) и цапфу (l_8), которая может отсутствовать.

Отверстие под протяжку выполняется сверлом, зенкером или черновой развёрткой, а также – растачиванием.

Диаметра хвостовика должен быть меньше диаметра отверстия на 2-5мм.



Схемы протягивания:
 а – отверстий; б – плоскостей; в – непрерывное протягивание наружной поверхности; г – обработка цилиндрической поверхности плоской и круглой протяжками; д – обработка отверстия прошивкой

Рис. 13

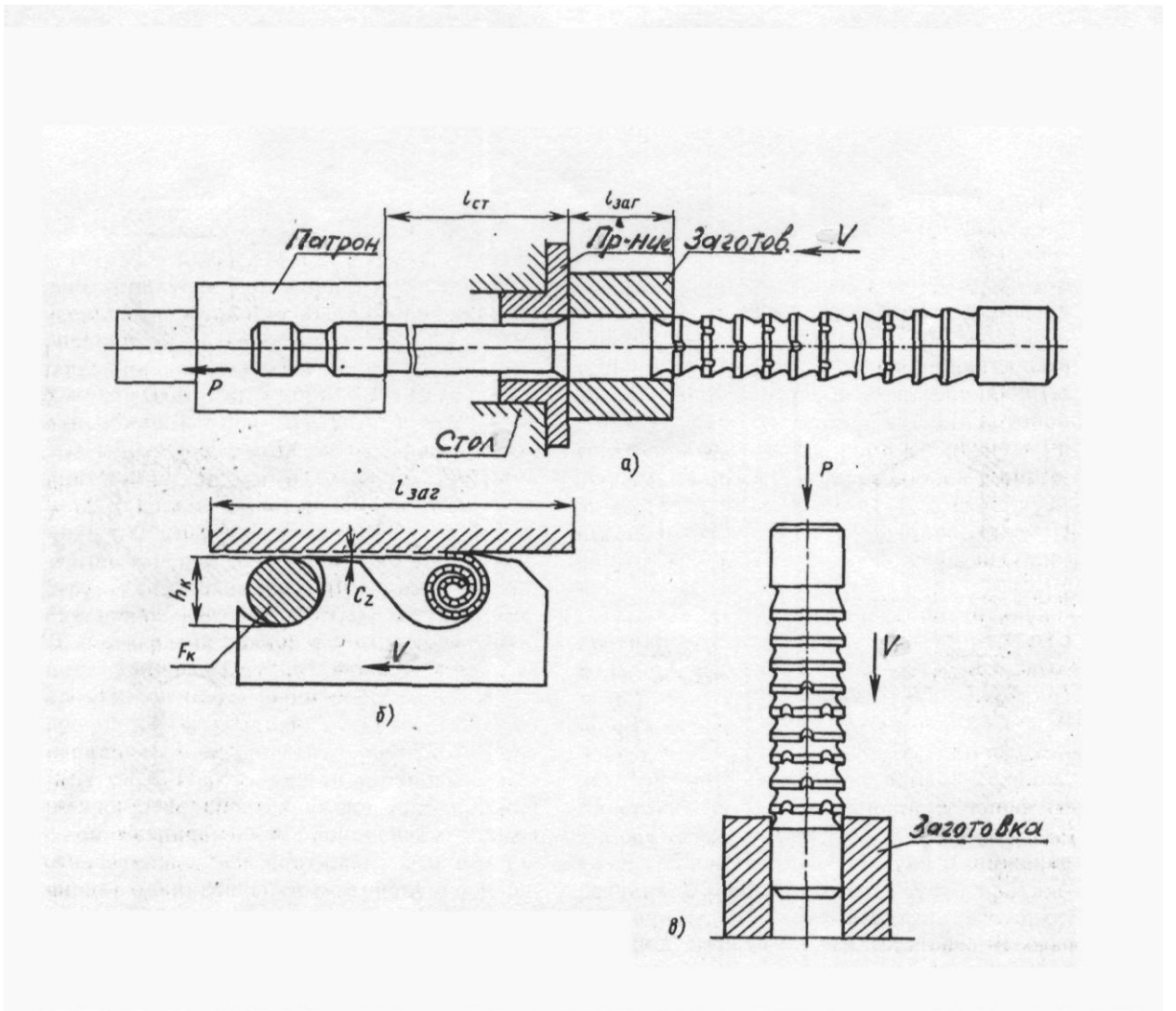


Рис. 14

Длина шейки должна компенсировать толщину стола станка и приспособления с тем, чтобы хвостовик можно было закрепить в патроне станка.

Передняя направляющая служит для центрирования оси заготовки относительно оси протяжки.

Режущие зубья протяжки предназначены для снятия основного припуска. Толщина слоя металла, срезаемого одним зубом, зависит от обрабатываемого материала и конструкции протяжки:

$$S_z = 0,02 - 0,15 \text{ мм.}$$

Калибрующая часть протяжки предназначена для окончательного оформления протянутой поверхности по точности обработки и шероховатости.

Расстояние между лезвиями режущих зубьев – шаг – является одним из основных параметров протяжки. В стружечных канавках должна размещаться стружка, поэтому существует разная форма канавок и размеры. Геометрические параметры зубьев – передний угол ($\gamma = 5^\circ - 20^\circ$) и задний угол ($\alpha = 2^\circ - 3^\circ$) – выбираются в зависимости от обрабатываемого материала и назначения протяжки.

Для облегчения схода стружки на режущих зубьях выполняется стружкоразделительные канавки.

Число зубьев режущей части определяется по формуле:

$$Z_p = A/2S_z + (2-3) \text{ зуба,}$$

где: А припуск на диаметр в мм;

S_z – толщина слоя, срезаемого одним зубом (подъём на зуб) в мм.

При протягивании отверстий из-за неточности изготовления протяжки или тонкостенности заготовки наблюдается явление «разбивания» отверстия, что есть его увеличение или уменьшение по отношению к теоретически правильному. Величина «разбивания» установлена опытным путём и находится в пределах:

$$\delta_{\square} = \pm 0,01 \div 0,03 \text{ мм.}$$

Калибрующая часть протяжки содержит 4 ÷ 8 зубьев, которые имеют одинаковую высоту и меньшую стружечную канавку. Задний угол их $\alpha = 0^\circ 30' - 1^\circ$.

Проверка протяжки на прочность проводится в двух опасных сечениях – по впадине хвостовика и по впадине перед первым режущим зубом. Для этого определяется сила резания и находится напряжение растяжения, которое сравнивается с допустимым:

$$\sigma_{\text{раст.}} = P_p/F \leq [\sigma_{\text{раст.}}],$$

где: P_p – осевая сила резания в МПа; F – площадь опасного сечения в мм².

7.3. Особенности конструкций протяжек

Протяжки для круглых отверстий могут быть сконструированы по продольной (одинарного резания) или групповой (переменного резания) схемам резания (рис.15).

При профильной схеме резания режущие кромки всех зубьев имеют одинаковую форму окружности, при групповой схеме – зубья работают секцией из 2-3 зубьев одного диаметра с различным расположением рабочих участков режущих кромок.

Шлицевые протяжки предназначены для выполнения шлицевых отверстий. Обычно используются комбинированные шлицевые протяжки, включающие в себя цилиндрическую, шлицевую и фасочную части, последовательность расположения которых может быть различной.

Протяжки для многогранных отверстий (квадратных, шестигранных и др.) могут быть выполнены по разным схемам резания в зависимости от условий резания и особенностей обеспечения качества поверхности отверстия.

Шпоночные протяжки применяются для изготовления шпоночных канавок в отверстиях. По конструкции могут быть: с круглым телом, с плоским телом и с утолщённым телом, которое наиболее распространено (Рис.16). Обработка шпоночной протяжкой осуществляется с использованием специального приспособления для её центрирования относительно отверстия.

Сборные протяжки конструируют в основном с целью экономии инструментальных материалов или использования твёрдого сплава. С многочисленными конструкциями сборных протяжек для отверстий можно ознакомиться в специальной литературе.

Протяжки для обработки наружных плоских и фасонных поверхностей заготовок обычно состоит из отдельных секций, закрепляемых на инструментальной плите. Расположение секций может быть последовательным, параллельным и параллельно-последовательным. В секциях имеются режущая и калибрующая части. Применяют различные способы крепления секций на плите с помощью винтов, клиньев, прокладок, упоров различной конструкции в зависимости от формы секций и особенностей эксплуатации.

Принцип протягивания и соответствующие инструменты применяются и в других видах обработки. Так дисковые протяжки используются при протягивании зубьев зубчатых колёс. Могут обрабатываться протягиванием шейки коленчатых валов, а также шлицы винтов, когда перемещаются заготовки относительно протяжки.

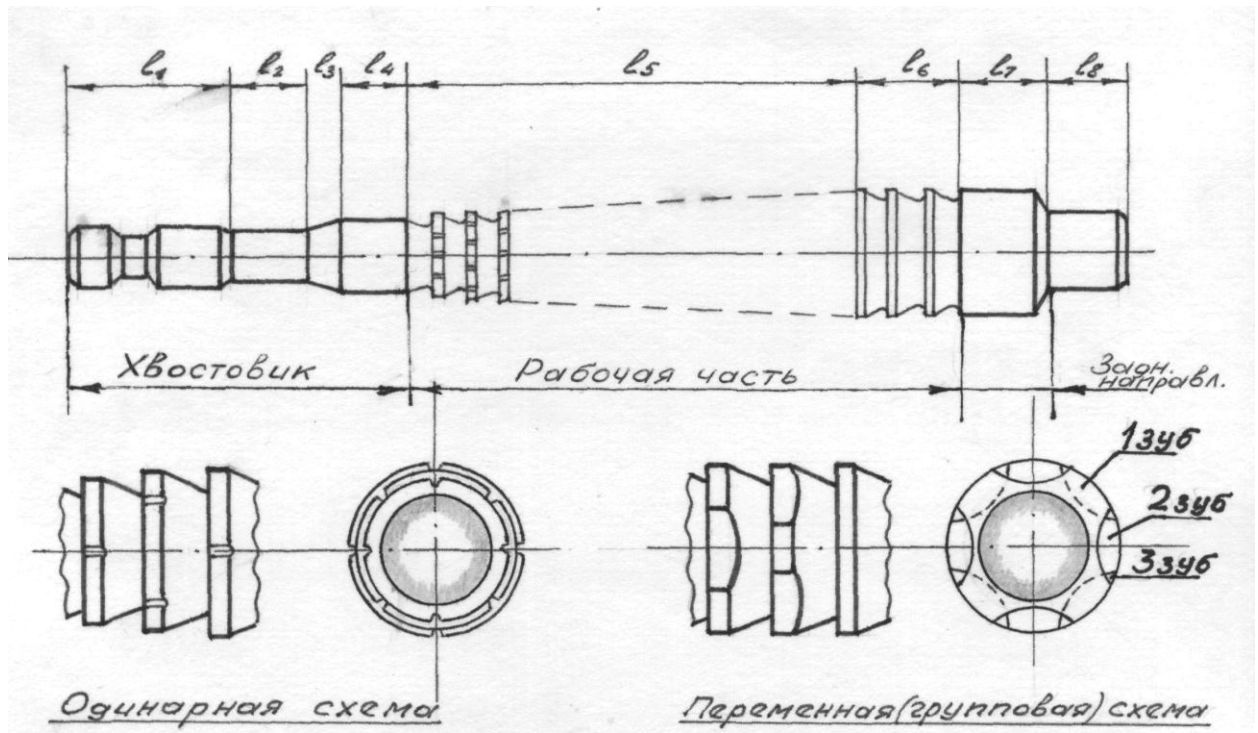


Рис. 15

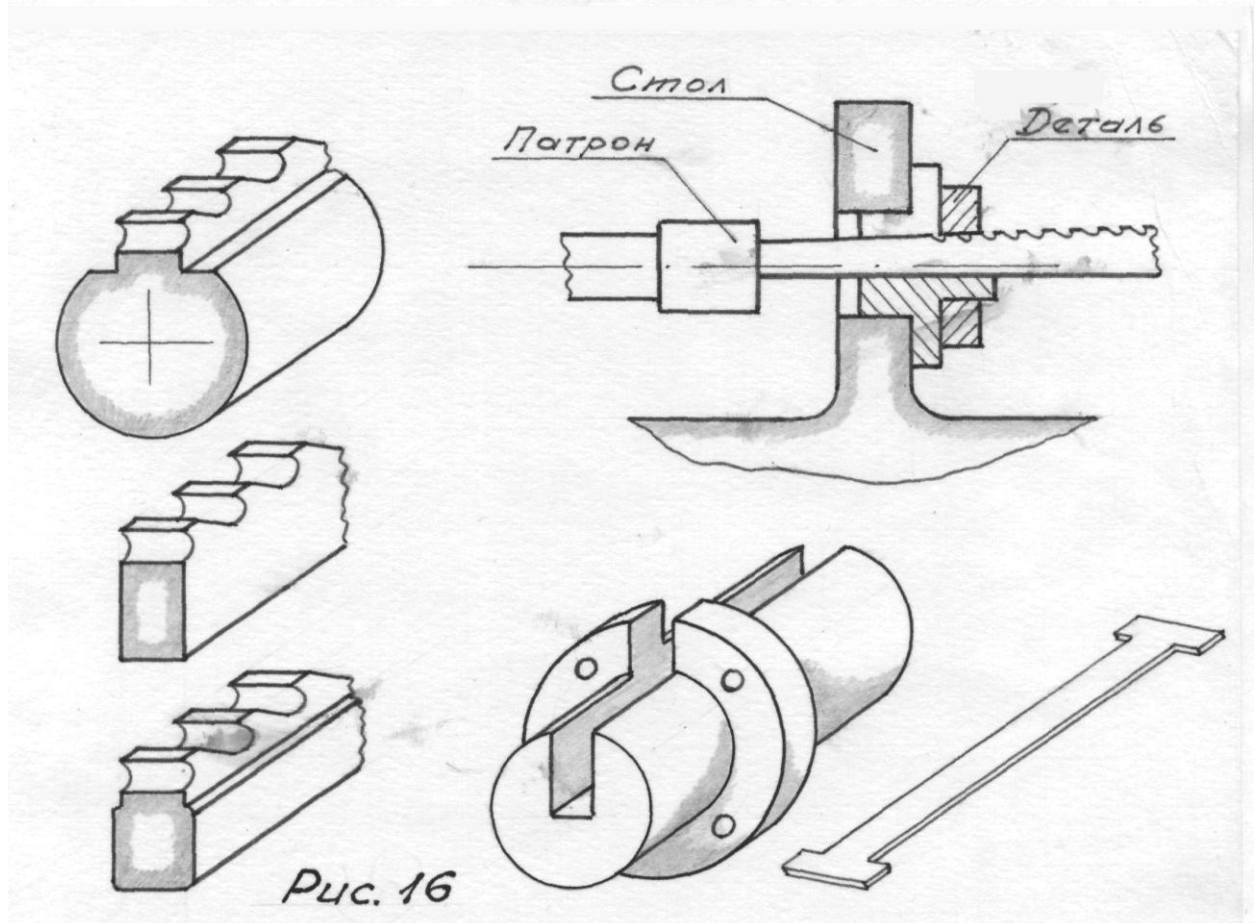


Рис. 16

8. Фрезы

8.1. Назначение и классификация

Фрезы – многолезвийные инструменты, предназначенные для обработки плоских и фасонных поверхностей, уступов, пазов, канавок, винтовых поверхностей и других подобных объектов обработки.

Фрезы отличаются большим разнообразием типов, форм и назначения как стандартизованных, работающих на универсальных станках, так и специальных, предназначенных для обработки конкретных изделий (рис.17).

Классификация фрез осуществляется следующим образом:

- по расположению зубьев относительно оси (цилиндрические, торцевые, угловые, фасонные, дисковые, концевые, шпоночные);
- по направлению зубьев (прямые, косозубые, с винтовым зубом);
- по конструкции (цельные, составные, сборные, наборные);
- по конструкции зубьев (острозаточенные, затылованные);
- по способу крепления (насадные – с отверстием для крепления, концевые – с коническим или цилиндрическим хвостовиком).

8.2. Конструктивные элементы и геометрические параметры фрез

К общим конструктивным элементам фрез относятся: диаметр фрезы, посадочные размеры (диаметр отверстия, шпоночный паз), число зубьев и их форма.

Наружные диаметры стандартизованы, их ряды представляют геометрическую прогрессию со знаменателем $\phi_{\square} = 1,26$ или $\phi_{\square} = 1,58$. Так для $\phi_{\square} = 1,26$ диаметры: 3,4,6,8,10,12,16,20,25,32,40,50,63,80,100,...,800,1000 мм.

Диаметр посадочного отверстия $D_o = D_{\phi}/2,25$ мм, который округляется до стандартных значений: 16,22,27,32,40,50 и 60 мм.

Геометрические параметры фрезы зависят от её назначения и конструкции. Так для обработки стали и чугуна задний угол определяется по формуле:

$$\sin \alpha = 0,13/a_{\max}^{0,3},$$

где a_{\max} – максимальная толщина срезаемой стружки, мм.

$$a_{\max} = S_z \sin \psi,$$

где ψ - угол контакта фрезы с заготовкой.

Передний угол γ выбирается в зависимости от свойств обрабатываемого материала, при обработке стали и чугуна $\gamma = 10^{\circ}-20^{\circ}$.

Число зубьев фрезы принимается из условий равномерности фрезерования. Можно воспользоваться формулой:

$$Z = m \times (D_{\phi}^{1/2}),$$

где $m=1,75-2,00$ – для черновых фрез; $m=2,2-2,5$ – для чистовых фрез.

Для обеспечения равномерности фрезерования применяются винтовые зубья с углом наклона ω , который определяется из условий равномерности фрезерования и находится в пределах 20° – 60° .

Зубья фрезы должны обладать достаточной прочностью, обеспечивать максимально возможное число переточек, иметь пространство для размещения стружки. Оптимальную форму зуба можно выбрать по имеющимся рекомендациям.

8.3. Конструктивные особенности разных типов фрез

Концевые фрезы диаметров от 3 мм до 63 мм имеют цилиндрический или конический хвостовик. Винтовые стружечные канавки у фрез для пазов и уступов должна иметь правое направление при правом вращении фрезы для удаления стружки из зоны резания.

Шпоночные фрезы для обеспечения их жесткости имеют длину рабочей части, равную 3 диаметрам и сердцевину до 0,3 диаметра. У фрезы два зуба и цилиндрический или конический хвостовик.

Пазовые фрезы выполняют с прямым зубом. Для компенсации износа по ширине фрезы целесообразно делать составными с использованием прокладок.

Угловые фрезы могут быть одноугловые и двухугловые. Для обеспечения постоянства ширины ленточки на вершине зуба угол по наружному диаметру фрезы и угол впадины стружечной канавки имеют разные значения.

Фрезы прорезные и отрезные применяют в основном для отрезки заготовок. Они могут быть цельными, диаметром 20-315 мм и шириной 0,2-6 мм или сборными, оснащёнными сегментами, диаметром до 1000 мм.

Сборные конструкции фрез обеспечивают экономию быстрорежущей стали, позволяют многократно использовать корпус фрезы, к которому крепятся зубья-ножи. Вариантов конструктивного оформления креплений много. Наиболее распространённые – клиновые и рифлёные.

Твёрдосплавные фрезы применяются достаточно широко. Они могут быть цельными (небольших размеров) но в основном – составными и сборными. Большое распространение получили сборные твердосплавные фрезы, оснащённые многогранными пластинами. Конструкции твердосплавных фрез отличаются большим разнообразием.

Торцевые фрезы, оснащённые композитом используются для обработки закалённых сталей (HRC₃, 60...64) и для высокоскоростной ($V = 600$ м/мин) обработки чугунов.

Наборы фрез применяют для обработки деталей, имеющих несколько поверхностей с прямолинейными или фасонными образующими. Одновременная обработка всех поверхностей позволяет значительно повысить производительность. Используются наборы фрез главным образом на горизонтально-фрезерных станках.

9. Фасонные фрезы

Фасонные фрезы применяются для обработки деталей со сложным фасонным профилем на фрезерных станках. Фрезы имеют фасонную режущую кромку, поэтому сложны в изготовлении и при эксплуатации.

По способу изготовления зубьев и особенностям эксплуатации фасонные фрезы подразделяются на две группы:

- острозаточенные;
- затылованные.

9.1. Острозаточенные фасонные фрезы

Острозаточенные фасонные фрезы имеют следующие достоинства по сравнению с затылованными:

- большое число зубьев;
- более высокая чистота обработки поверхности;
- выше стойкость;
- больше производительность.

Широкому их использованию препятствуют недостатки:

- сложность в изготовлении;
- уменьшение стружечных канавок при переточках;
- неудобство в эксплуатации.

Самым существенным недостатком острозаточенных фасонных фрез является сложность в эксплуатации, связанная с переточкой.

Заточка фрез производится по задней грани. Для ее осуществления необходимо специальное приспособление с копирным устройством, позволяющим обеспечить такую траекторию движения заточного круга, которая должна соответствовать фасонному профилю зуба фрезы. Еще более усложняется заточка фрез с вогнутым профилем; когда необходимо, чтобы профиль заточного круга вписался в форму профиля зуба фрезы.

Приспособление для заточки (Рис18) имеет плоскую опорную линейку, по которой обкатывается копир, имеющий форму профиля фрезы. С копиром жестко связана затачиваемая фреза. Задний угол на фрезе образуется смещением оси шлифовального круга относительно оси фрезы на величину

$$H = \frac{D_{\text{кр}}}{2} \cdot \sin \alpha ,$$

где $D_{\text{кр}}$ - диаметр шлифовального круга, α - задний угол фрезы при вершине.

9.2. Затылованные фасонные фрезы

Фасонные фрезы с затылованными зубьями получили большое распространение из-за следующих положительных качеств:

- неизменность профиля обрабатываемой детали в течение всего периода эксплуатации фрезы;
- увеличение стружечных канавок по мере переточки фрезы;
- простота в эксплуатации, связанная с простотой заточки по передней грани, которая осуществляется торцом или конической поверхностью заточного круга без специальных приспособлений.

При конструировании затылованных фрез необходимо учитывать их недостатки по сравнению с острозаточенными:

- малое число зубьев;
- ниже частота обработки;
- ниже стойкость;
- меньше производительность.

Наряду со специальными фрезами с самым разнообразным фасонным профилем имеется целый ряд стандартных затылованных фрез:

- полукруглые выпуклые и вогнутые;
- дисковые зуборезные (модульные);
- червячные зуборезные;
- резьбонарезные;
- для стружечных канавок различных инструментов и др.

9.3. Затылование. Кривые затылования. Величина затылования

Затылованные фрезы и другие затылованные инструменты называются так потому, что в процессе их изготовления для оформления задней поверхности зуба применяется специфическая операция инструментального производства - затылование, выполняемая на специальных станках.

Основное назначение затылования - образование задних углов на зубьях инструмента.

Достоинством затылованного инструмента является сохранение профиля его зубьев при переточках по передней грани до полного износа.

Обработка задней поверхности зубьев затылуемого инструмента осуществляется резцом или шлифовальным кругом по определенной траектории, называемой кривой затылования. В качестве кривой затылования обычно используется спираль Архимеда. Объясняется это простотой изготовления и универсальностью кулачка - копира, управляющего возвратно-поступательным движением затылующего инструмента.

По мере равномерного вращения заготовки фрезы затыловочный резец перемещается к её центру, осуществляя съём металла с задней поверхности

зуба. Величина, характеризующая путь резца к центру заготовки, называется величиной затылования и определяется значением заднего угла.

Цикл движения резца (Рис. 19) при затыловании одного зуба состоит из рабочего хода, ему соответствует угол ξ_{px} , когда происходит обработка задней поверхности зуба, и холостого с углом ξ_{xx} , необходимого для возврата резца в исходное положение. Этим углам должны соответствовать углы φ_{px} и φ_{xx} на кулачке. Наиболее распространенным является угол $\varphi_{xx} = 90^\circ$ (может быть 60° и 45°).

Величину затылования можно определить из треугольника ΔABC , в котором:

$$\text{катет } AB = \pi \times D / Z,$$

$$\text{катет } BC = K,$$

$$K = (\pi \times D / Z) \times \operatorname{tg} \alpha,$$

где: D - диаметр затылуемой фрезы;

Z - число зубьев фрезы.

На рабочем чертеже сконструированного инструмента указывается величина затылования, а угол не дается.

Затыловочный станок оснащается комплектом кулачков с наиболее распространенными величинами затылования, до значений которых округляются расчетные величины K .

9.4. Задние углы затылованной фрезы

Задние углы в разных точках режущей кромки фасонной затылованной фрезы обычно неодинаковы. Величина их зависит от расстояния данной точки до оси фрезы и от угла поворота участка режущей кромки, на которой находится рассматриваемая точка, относительно оси фрезы (рис.20).

На участке режущей кромки AB задний угол определяется:

$$\operatorname{tg} \alpha = k \times z / \pi \times D_\phi,$$

на участке CD :

$$\operatorname{tg} \alpha_c = k \times z / \pi \times D_c.$$

Величина затылования одинакова, потому что затылование всего профиля выполняется одним резцом одновременно, следовательно:

$$\operatorname{tg} \alpha_c = D_\phi \times \operatorname{tg} \alpha / D_c,$$

то есть задние углы на участках режущей кромки, расположенных ближе к оси затылованной фрезы, больше, чем задний угол при вершине зуба. Важно знать нормальный задний угол, то есть в плоскости NN , нормальной к режущей кромке.

Из ΔMXP можно определить:

$$\operatorname{tg} \alpha_{NX} = \operatorname{tg} \alpha_p \times \cos \varphi,$$

или, с учетом положения точки X относительно оси фрезы:

$$\operatorname{tg} \alpha_{NX} = (D_\phi / D_K) \times \operatorname{tg} \alpha \times \cos \varphi.$$

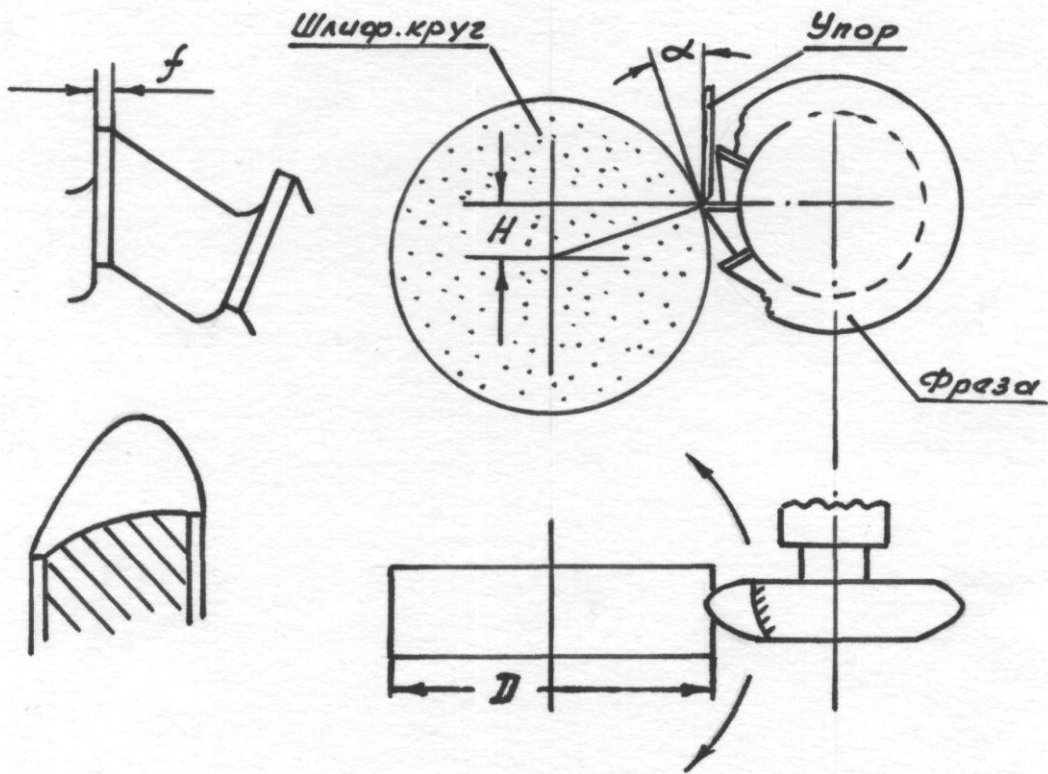


Рис. 18

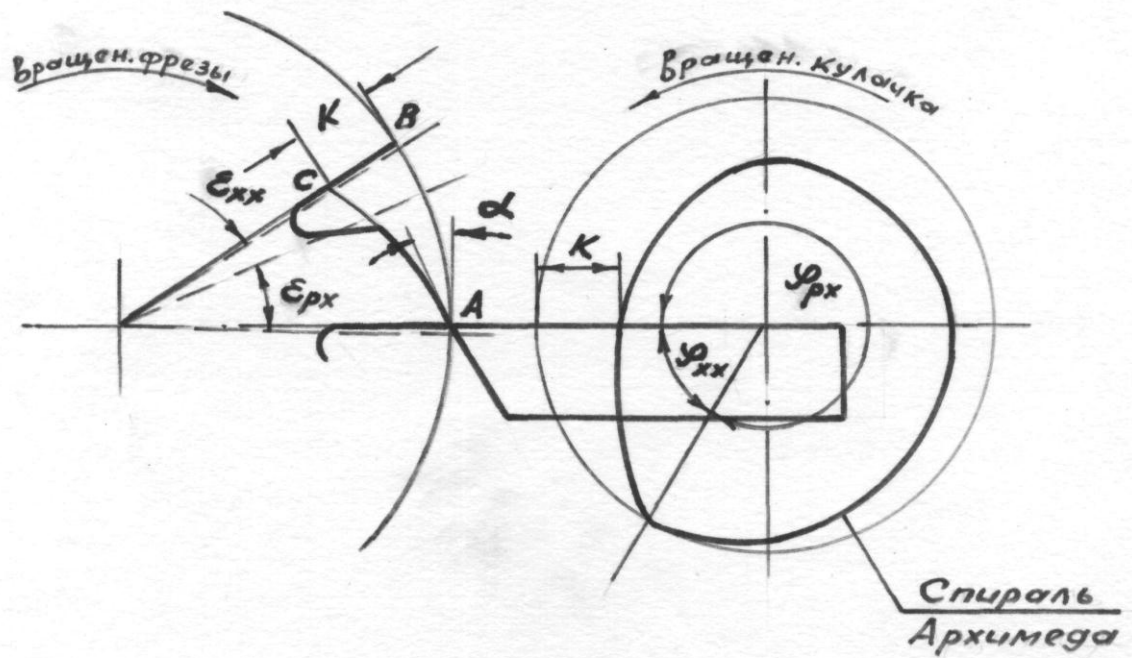


Рис. 19

При $\varphi = 90^\circ$, то есть, когда режущая кромка расположена перпендикулярно оси фрезы $\alpha_{\text{НХ}} = 0$ и необходимо принимать меры по обеспечению работоспособности этого участка режущей кромки.

Методы решения этой задачи при конструировании фасонных затылованных фрез следующие (рис.21.):

- поднутрение участка режущей кромки за счет шлифования ее под углом $1-3^\circ$ или оставления узкой ленточки;
- изменение положения детали при фрезеровании с соответствующим изменением положения профиля фрезы;
- специальное затылование - косое или осевое.

9.5. Двойное затылование

Для повышения точности и стойкости затылованных фрез необходимо производить затылование шлифовальным кругом. При этом чтобы повысить производительность обработки, целесообразно использовать шлифовальный круг увеличенного диаметра, но для такого круга необходимо увеличить и пространство между соседними зубьями для своевременного вывода его из зацепления без повреждения следующего за затылуемым зуба, то есть увеличить путь холостого хода.

Это можно сделать, применив двойное затылование (рис.22). Осуществляется двойное затылование следующим образом. Сначала выполняется первое затылование резцом на всей длине зуба фрезы с величиной затылования K_1 . Затем, после термической обработки, производится затылование шлифовальным кругом на длине примерно $2/3$ зуба с величиной затылования $K_2 = (0,6-0,8)K_1$. При этом пространство для выхода шлифовального круга из зацепления с зубом $\varphi_{\text{хш}}$ значительно больше пространства для выхода из зацепления резца $\varphi_{\text{кр}}$.

Применение двойного затылования оправдано и с точки зрения прочности зуба: переточка фрезы производится обычно в пределах двух третей толщины зуба.

9.6. Особенности конструирования фасонных затылованных фрез

При конструировании определяются основные параметры: диаметр фрезы, диаметр отверстия, число зубьев, шаг зубьев, профиль канавки, профиль зуба, величина затылования.

Необходимо учитывать следующие требования:

- достаточная прочность зуба;
- величина стружечных канавок новой фрезы должна обеспечивать размещение стружки;

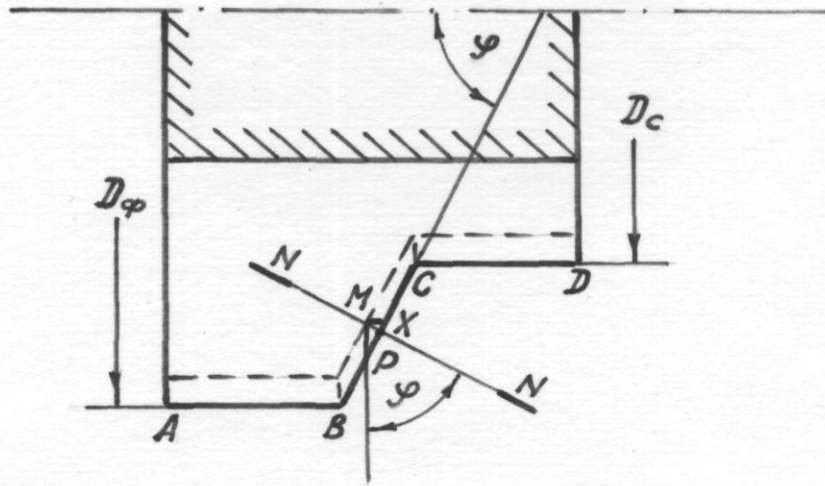


Рис.20

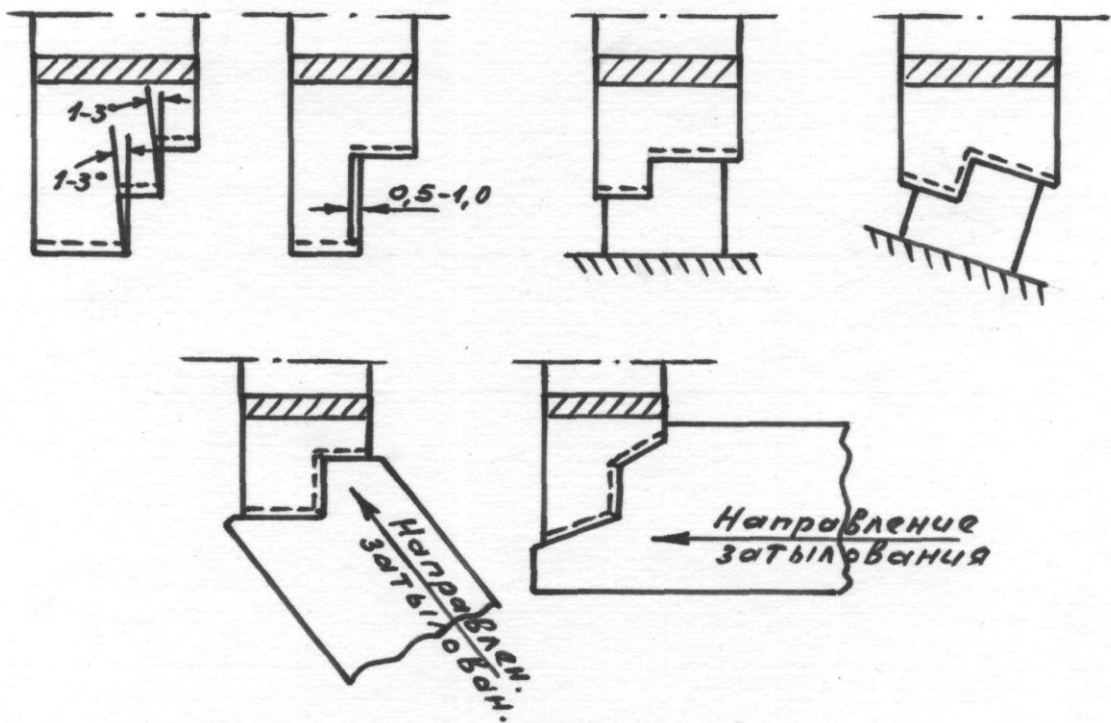


Рис.21

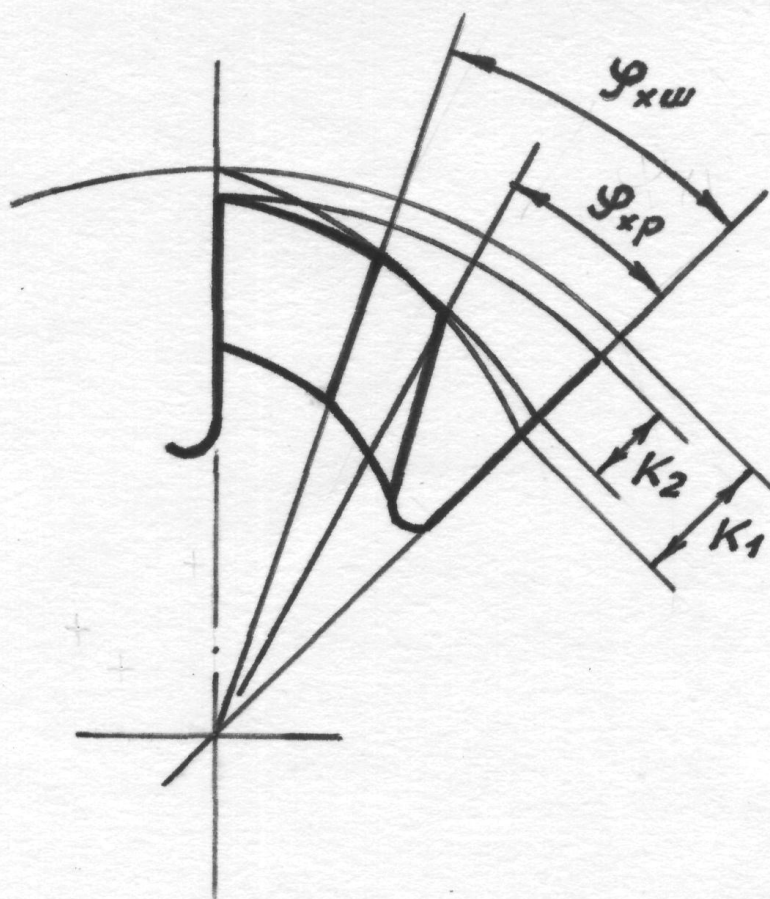


Рис.22

- необходимо предусмотреть достаточный запас на переточки по толщине зуба фрезы;
- число зубьев фрезы должно быть достаточным для плавной работы (одновременно в зацеплении с обрабатываемой деталью должны находиться как минимум 2 зуба);
- межзубные канавки в начальный период должны быть достаточны для выхода затыловочного резца или шлифовального круга.

Обычно передний угол у фасонных затылованных фрез равен нулю. В этом случае профиль режущей кромки зуба фрезы в передней плоскости соответствует профилю обрабатываемой детали и не требует специального расчета. Профиль режущих кромок затыловочного резца (инструмент 2-го порядка), у которого передний угол равен нулю, в передней плоскости также соответствует профилю детали, обрабатываемой фрезой.

Если передний угол фрезы не равен нулю, то профиль ее режущих кромок в передней плоскости зуба будет отличаться от профиля детали, в этом случае необходимо производить расчет профиля зуба фрезы в передней плоскости. Одновременно значительно усложняется затылование таких фрез, прежде всего с точки зрения геометрии и установки затыловочных резцов, профиль которых также необходимо специально рассчитывать.

10. Инструменты для обработки отверстий

Для обработки отверстий используются различные виды инструментов: сверла, зенкеры, развёртки, расточные головки, борштанги и другие.

Наиболее распространёнными являются свёрла, зенкеры и развёртки. Свёрла применяются для обработки отверстий в сплошном материале или для увеличения диаметра имеющегося отверстия. Зенкеры и развёртки служат для последующей обработки отверстий с целью получения более высокой точности и чистоты.

10.1. Основные типы сверл

Наиболее распространённой конструкцией является спиральное сверло (рис.23), состоящее из следующих частей:

- рабочая часть, включающая в себя режущую и направляющую;
- шейка для выхода инструмента при шлифовании сверла и нанесения маркировки;
- хвостовик, который может быть коническим или цилиндрическим (для диаметров до 10 мм).

Передняя поверхность сверла – винтовая, по ней отводится стружка, задняя может быть конической, винтовой или плоской. У сверла два зуба, поэтому – две передних и две задних поверхности, пересечение которых образуют две главные режущие кромки.

На цилиндрической поверхности рабочей части сверла – узкая полоска шириной f – ленточка, направляющая сверла при сверлении. Пересечение ленточки и передней поверхности образует вспомогательную режущую кромку.

Поперечная кромка должна быть расположена строго по оси.

Геометрические параметры сверла включают:

- угол при вершине 2φ , зависящий от прочности обрабатываемого материала (для чугуна и стали $2\varphi = 116^\circ - 118^\circ$);
- угол наклона винтовой стружечной канавки ω для стандартных сверл $18^\circ \div 30^\circ$;
- передний угол γ по длине главной режущей кромки переменный: максимальный – на периферии, минимальный – у оси;
- задний угол α тоже переменный: на периферии $\sim 8^\circ$, у оси $\sim 25^\circ$;
- угол наклона поперечной кромки $\psi = 50^\circ \div 55^\circ$.

При работе сверла возникают погрешности обработки, возможно появление овальности отверстия, конусности, искривления оси. Величина их зависит от размеров отверстия (диаметр и длина), от свойств обрабатываемого материала и режимов обработки. Точность сверления находится в пределах 12-14 квалитетов.

Обычно спиральные сверла изготавливаются из быстрорежущей стали. Наряду с быстрорежущими используются твердосплавные сверла, оснащённые пластинами твёрдого сплава или цельные. Используются они в основном

для сверления чугуна или неметаллических материалов (бетон, гранит, пластмассы и др.).

Для обработки нетвёрдых материалов (напр. древесина) или для разовых работ можно использовать перовое (лопаточное) сверло. Центровочные сверла применяют для получения центровочных отверстий. Это двухсторонние сверла, которые могут быть без предохранительного конуса, с предохранительным конусом или с радиусной образующей.

10.2. Сверла для глубоких отверстий

Этими сверлами обрабатываются отверстия, длина которых в 10 и более раз больше диаметра. Особенностью сверления является вращение детали, сверло имеет только осевое движение подачи, обработка ведется на специализированных станках.

Основное назначение этих инструментов следует из их названия (рис.24).

Пушечное сверло имеет главную режущую кромку, расположенную перпендикулярно оси сверла и задний угол $\alpha = 10^\circ \div 15^\circ$. При сверлении инструмент надо периодически выводить из отверстия для удаления стружки.

Ружейное сверло представляет собой усовершенствованную конструкцию пушечного сверла, в теле которого имеется отверстие, сквозь него в зону резания под давлением подаётся СОЖ и удаляет стружку, поэтому процесс сверления не прерывается. Это сверло может снабжаться твердосплавным наконечником.

Эжекторное сверло – современная конструкция для обработки отверстий диаметром 20÷60 мм. Корпус его снабжён режущими и направляющими твердосплавными пластинами. На цилиндрической части корпуса имеются радиальные отверстия. Через зазор между обрабатываемым отверстием и трубой оправки под давлением подаётся СОЖ, часть которой поступает в зону резания а часть через отверстия в корпусе – внутрь оправки, создавая эффект эжекции. В результате стружка из зоны резания «вытягивается», происходит её энергичное удаление.

10.3. Назначение и основные типы зенкеров

Зенкеры применяются для получения отверстий более высокого класса (9-10 квалитет) точности и меньшей шероховатости, чем при сверлении. Зенкером можно обрабатывать сквозные и глухие предварительно обработанные отверстия для получения большего диаметра, а также цилиндрические углубления под головки болтов и винтов, конусные фаски на краях отверстий и торцевые поверхности бобышек и ступиц (рис.25).

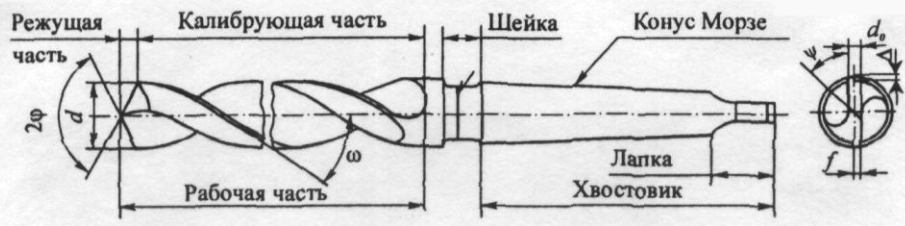
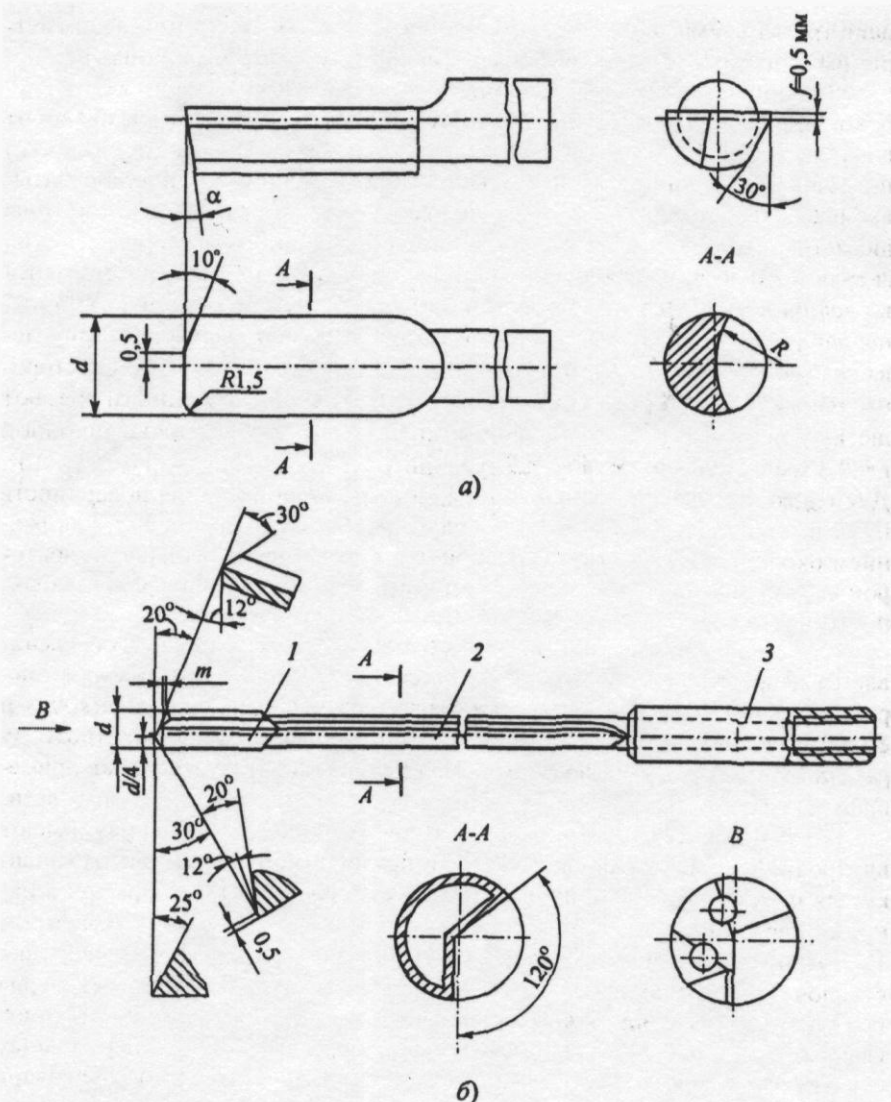


Рис. 23



Сверла для сверления глубоких отверстий:
 а – пушечное ($d = 3 \dots 36$ мм); б – ружейное ($d = 1 \dots 30$ мм)

Рис. 24

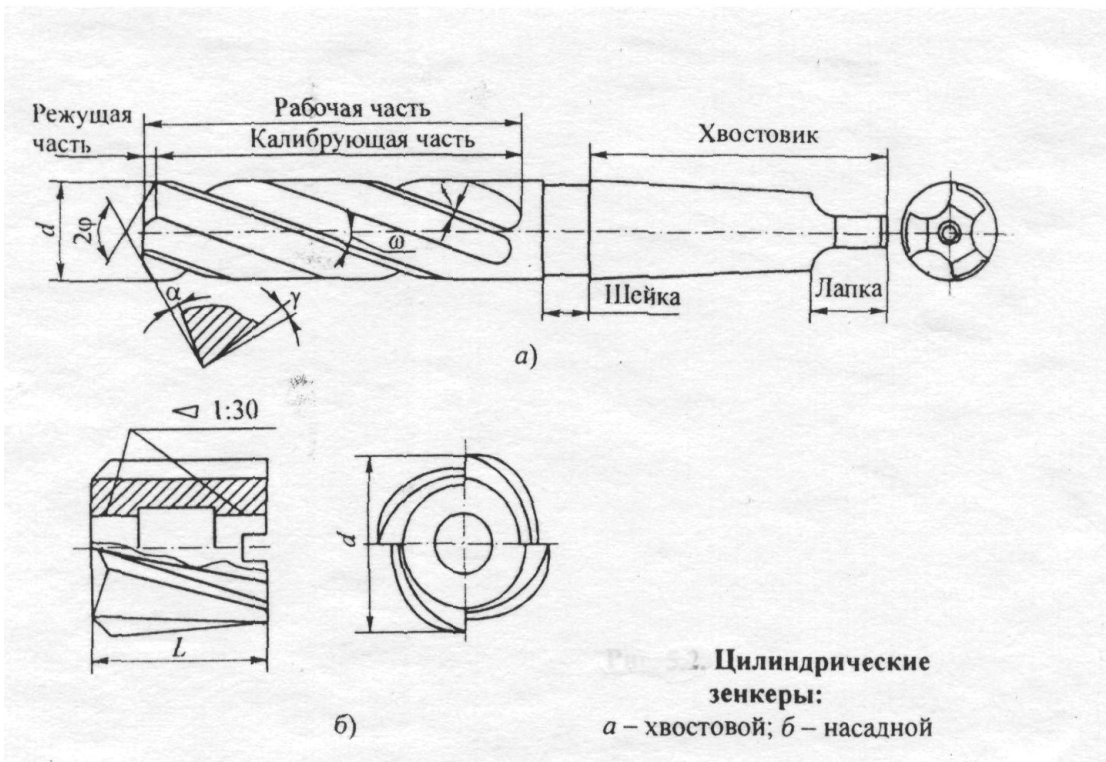
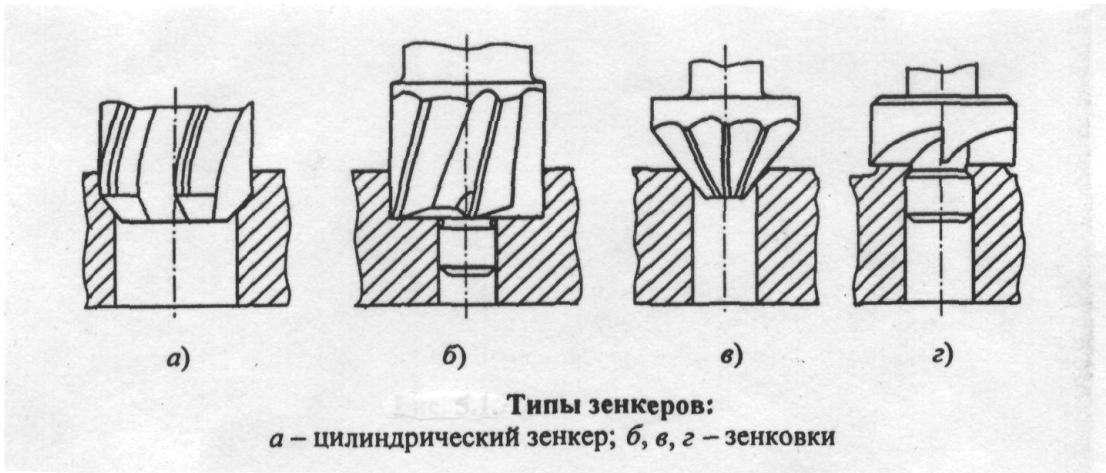


Рис. 25

Расточные зенкеры могут быть хвостовыми и насадными. Конструкция хвостового зенкера имеет те же элементы, что и сверло.

Насадной зенкер для крепления на станке с помощью оправки имеет коническое отверстие с конусностью 1:30, крутящий момент передаётся посредством шпоночных пазов на торце зенкера (рис.25).

Рабочая часть зенкера, удаляющая припуск 1-4 мм, состоит из зубьев ($z = 3-6$) с режущей и направляющей частью, которые обычно выполняются винтовыми под углом $\omega = 10-25^\circ$.

Сердцевина зенкера больше, чем у сверла, поэтому зенкер за счёт своей жесткости позволяет устранить погрешности сверления.

Геометрические параметры зенкеров: передний угол $\gamma = 0 \div 10^\circ$; Задний угол измеряется в нормальном сечении главной режущей кромки или в осевом и составляет $6-15^\circ$. На калибрующей (направляющей) части задний угол $\alpha = 0$, так как имеется цилиндрическая ленточка. Эта часть также имеет обратную конусность.

Зенкеры могут быть цельными и сборными, оснащенными пластинами твёрдого сплава, диаметры обрабатываемых отверстий от 3 до 80 мм.

10.4. Назначение и особенности разверток

Развёртки применяют для окончательной обработки отверстий после сверления, зенкерования, растачивания для получения высокой точности (6-8 качества) и шероховатости ($R_a = 1,25 - 0,16$ мкм) поверхности отверстия. Припуск на развертывание составляет $0,15 \div 0,5$ мм для черновых развёрток и $0,05 \div 0,25$ мм для чистовых. Количество зубьев у развертки 6-12 обычно четное.

Развёртка может быть хвостовой и насадной, хвостовая состоит из рабочей части, шейки и хвостовика (рис.26). Рабочая часть включает режущую и калибрующую, может иметь направляющий конус. Калибрующая заканчивается обратной конусностью, предохраняющей развертку от заклинивания и повреждения отверстия при выводе развёртки.

Ручная развёртка имеет цилиндрический хвостовик и квадрат под вороток для передачи крутящего момента.

Передний угол γ у чистовых развёрток равен нулю, у черновых $\gamma = 0 \div 15^\circ$.

Задний угол α на режущей части у развёрток составляет $6 \div 15^\circ$, на калибрующей части он равен нулю, так как имеется цилиндрическая ленточка.

Главный угол в плане ω , при обработке сквозных отверстий $1-2^\circ$ (для ручных развёрток); $\varphi = 5 \div 15^\circ$ для машинных развёрток.

Вспомогательный угол в плане ω_1 у разверток оформлен в виде обратной конусности, что есть уменьшение диаметра к хвостовику, которое не должно превышать допуска на изготовление развёртки.

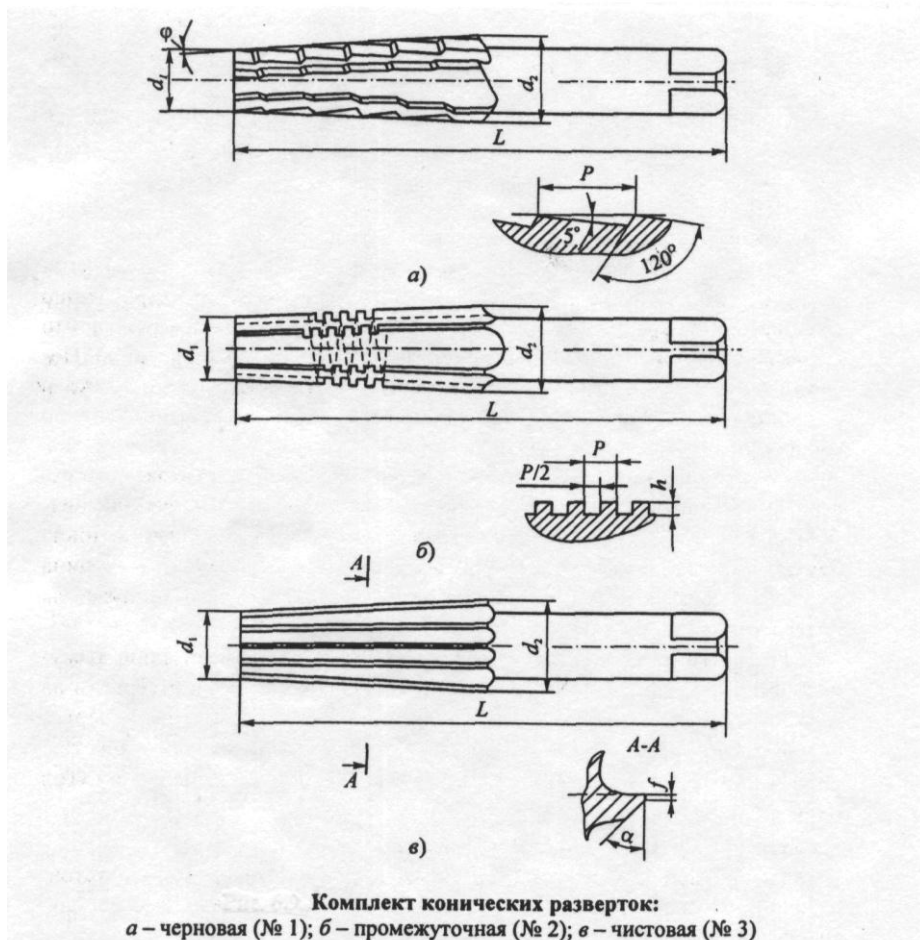
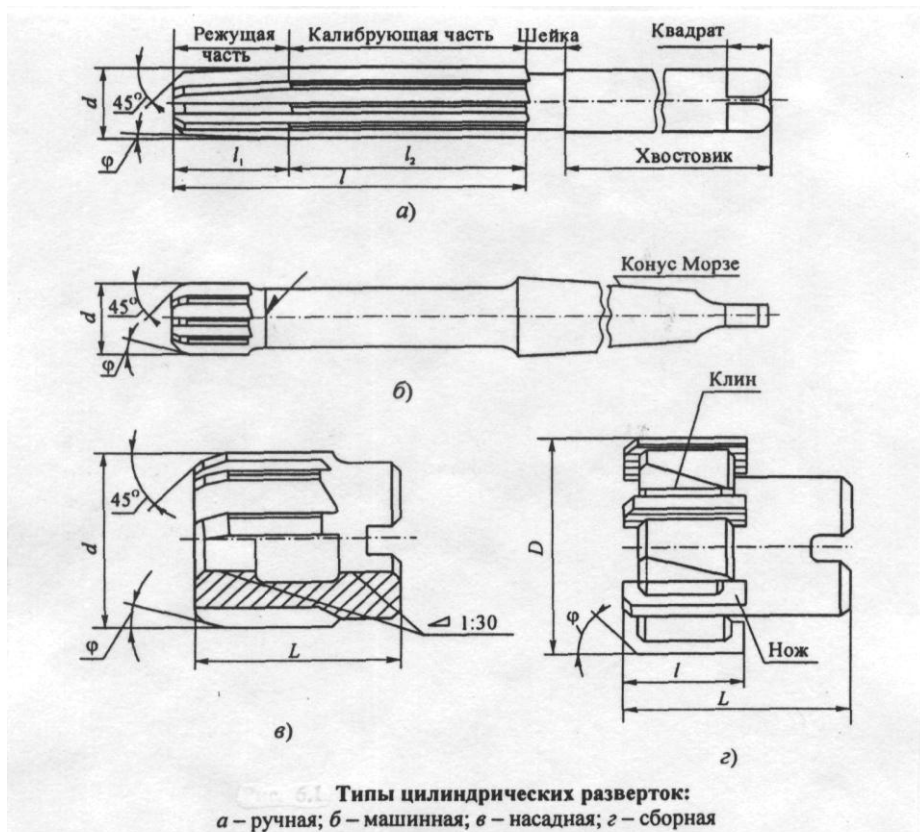


Рис. 26

Зубья развёртки могут быть прямыми или винтовыми, в этом случае угол наклона $\omega = 10 \div 25^\circ$.

Для обработки конических отверстий применяются конические развёртки, набор которых состоит из трёх штук. Рабочая часть этих развёрток является одновременно и режущей и калибрующей (рис.26).

11. Резьбонарезные инструменты

Образование резьбы осуществляется инструментами, которые можно подразделить на три группы в зависимости от метода обработки резьбы:

- нарезание резьбы лезвийным инструментом с образованием стружки: резьбовые резцы и гребенки, метчики, резьбонарезные плашки, резьбонарезные головки, резьбовые фрезы;
- шлифование резьбы однониточными и многониточными мелкозернистыми шлифовальными кругами;
- накатывание резьбы: накатные ролики, плоские накатные плашки, головки с накатными роликами, раскатники.

Часто нарезание резьбы разделяют на две операции: черновую и чистовую, особенно это важно при нарезании точных и длинных резьб.

11.1. Резьбовые резцы и гребенки

Резьбовые резцы применяются для нарезания наружных и внутренних резьб. По конструкции резьбовые резцы могут быть стержневыми, призматическими и круглыми, а также однониточными и гребенчатыми (многониточными).

Боковая поверхность резьбы является винтовой поверхностью, поэтому действительные задние углы резца при нарезании резьбы будут изменяться в зависимости от угла профиля резьбы и угла ее подъема (рис.27).

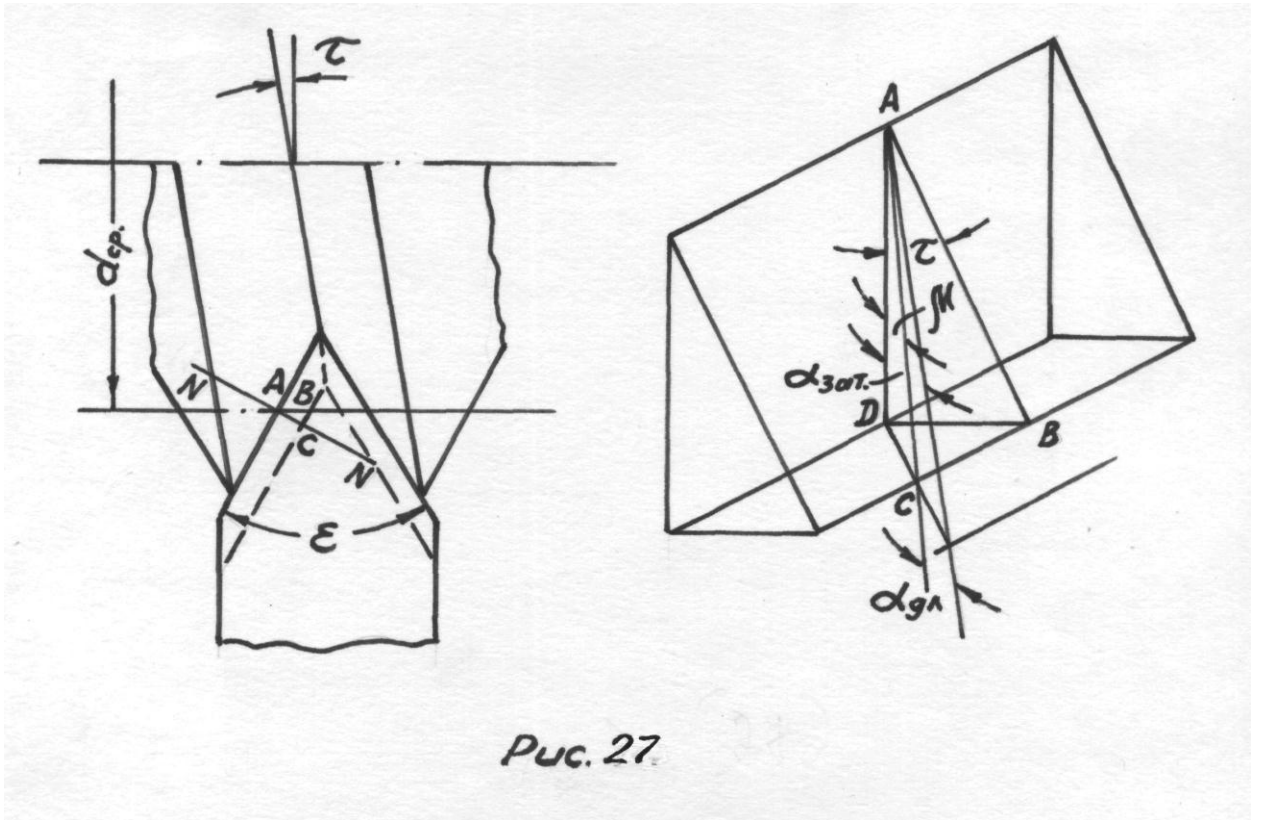
Угол подъема резьбы условно принимается при расчетах для среднего диаметра:

$$\operatorname{tg} \tau = S / \pi \times d_{\text{ср}},$$

где S - шаг резьбы.

Для определения действительных задних углов в нормальном сечении к режущим кромкам NN можно воспользоваться следующей формулой, полученной при решении прямоугольных треугольников пирамиды $ABCD$:

$$\operatorname{tg} \mu = \operatorname{tg} \tau \times \cos \varepsilon / 2.$$



Тогда:

$$\alpha_{AE} = \alpha_{CRN} - \mu,$$

$$\alpha_{AE} = \alpha_{CRN} + \mu.$$

Для треугольных резьб влияние μ можно не учитывать. При нарезании многозаходных резьб и резьб с малым углом профиля и большим углом подъема угол μ получается достаточно большим и его необходимо учесть при конструировании резьбового резца.

При нарезании точных трапецеидальных резьб резец с прямолинейными режущими кромками необходимо устанавливать таким образом, чтобы они располагались в осевом сечении резьбы, только в этом случае возможно геометрически правильно сформировать резьбу, поверхность которой, представляет собой архимедову винтовую поверхность (рис. 28). Однако такую установку из-за неодинаковых условий резания справа и слева (разные передние углы) можно применить лишь при чистовой обработке резьбы. При черновой обработке переднюю поверхность резца целесообразно располагать в плоскости, нормальной к направлению нарезаемой резьбы, в этом случае условия резания справа и слева будут одинаковы и можно применять более интенсивные режимы обработки. Но в этом случае прямолинейные режущие кромки резца не дают геометрически правильную форму профиля резьбы в осевом сечении: профиль резьбы получается вогнутый, так называемая "разваленная" резьба.

Гребенками называют многониточные резцы. Они бывают плоскими (стержневыми), призматическими и круглыми. Обычно рабочая часть гребенки состоит из режущей (заборной), срезанной под углом $\varphi = 2 - 5^\circ$ и калибрующей (4-6 витков).

Наиболее распространенные - круглые гребенки с кольцевой и винтовой нарезкой.

Нарезание наружной правой резьбы выполняется гребенкой с левой винтовой нарезкой и наоборот.

При нарезании внутренней резьбы направление нарезки на детали и гребенке совпадают.

При работе круглая гребенка с винтовой нарезкой устанавливается, как и фасонный резец, со смещением ее оси относительно оси обрабатываемой детали.

11.2. Метчики

Метчики применяются для нарезания внутренних резьб, представляют собой винт, на котором образованы режущие кромки с помощью продольных прямых или винтовых канавок.

Основные типы метчиков: ручные, гаечные, машинные, плашечные, маточные, калибровочные, регулируемые, бесканавочные, метчики для раскатки резьбы.

Рабочая часть метчика состоит из режущей - заборной, и калибрующей. Режущая производит черновое нарезание резьбы, калибрующая - зачистку и окончательную обработку до заданной точности (рис. 29) Хвостовая часть представляет собой стержень с квадратом для передачи крутящего момента. Конструкцию и геометрию метчика определяют следующие параметры:

- стружечные канавки;
- режущие перья;
- сердцевина (внутренняя часть тела метчика);
- передний угол γ , выбираемый в зависимости от обрабатываемого материала;
- задний угол α , образованный на заборной части затылованием по наружному диаметру;
- угол режущей или заборной части ϕ ;
- угол наклона стружечных канавок.

Если резьба метчиков выполняется шлифованной, то одновременно производят затылование для образования задних углов по всему профилю резьбы на всей длине рабочей части, величина затылования 0,02 - 0,05 мм на ширине пера. Это приводит к значительному уменьшению трения и облегчению работы метчика.

Для уменьшения трения и исключения возможного заклинивания метчика при работе его резьбовую часть изготавливают с обратным конусом, то есть диаметры резьбы уменьшаются к хвостовику на 0,05 - 0,12 мм на 100 мм длины резьбовой части.

При нарезании резьбы вручную всю работу распределяют между двумя или тремя метчиками (используют комплект метчиков). Полный профиль резьбы при этом имеет чистовой метчик, у чернового и среднего диаметры резьбы меньше. Различна и длина заборной части: у чернового - 4-6 шагов резьбы, у чистового - 1,5-2 шага резьбы.

Для производительной работы метчиков необходимо, чтобы размеры и профиль стружечных канавок обеспечивали размещение стружки, не снижая прочности метчика, а также при вывинчивании метчика не портили резьбу. Из трех, используемых в настоящее время типовых профилей: полукруглого, углового и двухрадиусного, наилучшим является последний (рис. 30)

Поле допуска метчика (рис.31) строится с учетом особенностей его работы: помимо допуска на изготовление по всем трем диаметрам следует учесть допуск на износ по среднему и наружному диаметрам и величину разбивания по среднему диаметру, появляющуюся в результате неизбежных неточностей при изготовлении метчика.

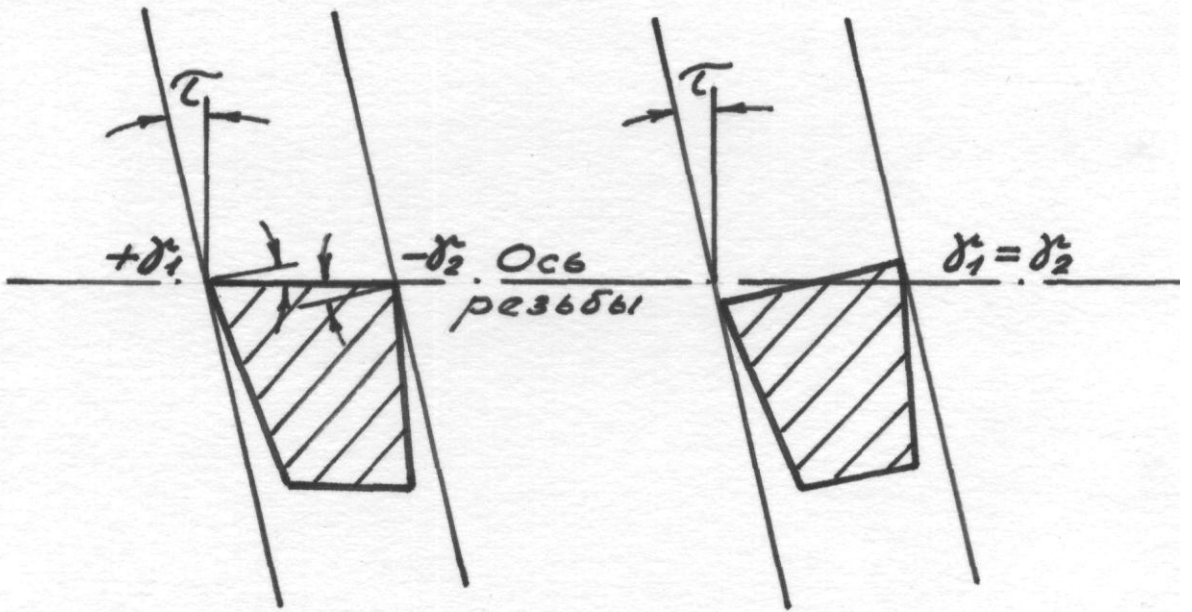


Рис. 28

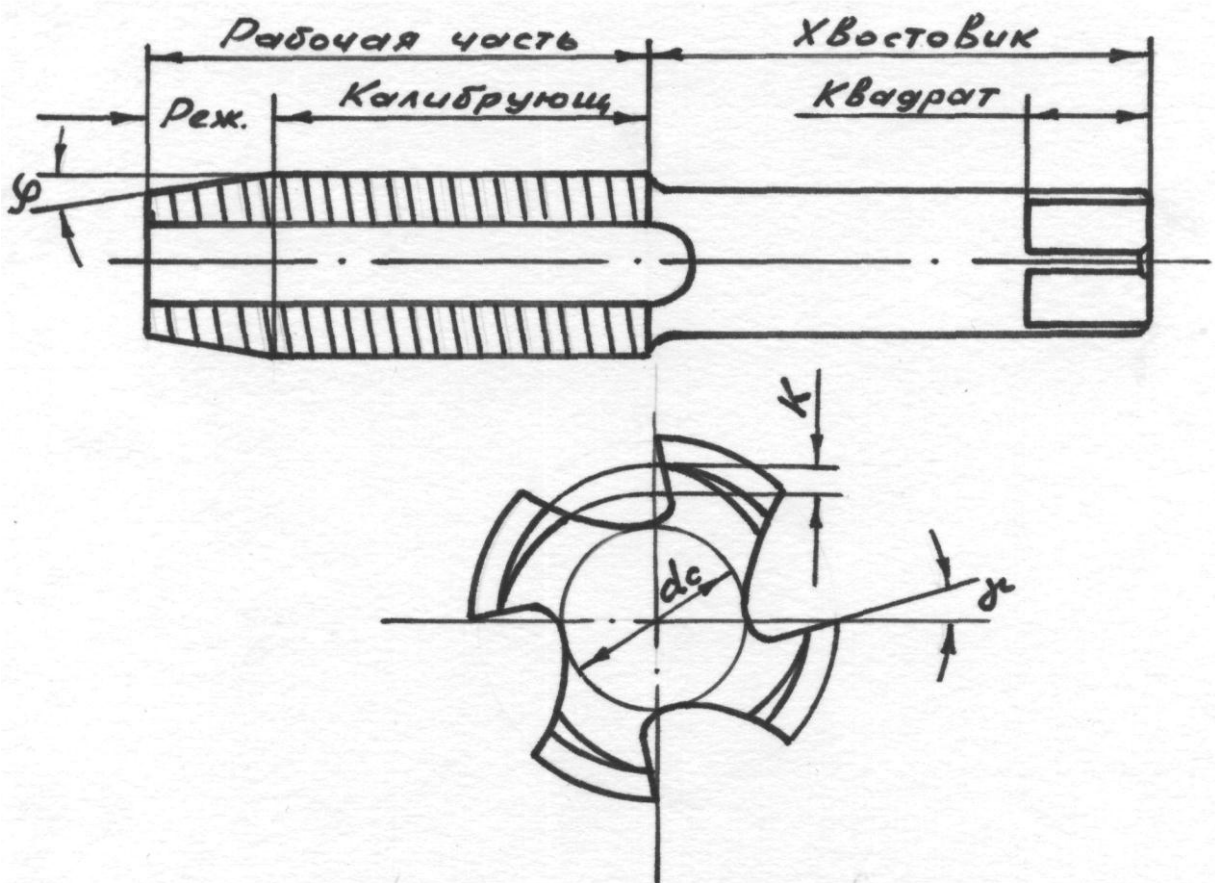


Рис. 29

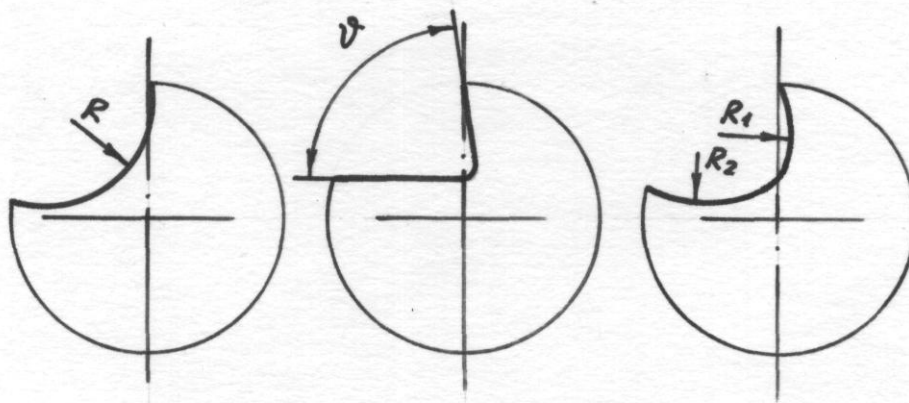


Рис. 30

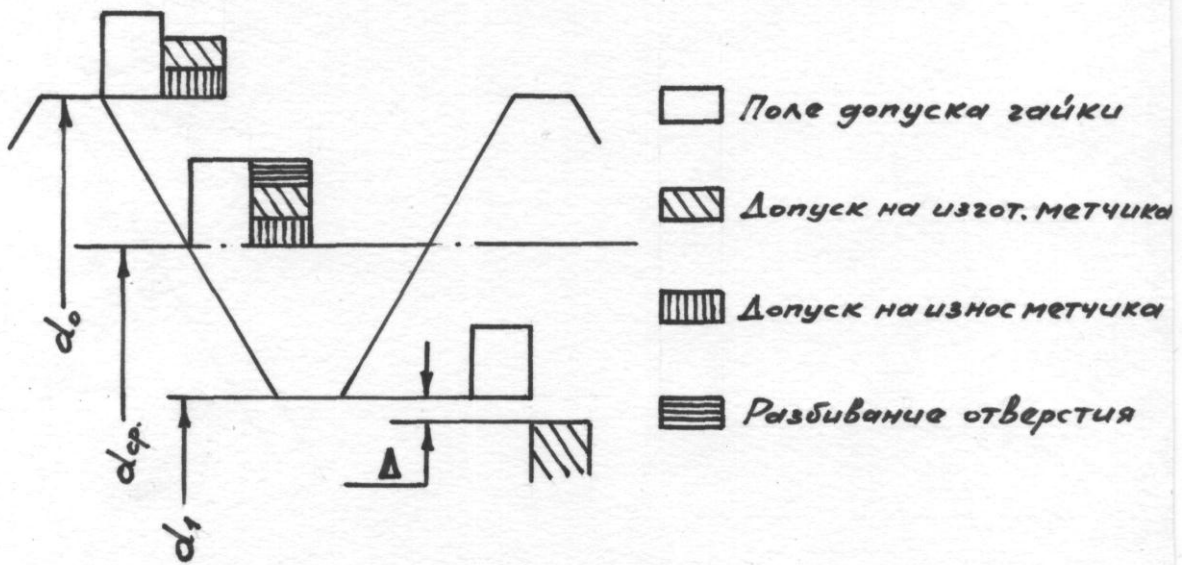


Рис. 31

11.3. Резьбонарезные фрезы

Для нарезания резьбы применяются дисковые и гребенчатые фрезы (рис. 32).

Дисковыми резьбовыми фрезами нарезают резьбы (в основном трапецеидальные) на ходовых винтах и червяках. Фрезерование применяют только в качестве предварительного нарезания резьбы. Дисковые фрезы могут быть с симметричным и несимметричным профилем. Поскольку поверхность резьбы - Архимедова винтовая поверхность с прямолинейным профилем в осевой

плоскости, профиль режущих кромок фрезы, устанавливаемой нормально к направлению нарезки, должен быть криволинейным. Так как фрезерование обычно используют для черновой обработки резьбы, то режущие кромки выполняют прямолинейными но угол профиля зуба фрезы корректируют:

$$\operatorname{tg} \varepsilon_{\text{пр}} = \operatorname{tg} \varepsilon_{\text{резьбы}} \times \cos \tau,$$

где τ - угол подъема резьбы на среднем диаметре.

Дисковые резьбовые фрезы выполняются с острозаточенными зубьями: выше стойкость и производительность по сравнению с затылованными.

Гребенчатые фрезы применяют для фрезерования остроугольных резьб небольшой длины. Резьбовые гребенчатые фрезы имеют кольцевую нарезку и затылованные зубья. Могут быть насадными и концевыми. Стружечные канавки у гребенчатых фрез обычно прямые. Длина фрезы должна быть больше длины нарезаемой резьбы на 2-3 шага.

11.4. Резьбонакатные инструменты

При накатывании резьбы процесс ее формирования происходит за счет пластического деформирования поверхностных слоев. Преимущества накатывания резьб: резьба прочнее; экономия металла; высокая производительность.

Наиболее распространенные способы накатывания резьбы:

- плоскими накатными плашками;
- накатными роликами (рис.33).

При накатывании плоскими накатными плашками одна из них крепится неподвижно в станке, а другая совершает возвратно-поступательные движения относительно неподвижной. На помещаемой между ними заготовке формируется резьба в результате прокатывания. На плашке имеется заборная, калибрующая и выходная части. Заборная часть служит для формирования резьбы, от длины заборной части зависит степень деформирования. Часто заборная часть выполняется только на неподвижной плашке.

Длина, высота и ширина плашки рассчитывается в зависимости от параметров нарезаемой резьбы, материала деталей и особенностей эксплуатации плашек.

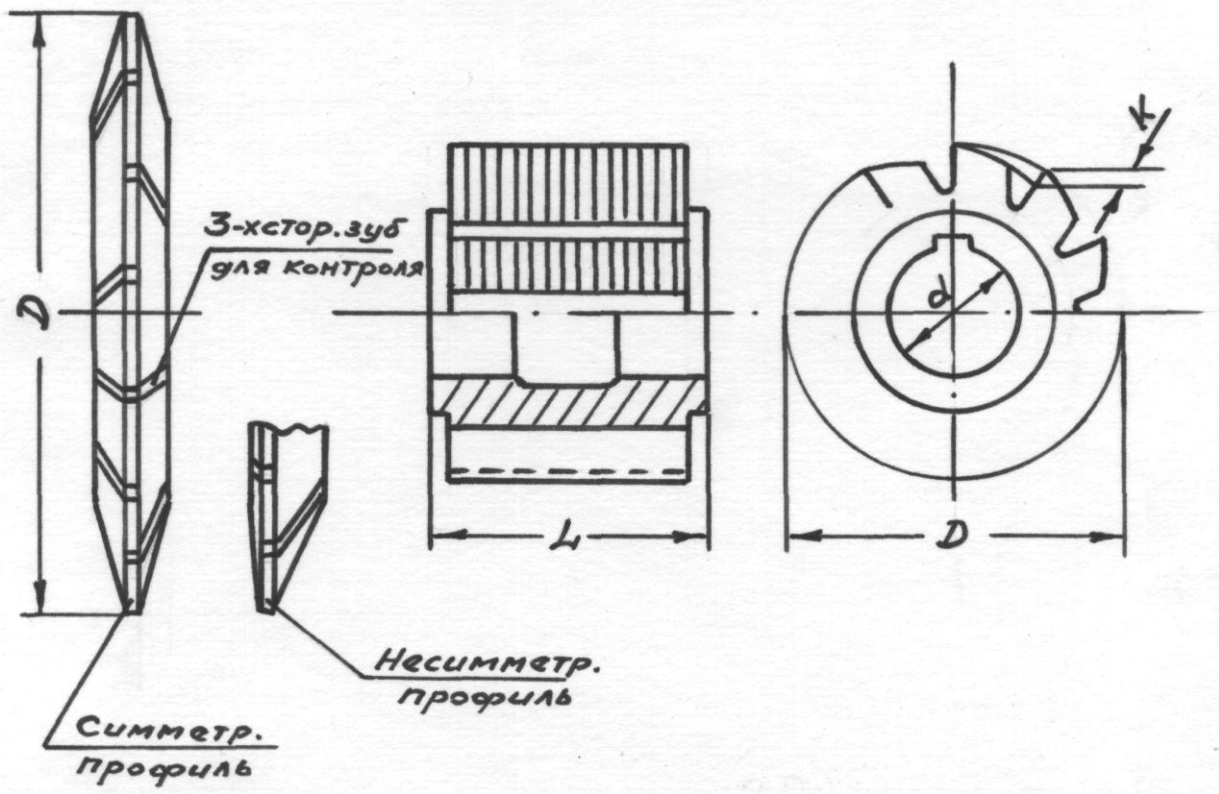


Рис. 32

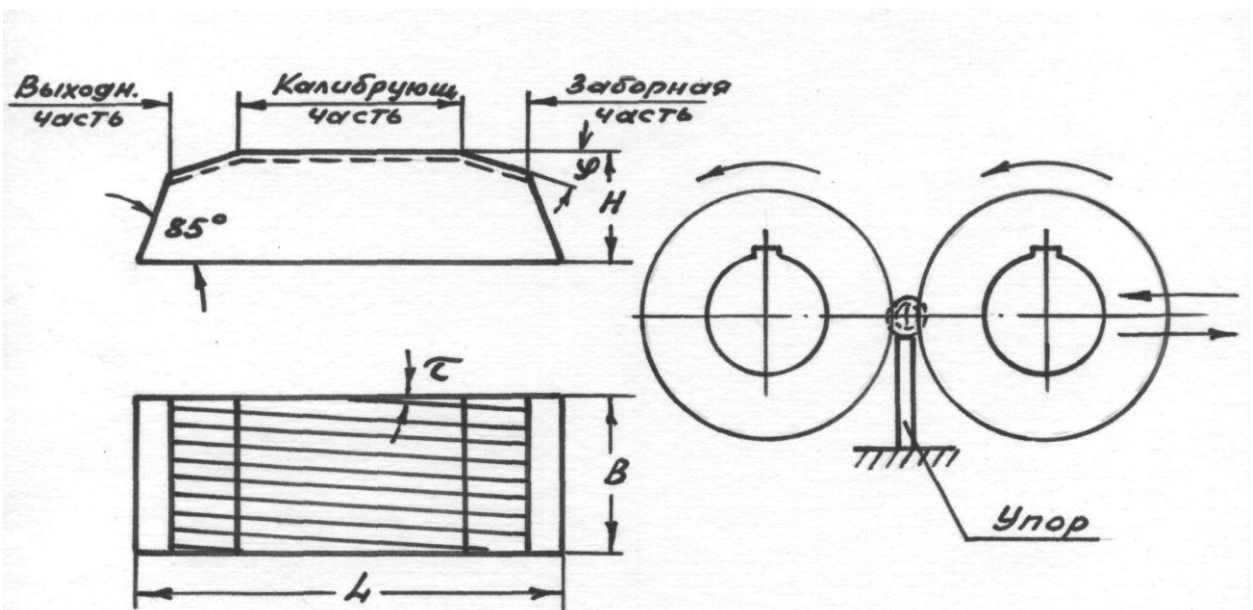


Рис. 33

Накатывание резьбы роликами производится на специальных накатных станках. Ролики вращаются в одну сторону, один из них - подвижный - перемещается к центру накатываемой резьбы. Заготовка помещается между роликами на упоре так, чтобы ось её была расположена на 0,1-0,2 мм ниже оси роликов. Накатывание роликами обеспечивает более точную резьбу, можно накатывать резьбу на тонкостенных деталях.

Диаметры роликов обычно больше диаметров накатываемых резьб, поэтому для сохранения одинакового угла подъема резьбы должно выполняться соотношение:

$$\frac{D_{нд}}{d_{нд}} = n,$$

где n - целое число, равное числу заходов резьбы ролика, $D_{ср}$ - диаметр ролика, $d_{ср}$ - диаметр накатываемой резьбы.

Основные параметры ролика определяются в зависимости от условий его работы: диаметр - по габаритам станка, ширина B - по длине накатываемой резьбы. Направление резьбы ролика противоположно направлению резьбы детали.

При расчете среднего диаметра роликов необходимо учитывать запас на переточку, осуществляемую шлифованием профиля резьбы ролика: $\pm 0,0175 D_{ср}$.

12. Зуборезные инструменты

Зубчатые передачи имеют широкое распространение в машиностроении. При конструировании зуборезного инструмента необходимо учитывать, что существуют зубчатые передачи эвольвентного, циклоидального, зацепления Новикова и других профилей. Наиболее распространенное - эвольвентное зацепление с углом 20° .

Основные принципы конструирования зуборезных инструментов для разных видов зацепления аналогичны, поэтому достаточно более подробно рассмотреть их применительно к обработке зубчатых колес эвольвентного зацепления.

Зубчатые колеса можно обрабатывать двумя основными методами:

- методом копирования - нарезание зубьев фасонным инструментом, форма режущей кромки, которого соответствует форме впадины зуба;
- методом обкатки - зубья колеса образуются в результате относительного движения режущей кромки инструмента, представляющего собой профиль сопряженной рейки или профиль зуба сопряженного колеса.

В зависимости от метода обработки все зуборезные инструменты можно разделить на две группы:

- фасонные инструменты, работающие методом копирования: модульные дисковые и пальцевые фрезы; зуборезные головки; накатные ролики; протяжки;

- инструменты, работающие методом обкатки: зуборезные гребенки; червячные фрезы; долбяки; строгальные резцы; различные резцовые головки (для конических колес); шеверы; шлифовальные круги (со специальной правкой).

12.1. Дисковые модульные фрезы

Это фасонные фрезы с затылованными зубьями, профиль которых соответствует профилю впадины нарезаемого колеса (рис.34). Применяются в индивидуальном производстве и для ремонтных работ, для их использования не требуется специального оборудования, но точность обработанных колес невелика - 9-10 степень.

Профиль зуба состоит из рабочего участка - эвольвенты - отрезок АВ и нерабочего - переходной кривой ВС. Координаты профиля определяются аналитически или графическим построением. Для упрощения расчетов имеются специальные таблицы.

Форма эвольвенты зависит от диаметра основной окружности, поэтому для каждого числа зубьев нарезаемого колеса следовало бы иметь дисковую модульную фрезы. Это дорого и неудобно, поэтому одну фрезу применяют для нарезания колес с близким числом зубьев; от 12 до бесконечности (рейка) используют наборы модульных фрез из 8 штук (основной до $m = 8$ включительно), 15 и 26 штук (см табл).

Номер фрезы	1	2	3	...	7	8
Число зубьев колеса	12-13	14-16	17-20	...	55-134	135 и более

Профиль зуба фрезы рассчитывается для меньшего числа зубьев нарезаемого колеса.

Для сохранения точности профиля дисковых модульных фрез обычно используют предварительное фрезерование черновыми модульными фрезами с передним углом 8-10°.

Чистовые фрезы применяют для снятия небольшого припуска, передний угол у них равен нулю.

Профиль фрез обычно нешлифованный, для повышения их точности иногда применяется шлифование профиля, в этом случае выполняется двойное затылование.

12.2. Пальцевые модульные фрезы

Применяются эти фрезы (рис.34) в тяжелом машиностроении для фрезерования прямозубых, косозубых и шевронных колес крупного модуля (свыше 20 мм).

Чистовая пальцевая фреза - затылованная фреза с передним углом равным нулю. Профиль ее в осевом сечении соответствует профилю впадины прямозубого зубчатого колеса, для косозубого и шевронного необходим специальный расчет, так как осевой профиль фрезы отличается от профиля впадины колеса в нормальном сечении.

Черновая пальцевая фреза, имеет передний угол $\gamma=8-10^\circ$ и стружкоразделительные канавки.

Пальцевые фрезы могут быть сборными.

Наружный диаметр и длина фрезы выбираются в зависимости от размеров профиля.

Из-за разного диаметра фрезы задний угол при затыловании на длине зуба различный; чтобы уменьшить эту разницу, применяют косое затылование под углом $10-15^\circ$.

12.3. Зуборезные гребенки

Зуборезная гребенка - один из первых появившихся инструментов для обработки зубчатых колес методом обкатки. В настоящее время применяется сравнительно редко.

Зуборезная гребенка осуществляет обработку зубчатого колеса строгающим, совершая возвратно-поступательные движения и обкатываясь относительно обрабатываемого колеса.

Нарезание зубчатых колес гребенкой более точный, но менее производительный метод по сравнению с обработкой червячной зуборезной фрезой.

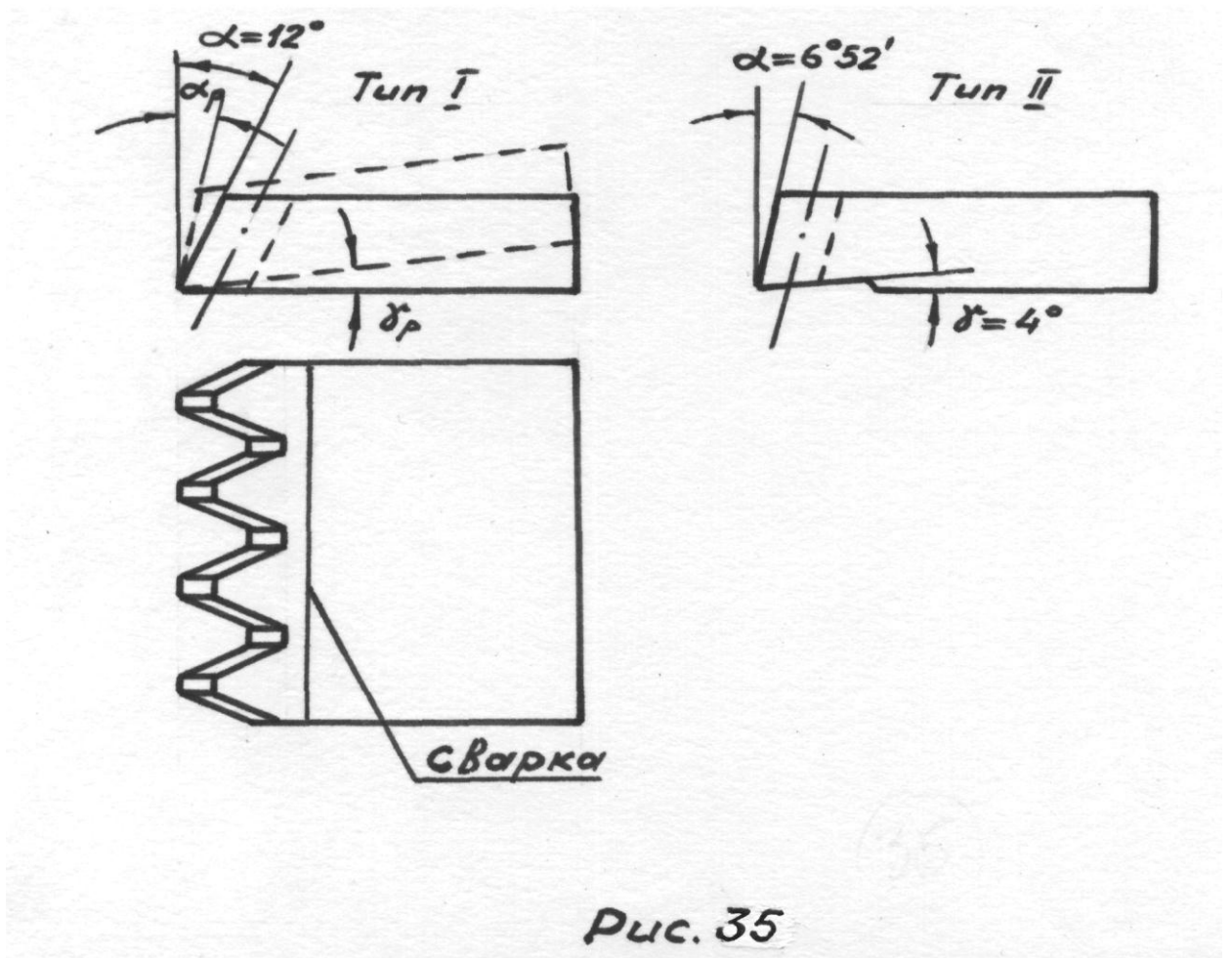
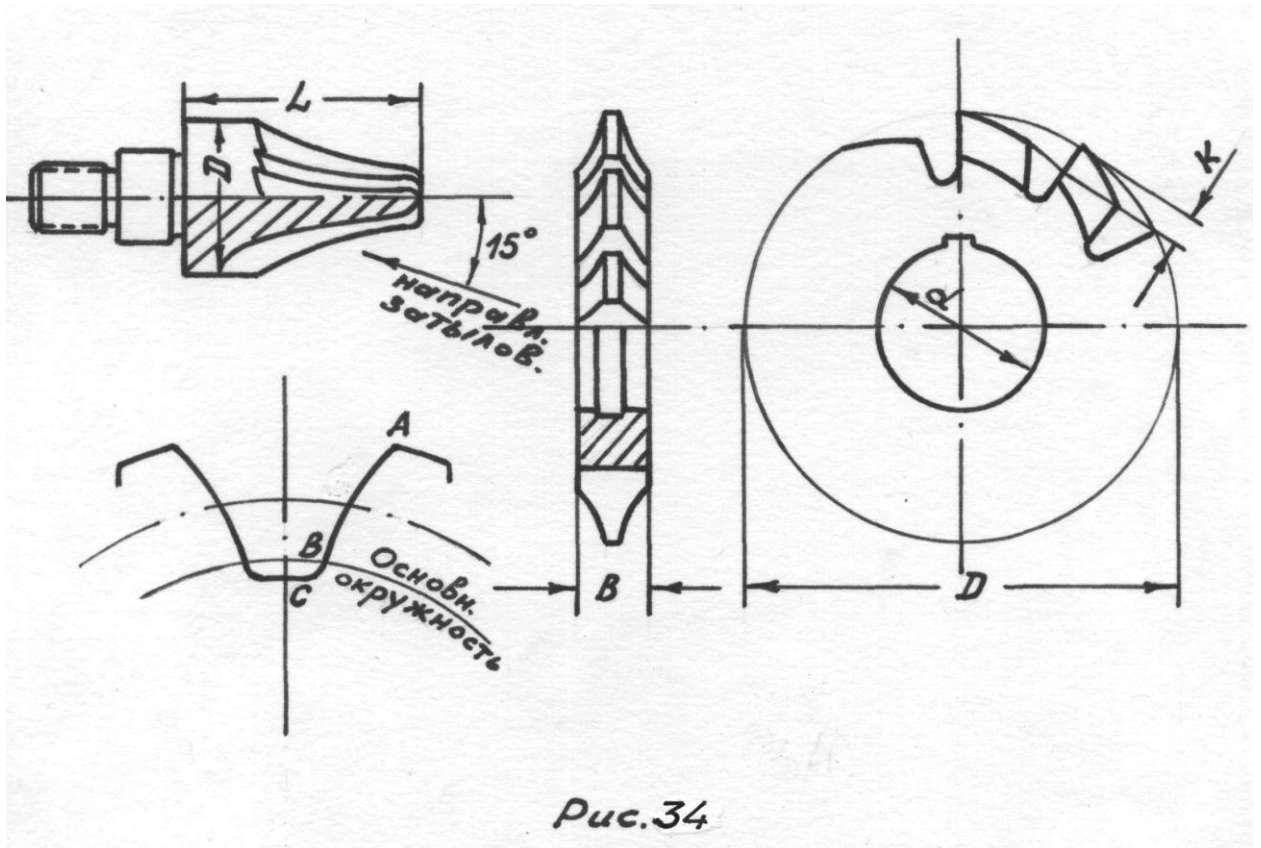
Существуют два вида гребенок: прямозубые - для обработки цилиндрических колес и косозубые - для обработки шевронных колес.

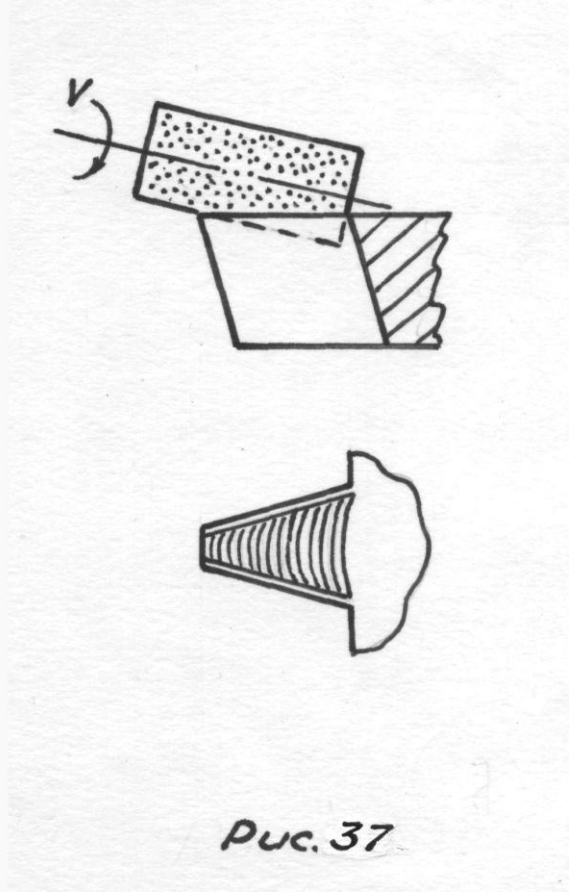
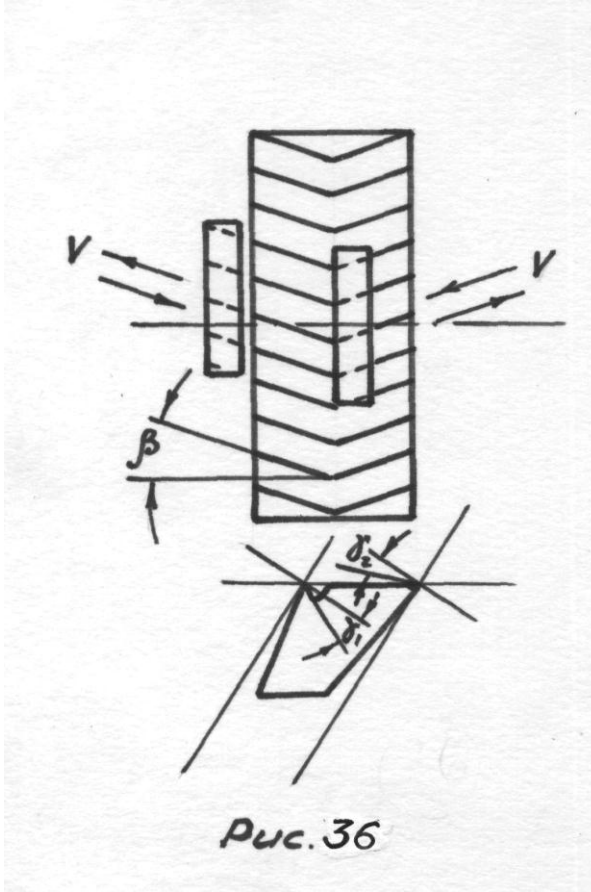
Прямозубые гребенки бывают 2-х типов (рис 35): у одной из них передний угол получается наклонной установкой на станке, другая, имеет передний угол и устанавливается на станке горизонтально.

Косозубые гребенки применяются для нарезания шевронных колес без канавки. Угол β у гребенок равен 30° . Изготавливаются гребенки в комплекте попарно—правая и левая (рис.36).

Для создания одинаковых передних углов с обеих сторон зуба гребенки делается специальная заточка по передней грани.

Затачиваются гребенки по передней грани. Для увеличения передних углов на боковых режущих кромках по передней грани производится специальная заточка выемки (рис.37).





12.4. Червячные фрезы

Червячные фрезы предназначены для обработки зубчатых колес методом обкатки. Процесс образования профиля зубьев колеса аналогичен процессу зацепления колеса с червяком, фреза, помимо вращательного движения, имеет поступательное движение вдоль оси заготовки, которая вращается вокруг своей оси. Профиль зуба колеса образуется путем последовательного вырезания металла каждым зубом фрезы.

Для сообщения червяку режущих свойств на нем прорезают продольные винтовые стружечные канавки, равномерно расположенные по окружности, а для обеспечения задних углов и сохранения профиля зуба фрезы при переточках, на зубьях фрезы затылованием образуется задняя поверхность. Таким образом режущая кромка зуба фрезы представляет собой линию пересечения винтовых поверхностей: основного червяка, стружечной канавки и затыловочной поверхности.

Эти особенности образования профиля червячных фрез необходимо учитывать при их конструировании, изготовлении и эксплуатации.

12.4.1. Винтовые поверхности, их образование

Боковая поверхность витка червяка является винтовой поверхностью, образующейся в результате винтового движения линии в пространстве. В основу червячных зуборезных фрез положены винтовые поверхности, образованные винтовым движением отрезка прямой линии (рис.38).

При винтовом движении линии, проходящей через ось винтовой поверхности и наклонной под некоторым углом к этой оси, образуется архимедова винтовая поверхность. Характерными признаками её являются:

- прямая линия в сечении винтовой поверхности плоскостью, проходящей через ось винтовой поверхности;
- спираль Архимеда в сечении плоскостью, перпендикулярной оси винтовой поверхности.

При винтовом движении линии относительно образующего цилиндра, называемого основным, причем угол наклона линии к горизонтальной плоскости равен углу подъема винтовой линии на этом цилиндре, образуется эвольвентная винтовая поверхность; её признаки:

- прямая линия в сечении винтовой поверхности плоскостью, касательной к образующему цилиндру;
- эвольвента в сечении плоскостью, перпендикулярной оси винтовой поверхности.

При винтовом движении линии относительно образующего цилиндра, называемого делительным, наклоненной под углом подъема винта к оси на этом делительном цилиндре, получается конволютная винтовая поверхность.

Её основные признаки:

- прямая линия в сечении плоскостью, перпендикулярной направлению подъема винтовой линии на делительном цилиндре;
- удлиненная или укороченная эвольвента (конволюта) в сечении плоскостью, перпендикулярной оси поверхности.

Образовать, то есть обработать соответствующую винтовую поверхность, можно, используя ее свойства. Для этого прямолинейную режущую кромку инструмента - обычно резца - необходимо расположить во время работы так, чтобы ее положение соответствовало положению прямой при геометрическом образовании той или иной винтовой поверхности (рис. 39).

Для обработки архимедовой винтовой поверхности передняя грань резца с прямолинейными режущими кромками должна располагаться в осевой плоскости этой поверхности.

Для обработки эвольвентной винтовой поверхности передняя грань резца с прямолинейной режущей кромкой должна быть расположена в плоскости, касательной к образующей основного цилиндра выше или ниже оси. Для обработки конволютной винтовой поверхности передняя грань резца с прямолинейными режущими кромками должна быть расположена в плоскости, перпендикулярной направлению винтовой линии на делительном цилиндре.

Изделия, основные рабочие поверхности которых представляют собой винтовые поверхности, принято называть в технике червяками. В зависимости от названия винтовой поверхности они могут быть следующими:

- архимедов червяк;
- эвольвентный червяк;
- конволютный червяк.

12.4.2. Профилирование червячных фрез

Кинематика обкатки достаточно сложна: червячная фреза представляет собой винтовую деталь в сочетании с винтовыми стружечными канавками и затылованными задними винтовыми поверхностями зубьев, поэтому режущие кромки зубьев фрезы - пространственные кривые. Профиль зуба фрезы может быть прямолинейным; и аналогичным прямолинейному профилю инструментальной рейки только у незатылованной червячной фрезы с углом подъема нарезки и углом наклона стружечных канавок равными нулю. Чем больше угол подъема нарезки, тем больше профиль зуба фрезы будет отличаться от рейки.

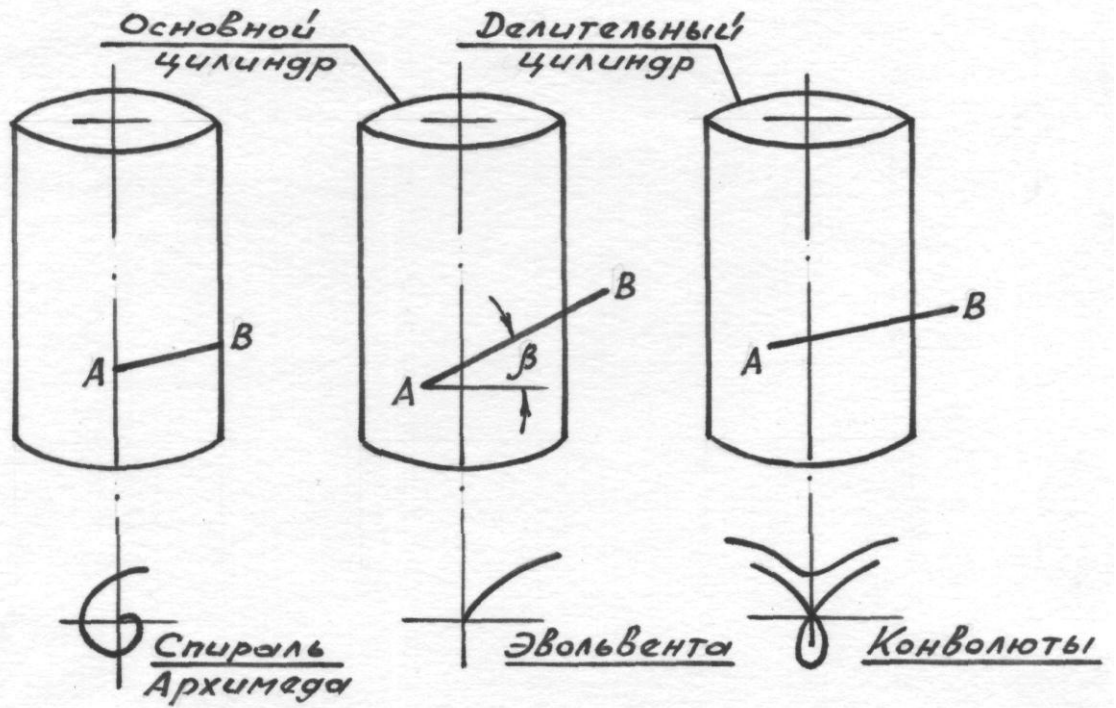


Рис. 38

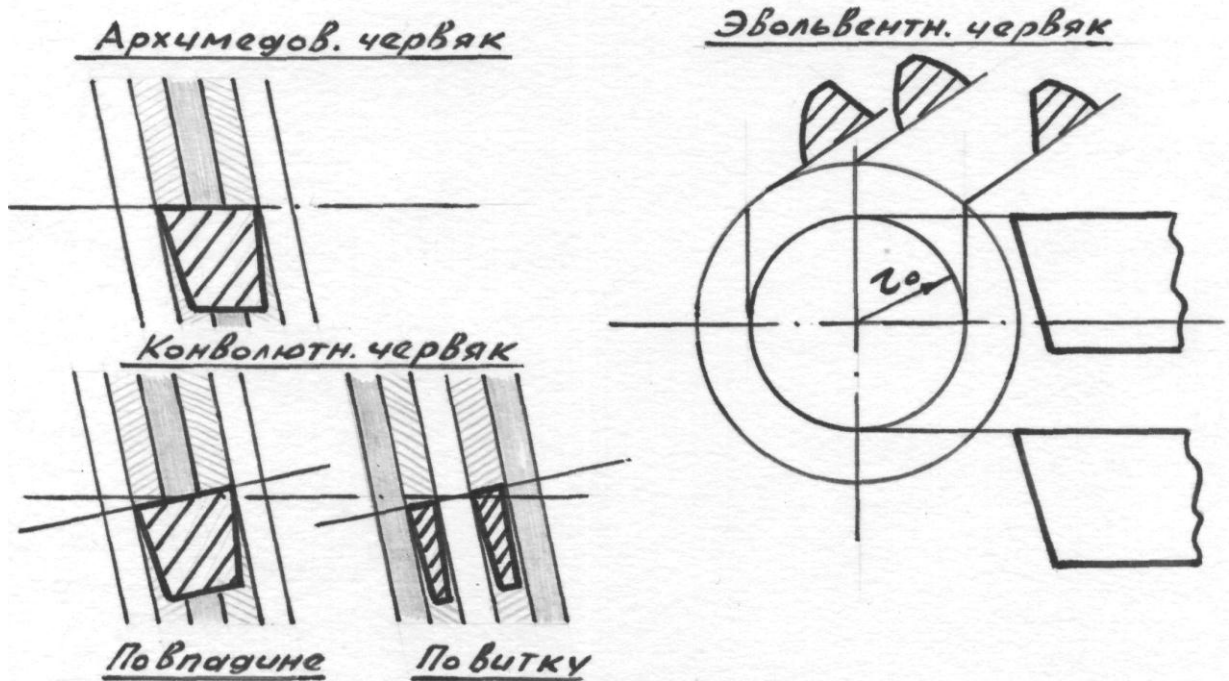


Рис. 39

Для сравнительно небольших углов $2-5^\circ$ профили фрезы и рейки отождествляются, то есть предполагается, что фреза и обрабатываемое зубчатое колесо осуществляют зацепление в плоскости, а режущие кромки являются плоскими линиями. Погрешность, получаемая при таком приближенном расчете обычно удовлетворяет практическим требованиям.

В зависимости от червяка, положенного в основу червячной фрезы при её профилировании, существуют следующие конструкции фрез:

- архимедовы червячные фрезы;
- эвольвентные червячные фрезы;
- конволютные червячные фрезы.

Архимедовы червячные фрезы, имеющие прямолинейный профиль в осевом сечении, применяют обычно для обработки червячных зубчатых колес.

Конволютные червячные фрезы, имеющие прямолинейный профиль в сечении, перпендикулярном направлению нарезки, получили широкое распространение для обработки цилиндрических зубчатых колес с прямыми и винтовыми зубьями».

Эвольвентные червячные фрезы из-за сложности изготовления широкого распространения не получили и применяются очень редко

Профилирование червячных фрез для других видов зацепления (не эвольвентных) осуществляется на основе соответствующих винтовых поверхностей или червяков: циклоидальное зацепление, зацепление Новикова и т.д.

12.4.3. Конструкция и геометрия червячных фрез

Червячные зуборезные фрезы, работающие методом обкатки, получили широкое распространение из-за следующих своих достоинств:

- высокая точность обработки зубчатых колес (до 6 степени точности)
- универсальность (одной и той же фрезой обрабатываются колеса с разным числом зубьев);
- высокая производительность (непрерывность процесса).

Червячные фрезы можно классифицировать по ряду параметров:

- по назначению - чистовые и черновые;
- по устройству - цельные и сборные;
- по виду крепления - насадные и хвостовые;
- по числу заходов - однозаходные и многозаходные;
- по конструкции зуба - затылованные и острозаточенные.

Точность червячных фрез регламентирована государственными стандартами, Классы точности чистовых фрез для цилиндрических колес: ААА, АА, А, В, С и D для получения степени точности колес соответственно от 6 до 11.

Основные конструктивные элементы червячной зуборезной фрезы (рис. 40):

t_N - шаг профиля зуба в нормальном сечении;
 S_N - толщина зуба в нормальном сечении;
 h - высота зуба;
 $h_1 h_2$ - соответственно высота головки и ножки зуба;
 D_e - наружный диаметр фрезы;
 d - диаметр отверстия фрезы;
 L - общая длина;
 L_1 - длина рабочей части;
 D_f - расчетный диаметр делительного цилиндра;
 Z - число зубьев фрезы;
 τ - угол подъема нарезки;
 ω - угол наклона стружечных канавок;
 t_{oe} - осевой шаг нарезки;
 S_k - шаг стружечных канавок;
 V - угол впадины стружечной канавки;
 z - радиус закругления дна впадины;
 H - глубина канавки;
 α - задний угол;
 K и K_1 - величины затылования;
 D_1 - диаметр буртиков.

Исходными данными для проектирования червячной зуборезной фрезы являются:

- нормальный модуль - m ;
- угол профиля (зацепления) в нормальном сечении - α_d ;
- тип рейки (черновая или чистовая фреза, фланкированное зацепление и т.д.).

Ряд величин при проектировании фрезы выбирается из стандартов и справочных источников в зависимости от модуля: D_e ; α ; Z ; V ; z ; D_1 .

Остальные величины подсчитываются.

Шаг профиля зуба в нормальном сечении фрезы должен быть равен шагу нарезаемого колеса:

$$t_N = \pi \cdot m$$

Толщина зуба в нормальном сечении для чистовой фрезы:

$$S = t_N / 2$$

При расчете черновой фрезы необходимо учесть припуск на чистовую обработку, то есть:

$$S = t_N / 2 - \Delta$$

Высоты зуба определяются по следующим формулам:

$$h_1 = 1.25 \cdot m, h_2 = 1.25 \cdot m, h = h_1 + h_2 = 2.5 \cdot m.$$

Длина рабочей части фрезы должна быть не меньше проекции линии зацепления на начальную прямую фрезы, а с учетом её рациональной эксплуатации (перестановка вдоль оси и поворот для равномерного износа зубьев) несколько больше:

$$L_1 = 2 \cdot \sqrt{R_{ek}^2 - R_{ik}^2},$$

где R_{ek} и R_{ik} - наружный и внутренний радиусы наибольшего, нарезаемого этой фрезой зубчатого колеса. Окончательно длина рабочей части устанавливается после сравнения с рекомендуемой стандартом.

Величина затылования определяется по величине заднего угла на вершине зуба фрезы

$$\alpha = 11 \div 12^\circ;$$

$$K = \pi \times D_e \times \operatorname{tg} \alpha / Z;$$

предварительное затылование в случае шлифования профиля фрезы:

$$K_1 = (1,2 \div 1,7) K.$$

Расчетный диаметр делительного цилиндра:

$$D_t = D_e - 2,5m - 0,25K.$$

Угол подъема нарезки:

$$\sin \tau = \frac{t_N}{\pi \cdot D_t} = \frac{m}{D_t}.$$

Для создания одинаковых условий резания на боковых сторонах зуба фрезы угол наклона стружечной канавки делают обычно равным углу подъема нарезки:

$$\omega = \tau.$$

Для настройки станков (токарного, затыловочного, фрезерного) необходимо знать осевой шаг нарезки фрезы и шаг винтовой стружечной канавки:

$$t_{oc} = \frac{t_n}{\cos \tau};$$

$$S_K = \pi \times D_t / \operatorname{tg} \tau.$$

Угол впадины стружечной канавки принимается равным $20-25^\circ$. Основным материалом для изготовления червячных зуборезных фрез является быстрорежущая сталь разных марок.

Направления совершенствования конструкций червячных фрез для цилиндрических зубчатых колес:

- создание сборных фрез;
- применение твердого сплава для зубьев сборных фрез;
- совершенствование геометрии фрез;
- применение острозаточенных зубьев.

12.5. Фрезы для червячных зубчатых колес

Фреза для червячного колеса должна быть копией червяка: диаметр ее, шаг и угол должны соответствовать тем же элементам червяка.

Выбор типа червячной фрезы (архимедова, эвольвентная или конвольвентная) зависит от типа червяка в передаче.

Обычно основой фрезы является архимедов червяк, поскольку он наиболее распространен в червячных передачах из-за простоты изготовления и контроля (прямолинейный профиль в осевом сечении),

Фрезерование червячных колес можно производить двумя методами: с радиальной подачей, с тангенциальной подачей (рис. 41).

Фрезы, предназначенные для тангенциальной подачи, имеют заборный конус.

Фрезерование с тангенциальной подачей более точное, но для его осуществления в зубофрезерном станке необходим специальный механизм - протяжной суппорт.

Порядок расчета червячной фрезы для червячных колес в основном аналогичен расчету червячных фрез для цилиндрических колес.

При расчете необходимо учитывать некоторые особенности работы фрезы. Делительный диаметр фрезы определяется с учетом запаса фрезы на переточку, то есть у новой фрезы он больше, чем у червяка:

$$D_t = D_{\text{ср.черв}} + 2(0,25+0,1)m.$$

Осовой шаг фрезы должен соответствовать осевому шагу червяка:

$$t_{oc} = \pi \cdot m.$$

При конструировании червячных фрез необходимо учитывать условия их эксплуатации: станок, метод крепления, подача, возможности изготовления и т.д.

12.6. Долбяки

Долбяк представляет собой режущий инструмент, выполненный в виде коррегированного зубчатого колеса, имеющего режущие кромки. При обработке зубчатых колес долбяки работают методом обкатки.

По конструкции различают долбяки:

- дисковые;
- чашечные;
- хвостовые (рис. 42).

В зависимости от назначения долбяки подразделяются на:

- прямозубые, для нарезания прямозубых цилиндрических зубчатых колес;
- косозубые, для нарезания косозубых цилиндрических зубчатых колес;
- косозубые (парные), для нарезания шевронных зубчатых колес.

Долбяки изготавливаются трех классов точности:

- AA - для нарезания колес 6 степени точности;
- A - для нарезания колес 7 степени точности;
- B - для нарезания колес 8 степени точности.

Долбяки являются наиболее универсальными зуборезными инструментами, они незаменимы при обработке зубчатых колес с внутренним зубчатым венцом и при обработке блочных зубчатых колес.

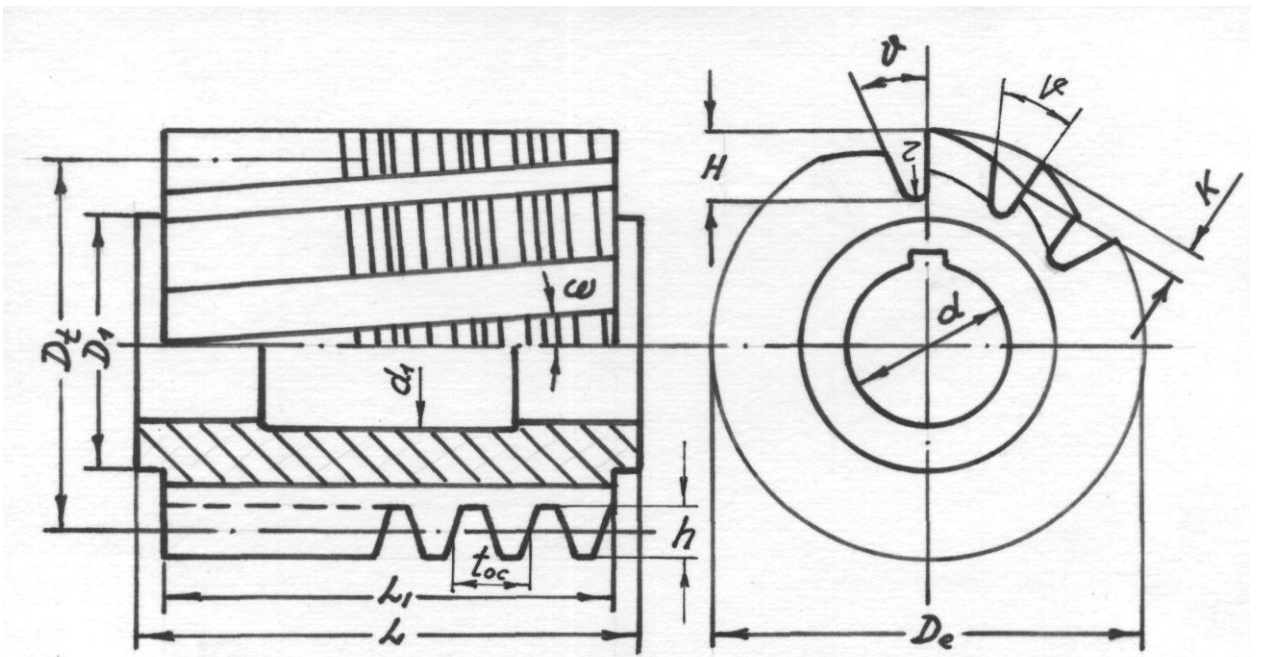


Рис. 40

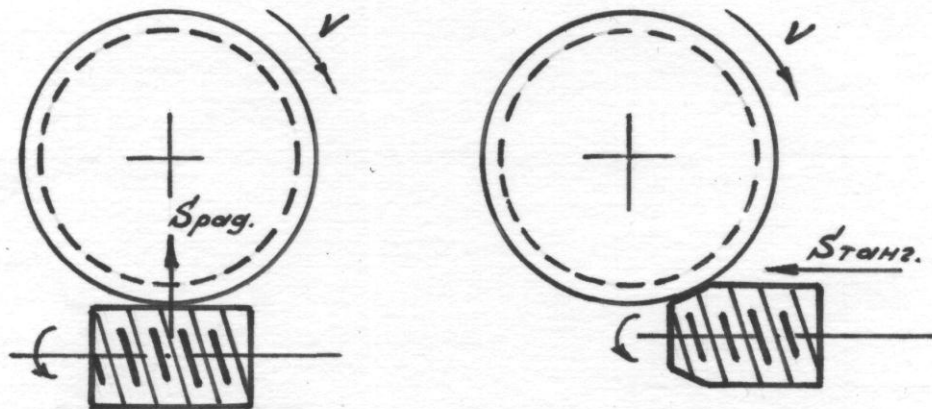


Рис. 41

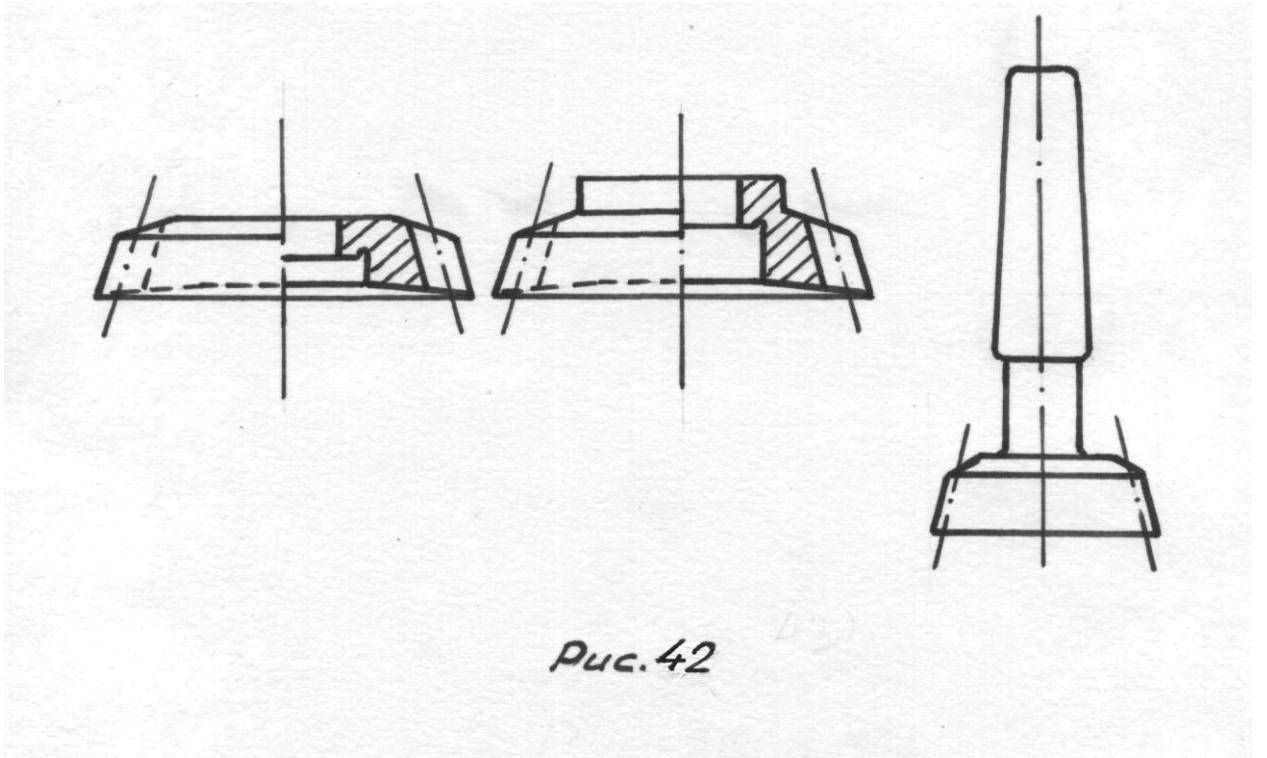


Рис. 42

Точность обработки долбяками обычно выше точности обработки червячными фрезами, но производительность ниже.

12.6.1. Принципы конструирования долбяка

Долбяк можно рассматривать как совокупность бесконечно большого количества элементарных зубчатых колес с положительным, нулевым и отрицательным смещением исходного контура рейки и бесконечно малой толщиной обода (рис.43).

Для расчета долбяка принимается определенное сечение АА, отстоящее от переднего торца на расстоянии α . В этом сечении профиль зубьев соответствует стандартной рейке и совпадает с размерами зубчатого колеса:

- шаг по делительной окружности $t = m \cdot \pi$;
- диаметр основной окружности $D_o = D_t \cdot \cos \alpha_d$ (D_t - диаметр делительной окружности);
- толщина зуба $S_d = \frac{\pi \cdot m}{2}$.

Это сечение называется исходным.

Передний торец отстоит от исходного сечения на величину α , из-за наличия угла α_b он смещен на величину $+x$, то есть имеет место высотная коррекция: в этом сечении долбяк будет коррегированным колесом.

Величина смещения:

$$x = \xi \times m,$$

где ξ - коэффициент смещения.

Их треугольника ΔABC можно определить расстояние переднего торца до исходного контура:

$$\alpha = (\xi \times m) / \operatorname{tg} \alpha_b.$$

Это расстояние называется исходным расстоянием.

Расчет долбяка состоит в определении его размеров по передней поверхности в зависимости от размеров исходного контура, геометрии долбяка и исходного расстояния.

Толщина зуба долбяка по делительному цилиндру в плоскости передней поверхности:

$$S'_y = S_d + 2 \cdot d \cdot \operatorname{tg} \alpha_d.$$

Или, подставляя известные значения:

$$S'_y = m \cdot \left(\frac{\pi}{d} + 2 \cdot \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \alpha_d \right).$$

При определении диаметра делительной окружности следует учитывать: чем он меньше, тем более жестче долбяк и точнее обрабатываемые колеса.

Максимальный коэффициент смещения ξ_{\max} можно определить, зная минимальную допустимую толщину S_e зуба долбяка по окружности высту-

пов. Эта величина определяет стойкость долбяка и принимается из справочных данных в зависимости от модуля и числа зубьев долбяка.

По мере затупления долбяк перетачивается по передней грани. Максимально допустимое уменьшение длины зуба после переточек:

$$B = d - \varepsilon_{\min} \times m / \operatorname{tg} \alpha_B,$$

где ξ_{\min} - минимальный коэффициент смещения, выбираемый из справочных данных в зависимости от особенностей работы данного долбяка.

Остальные параметры долбяка при его конструировании определяются на основе руководящих и справочных материалов, содержащихся в пособиях по расчету.

У долбяка помимо высотной имеется и угловая коррекция. В связи с наличием переднего и заднего углов долбяка, режущие кромки его зубьев будут представлять собой пространственные кривые, отличные от эвольвенты. Из-за этого в профиль зуба нарезаемого зубчатого колеса будут вноситься искажения. Для уменьшения их необходимо изменить профильный угол долбяка.

На рисунке (рис.44) видно, что:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = 1/h_n = 1/(h - \overline{BC}),$$

а из $\triangle BCD$ и $\triangle ACD$:

$$BC = CD \times \operatorname{tg} \alpha_B = h \times \operatorname{tg} \gamma_B \times \operatorname{tg} \alpha_B,$$

поэтому:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \operatorname{tg} \alpha_d / (1 - \operatorname{tg} \gamma_B \times \operatorname{tg} \alpha_B).$$

Таким образом профильный угол долбяка должен быть несколько больше стандартного угла 20° .

12.6.2. Особенности работы долбяка

В отличие от червячных зуборезных фрез долбяк не является универсальным инструментом. Это связано с тем, что форма эвольвенты как самого долбяка, так и нарезаемых им колес зависит от основного диаметра. Одновременно расположение эвольвентного участка на режущей кромке долбяка зависит от величины исходного расстояния.

Поэтому в определенных условиях при обработке зубчатых колес долбяком имеют место следующие явления:

- наложение (интерференция) профилей нарезаемых колес;
- подрезание ножки или срезание головки зуба нарезаемого колеса.

На рисунке (рис.45) показан эвольвентный участок АВ зуба первого колеса, нарезанного долбяком, на участке АС происходит зацепление со вторым колесом, нарезанным этим же долбяком. ВД - неэвольвентный участок у основания зуба колеса. Если увеличивать число зубьев второго колеса, то будет увеличиваться активный участок зацепления АС. При $AC > AB$ профили колес будут пересекаться и внедряться один в другой, что вызовет неравномерный ход, шум и быстрый износ зубьев.

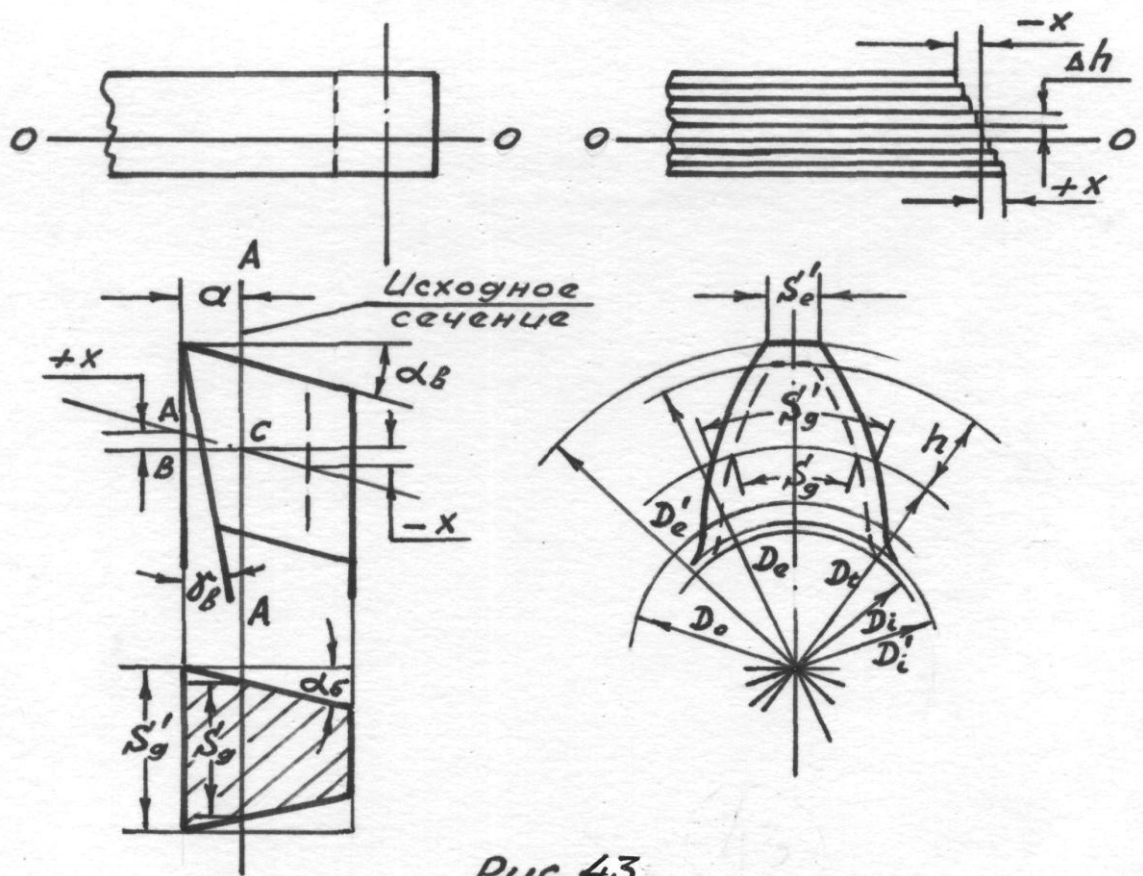


Рис. 43

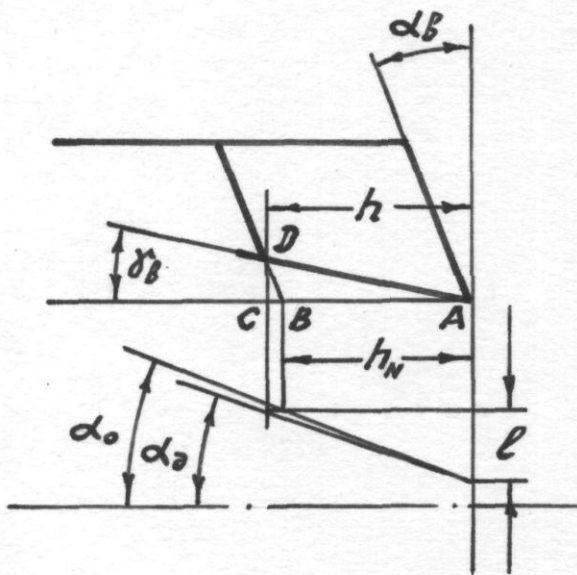


Рис. 44

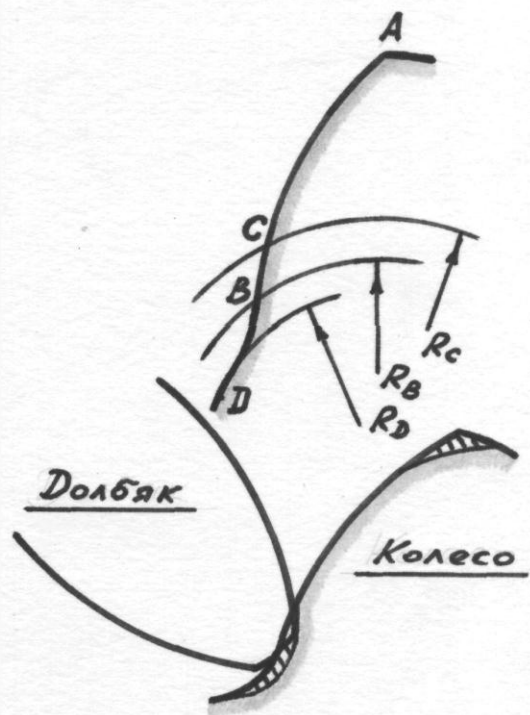


Рис. 45

Для устранения этого явления необходимо, чтобы $R_C > R_B$, с этой целью производится специальный расчет долбяка на интерференцию.

При нарезании долбяком с большим числом зубьев колеса с малым числом зубьев возникает опасность подрезания ножки зуба. При нарезании долбяком с малым числом зубьев колеса с большим числом зубьев появляется опасность "подрезания" ножки зуба долбяка, то есть ножка зуба долбяка срезает головку зуба колеса.

Для устранения подрезания и срезания необходимо выполнить расчет долбяка на отсутствие этого явления.

При выполнении расчетов долбяка на отсутствие рассмотренных явлений следует иметь в виду, что устранения их можно добиться следующим:

- изменить величину исходного расстояния;
- изменить число зубьев долбяка;
- увеличить высоту головки зуба долбяка до 1,3 m.

12.6.3. Косозубые долбяки

Косозубые долбяки для косозубых колес могут быть правые и левые. Аналогично прямозубым долбякам они имеют передний и задний углы, расчетное сечение, расположенное на некотором расстоянии от торца. Существуют две конструкции долбяков, отличающиеся формой зуба (рис.46); У косозубых долбяков следует различать два сечения - торцевое АВ и нормальное ВС. Все расчеты производятся в торцевом сечении АВ. Если колесо, для которого предназначен долбяк, имеет определенный модуль в нормальном сечении, то для долбяка он пересчитывается на торцевой:

$$m_T = m_n / \cos\beta,$$

после чего расчеты косозубого долбяка выполняются по формулам для прямозубого долбяка.

Косозубые долбяки для шевронных колес выполняются только по типу I, работают в комплекте из двух штук - с правым и левым наклоном зубьев. Эти долбяки имеют стандартный модуль в торцевом сечении.

12.7. Шеверы

Шеверы применяются для окончательной обработки зубчатых колес.

Процесс обработки представляет собой скобление боковых сторон зубьев колеса режущими кромками инструмента и называется шевингованием.

Шеверы работают методом обкатки.

По конструкции различают следующие типы шеверов (рис. 47):

- дисковый шевер, являющийся наиболее распространенным;
- шевер-рейка;
- червячный шевер;

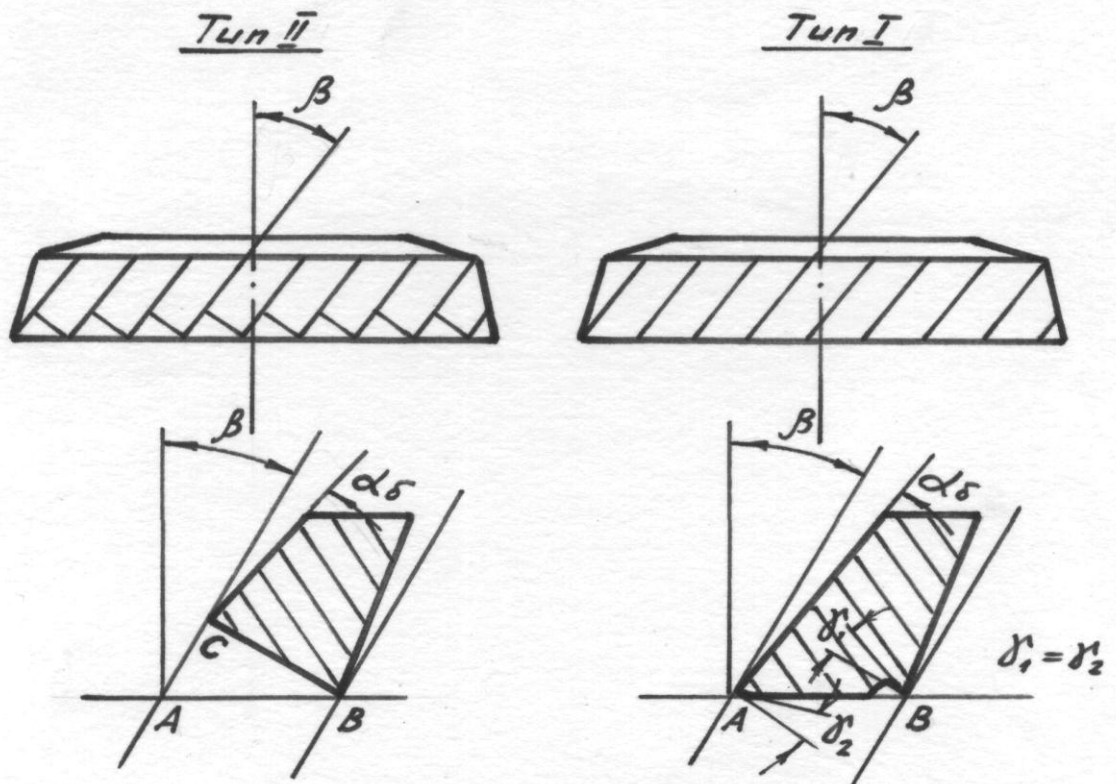


Рис. 46

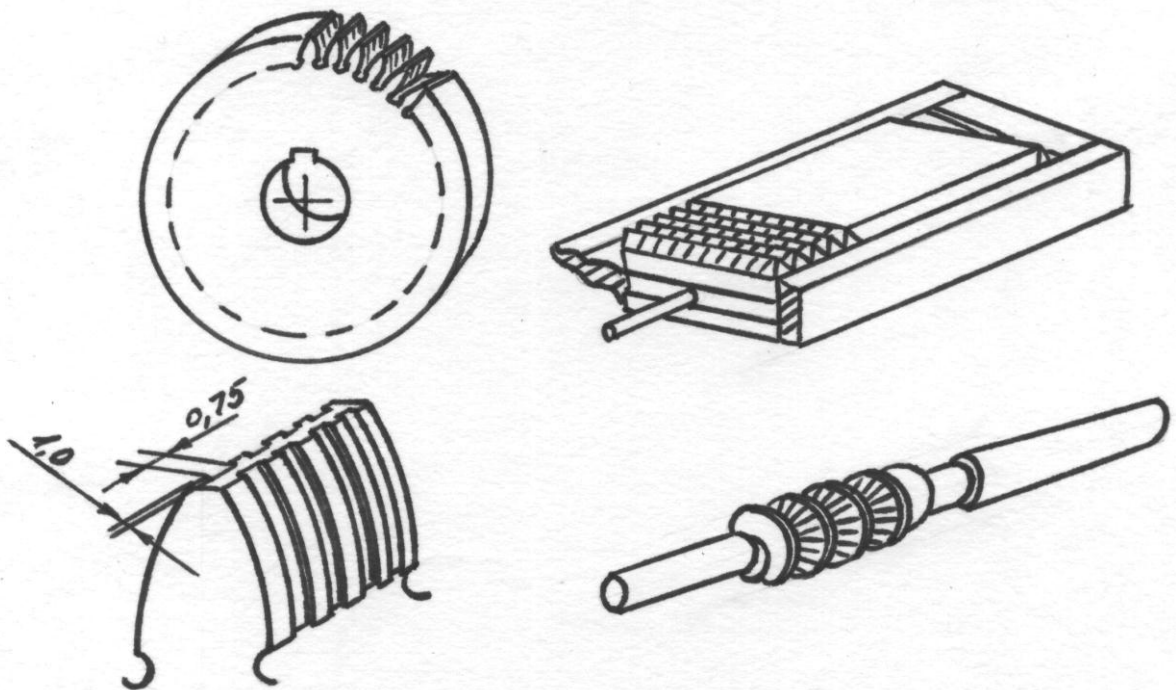


Рис. 47

- кромочный шевер;
- мелко модульный шевер (разновидность дискового, отличающийся от него сквозными канавками на зубьях);
- абразивный шевер.

Дисковый шевер представляет собой инструмент, основой которого служит коррегированное зубчатое колесо.

На схеме (рис. 48) видно, что при работе шевера точка $A_{ш}$ его режущей кромки скользит относительно зуба обрабатываемого колеса, производя шевингование зуба. Скорость этого относительного скольжения и является скоростью резания, которая переменна, а абсолютная величина ее зависит от угла скрещивания β осей шевера и заготовки. Обычно угол скрещивания $10^\circ-15^\circ$.

Основными конструктивными элементами дискового шевера являются:

- диаметр делительной окружности по торцу;
- диаметр основной окружности по торцу;
- торцевой модуль, который необходимо рассчитывать, учитывая, что стандартный модуль - в нормальном сечении шевера;
- число зубьев;
- ширина шевера.

Для улучшения работы шевера профиль его зубьев коррегируют, тогда искажения, вносимые в профиль зуба колеса из-за разных скоростей на режущих кромках шевера, устраняются. Величины отклонений устанавливаются опытным путем.

При работе шевера - рейки процесс шевингования происходит аналогично.

Червячный шевер - это по всем параметрам точная копия червяка, находящегося в зацеплении с обрабатываемым червячным колесом.

Червячный шевер может иметь профиль архимедова, эвольвентного или конволютного червяка, это позволяет окончательную обработку червячных колес производить очень точно. Режущие кромки червячного шевера образуются за счет канавок на боковых сторонах витков червяка, они небольшие и могут иметь разные направления для регулирования образования стружки.

В последнее время для чистовой обработки закаленных зубчатых колес все большее распространение получают абразивные шеверы, представляющие собой зубчатое колесо из соответствующего материала.

12.8. Инструменты для конических зубчатых колес

Наибольшее распространение в машиностроении получили конические зубчатые колеса следующих типов:

- прямозубые с радиальным направлением зубьев;
- с криволинейными зубьями:

- с круговыми зубьями;

Прямозубые конические зубчатые колеса обрабатываются методом копирования:

- дисковыми и пальцевыми модульными фрезами;
- круговыми протяжками;
- а также методом обкатки;
- зубострогальными резцами;
- резцовыми головками (фрезами), причем и резцы и головки являются односторонними и работают в паре, для одновременной обработки обеих сторон зуба колеса.

Конические зубчатые колеса с круговыми зубьями обрабатываются только методом обкатки.

Для нарезания прямозубых конических зубчатых колес методом копирования применяются стандартные модульные фрезы, это характерно для индивидуального производства. В массовом производстве используется круговая протяжка.

Круговая протяжка (рис. 49) представляет собой диск с закрепленными на нем 15 блоками с 75 зубьями для черновой и получистовой обработки и 4 блоками с 20 зубьями для чистовой обработки. Окончательная обработка впадины происходит за один оборот протяжки. Подача осуществляется перемещением протяжки вдоль впадины зуба. Зубья блоков затылования, профиль зуба очерчен по дуге окружности вместо эвольвенты.

Зубострогальные резцы (рис. 50), используемые для обработки прямозубых конических колес методом обкатки, представляют собой призматическое тело с определенной геометрией и резьбовыми отверстиями для крепления в станке. Для образования заднего угла при работе резцы, работающие в паре, устанавливаются на специальной откидной державке.

Затачиваются резцы по передней грани, заточка должна быть очень точной, иначе появляются искажения в профиле зуба нарезаемого колеса.

Резцовые головки (фрезы) (рис. 51) работают в комплекте из двух штук на специальном станке, диаметры их 150 мм или 275 мм.

Устанавливаются фрезы на наклонных шпинделях: зубья одной фрезы при работе входят во впадины между зубьями другой. Подача вдоль зубьев отсутствует, поэтому дно впадины получается вогнутым. Зубья фрез затылуются, заточка производится по передней грани. Основное достоинство обработки этими резцовыми головками: производительность выше в 3-4 раза по сравнению с зубостроганием.

Зуборезная резцовая головка для обработки конических зубчатых колес с круговыми зубьями (рис. 52) представляет собой торцовую фрезу специального назначения. Головки малых размеров (до 80 мм) изготавливаются цельными, больших (100-1000 мм) - сборными.

В зависимости от характера обработки головки делятся на черновые и чистовые, правого и левого вращения, односторонние; двухсторонние и трехсторонние.

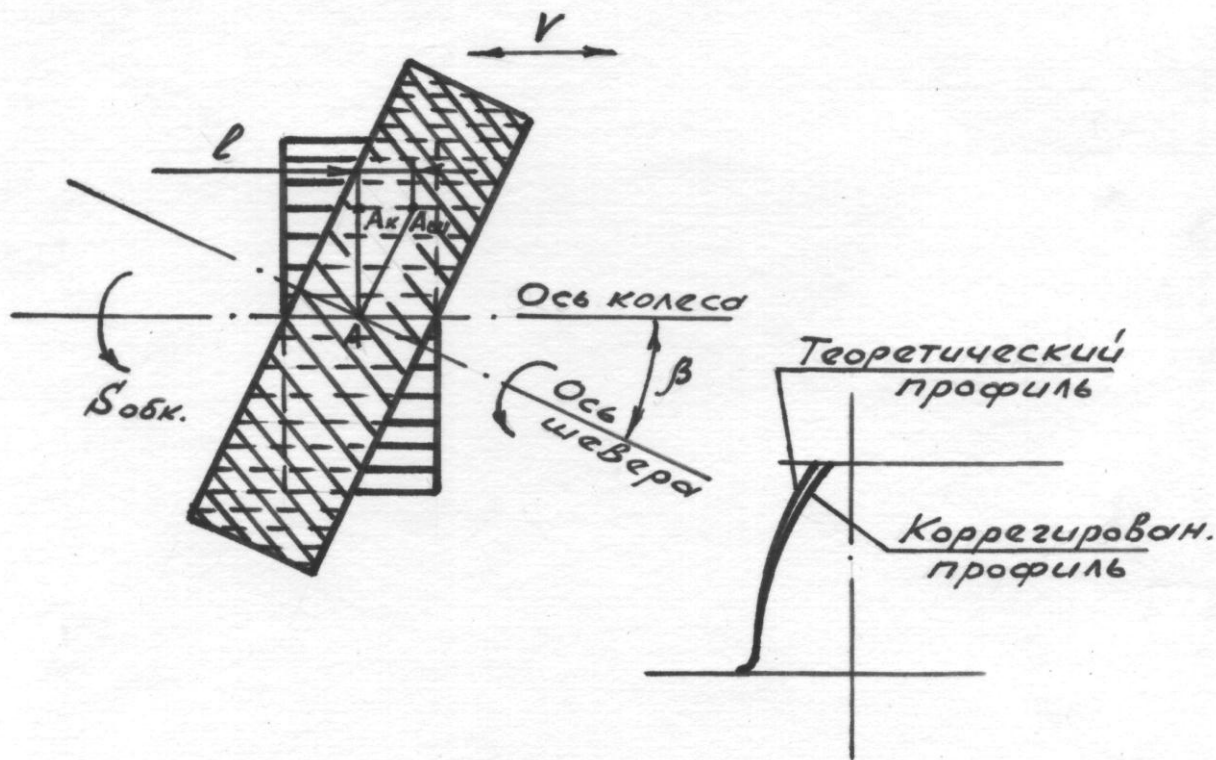


Рис. 48

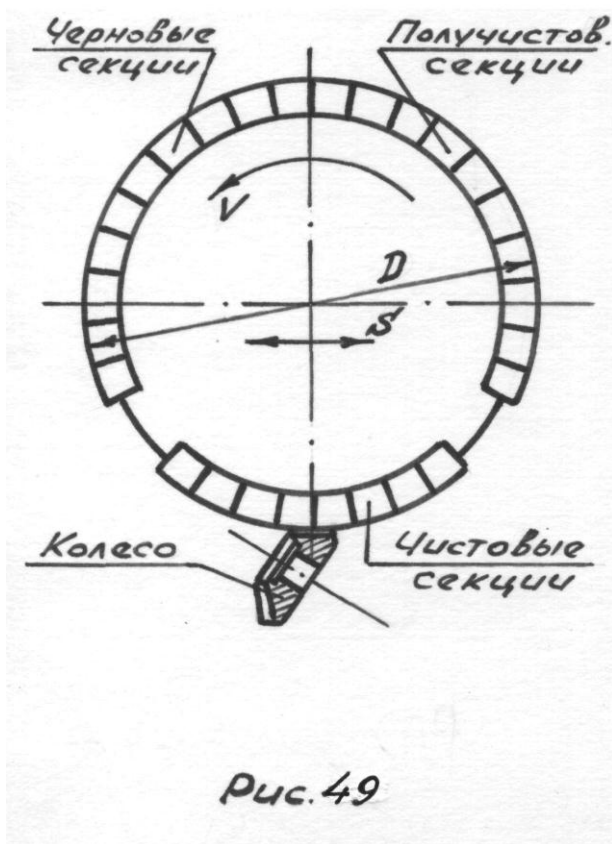


Рис. 49

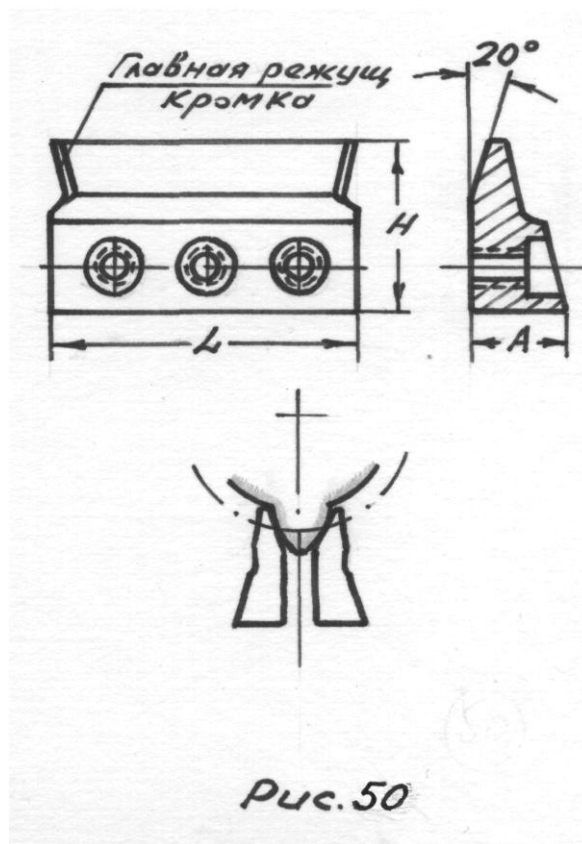


Рис. 50

Односторонние головки имеют либо наружные резцы для нарезания вогнутой стороны зуба, либо внутренние - для нарезания выпуклой стороны.

В двухсторонних и трехсторонних резцы чередуются.

Резцы 8 вставляются в пазы корпуса 6 и закрепляются винтами 7. В радиальном направлении вылет резца регулируется прокладкой 3 и клином 2, перемещаемым винтом 4. Количество резцов в головке от 2 до 32.

Корпус 6 имеет коническое отверстие 1:24 и четыре крепежных отверстия 9. Резьбовые отверстия 5 - для облегчения съема головки со станка. На пробке I наносится маркировка головки в зависимости от её настройки. Черновая обработка колес резцовыми головками может осуществляться методом копирования.

Резцы для зуборезной головки (рис. 53) подразделяются на чистовые и черновые, правые и левые, наружные и внутренние.

В зависимости от вида резца осуществляется его заточка и затылование.

Для различных по своим параметрам колес должны применяться разные по своим размерам и геометрии резцы, для этого они подразделяются по номерам. Номер резца связан с корректировкой угла профиля резца для получения стандартного угла 20° на обрабатываемых зубчатых колесах. Головка для черного нарезания колеса должна иметь номер резцов больше, чем для чистового.

Обработка конических колес с круговыми зубьями чрезвычайно сложна и по настройке станка, и по настройке инструмента, требует специальной подготовки и серьезных практических навыков.

13. Инструменты, работающие методом обкатки для неэвольвентных профилей

Методом обкатки можно обрабатывать не только зубчатые колеса, но и другие зубчатые изделия. Это шлицевые валики, храповые колеса, многогранные изделия, звездочки для цепей и т.д. (рис.54).

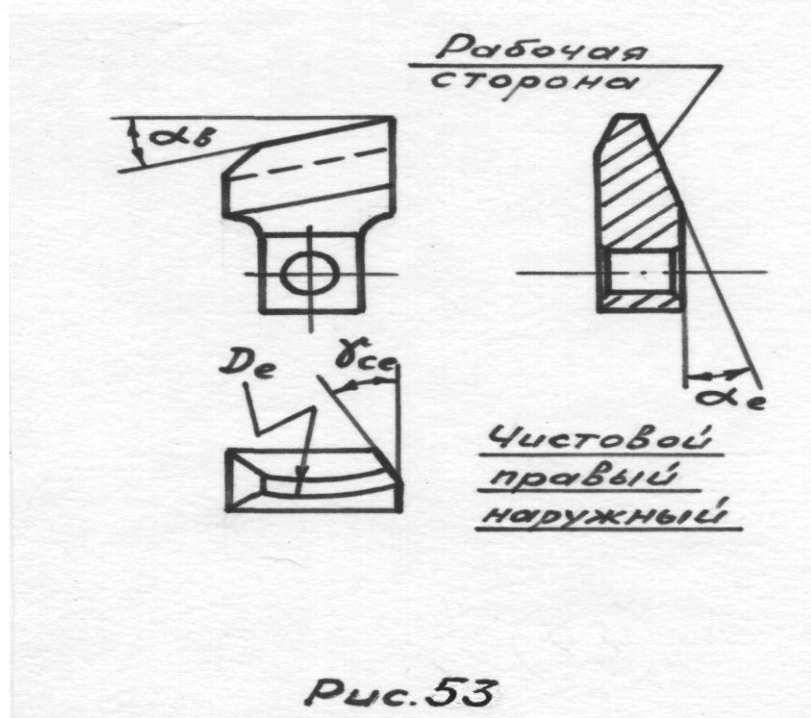
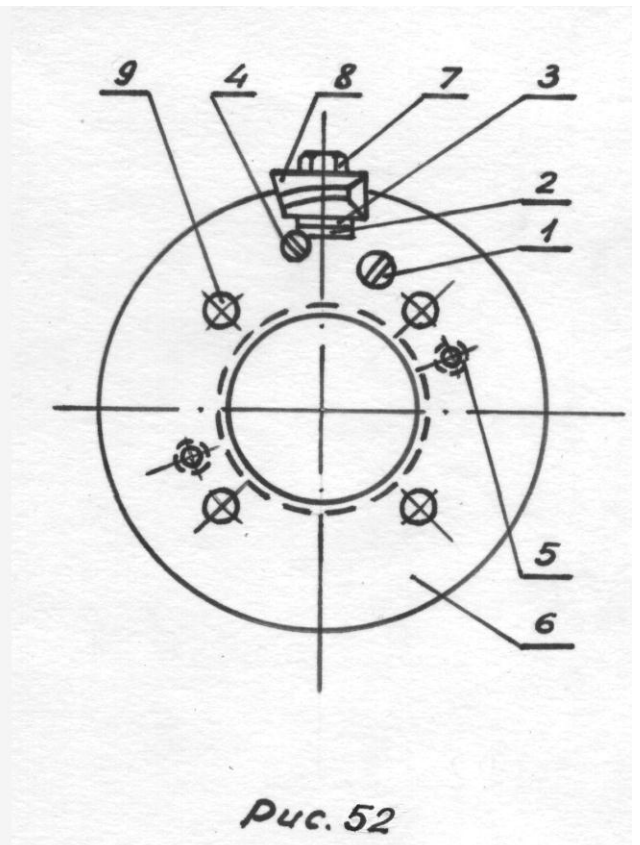
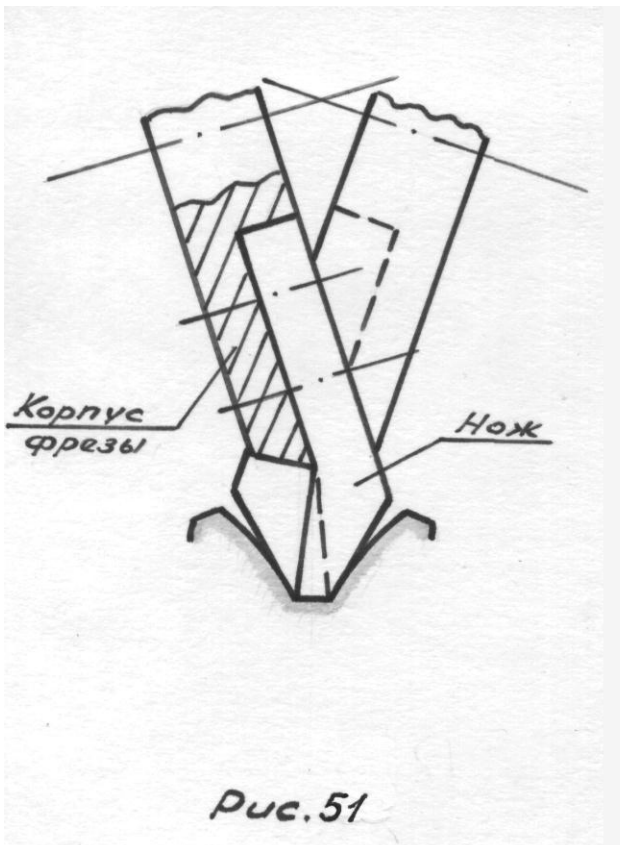
Для обработки этих изделий применяются следующие инструменты, работающие методом обкатки:

- червячные фрезы;
- долбяки;
- обкаточные резцы (рис.55)

Наибольшее распространение получили червячные шлицевые фрезы, предназначенные для обработки шлицевых валов, имеющих прямолинейный профиль.

Для обработки неэвольвентных профилей применяются специальные долбяки, аналогичные по конструкции зуборезным долбякам, но имеющие соответствующий профиль.

Обкаточный резец имеет фасонный профиль, который в результате обкаточного движения формирует профиль детали.



Сложность изготовления этих резцов и приспособлений для них не позволяет широко использовать этот метод.

13.1. Червячная шлицевая фреза

Основу конструкции червячной шлицевой фрезы составляет червячная фреза, работающая методом обкатки и имеющая все основные параметры, соответствующие червячной фрезе для обработки зубчатых колес.

Особенность конструирования червячных шлицевых фрез заключается в определении профиля зуба фрезы.

Профиль зуба фрезы можно определить следующими методами:

- аналитическим, определением координат кривой профиля;
- графическим, построением кривой профиля.

Аналитический метод позволяет вычислить координаты кривой профиля зуба с любой точностью и поэтому является основным. Графический дает возможность наглядно представить процесс обкатки, но из-за неточности применяется обычно в качестве вспомогательного - для приближенной проверки аналитического.

Для вывода уравнения профиля зуба фрезы можно рассмотреть два последовательных положения профиля зуба фрезы и профиля детали, находящихся в зацеплении (рис.56). В первом положении профили касаются в точке Р полюса зацепления. Во втором положении точкой касания будет точка С, рейка переместилась вправо на величину РВ, а деталь должна повернуться на некоторый угол φ (в радианах), то есть $PB = R_N \cdot \varphi$.

Общая нормаль к сопряженным профилям в точке касания должна проходить через полюс зацепления, поэтому в точке С прямая СР должна быть перпендикулярна профилю детали.

Для нахождения координат кривой зуба фрезы используется теорема: сумма проекций замкнутой ломаной линии на ось равна нулю.

Проектируя ломаную РСДВР последовательно на оси Х и У и произведя необходимые преобразования, можно получить уравнения профиля зуба фрезы:

$$\begin{cases} x = R_N [(\alpha - \rho) - (\sin \alpha - \sin \rho) \cdot \cos \alpha] \\ y = R_N (\sin \alpha - \sin \rho) \cdot \sin \alpha \end{cases}$$

Радиус начальной окружности R_N не может быть задан произвольное: от него зависит величина f переходной кривой. В то же время необходимо обеспечить полную обработку профиля детали. Поэтому для определения радиуса начальной окружности находится уравнение линии зацепления и максимальное значение расстояния крайней точки линии зацепления от оси шлицевого валика.

Таким образом можно получить уравнение радиуса начальной окружности:

$$R_N = \sqrt{R_a^2 - 0,75d^2},$$

где d - половина шлицевого выступа.

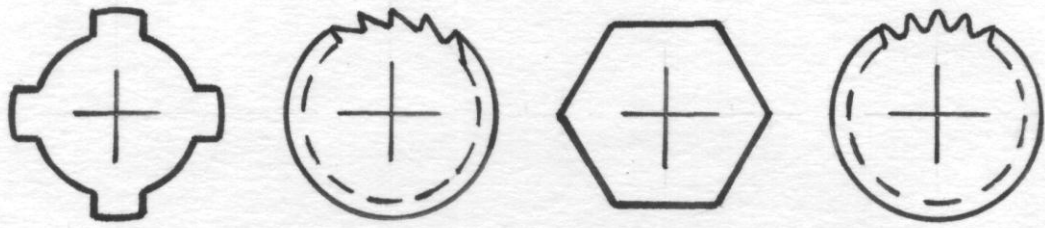


Рис. 54

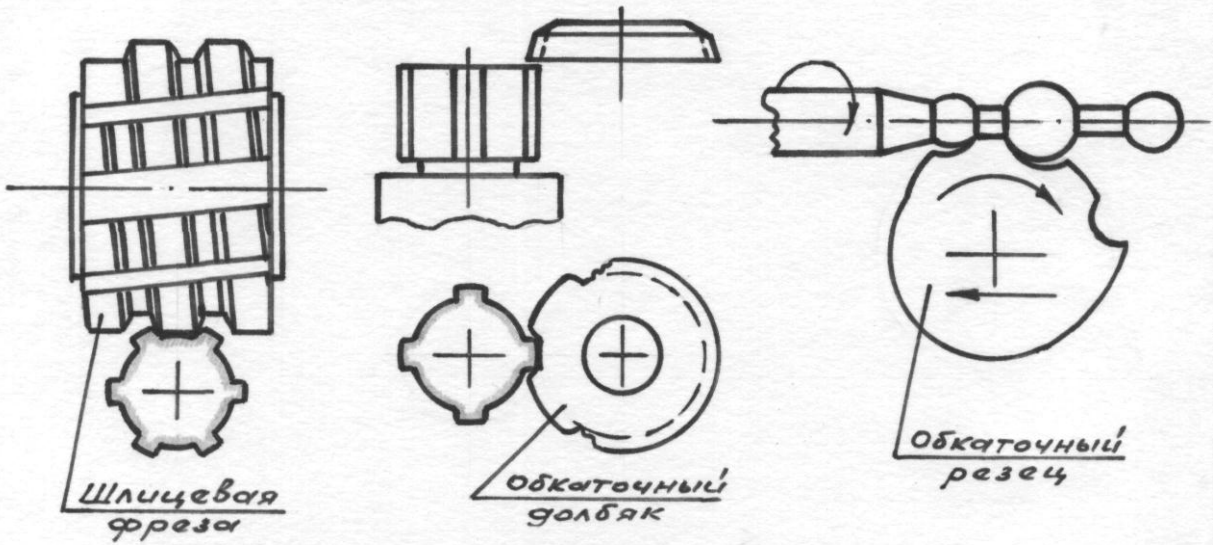


Рис. 55

Положение I

Положение II

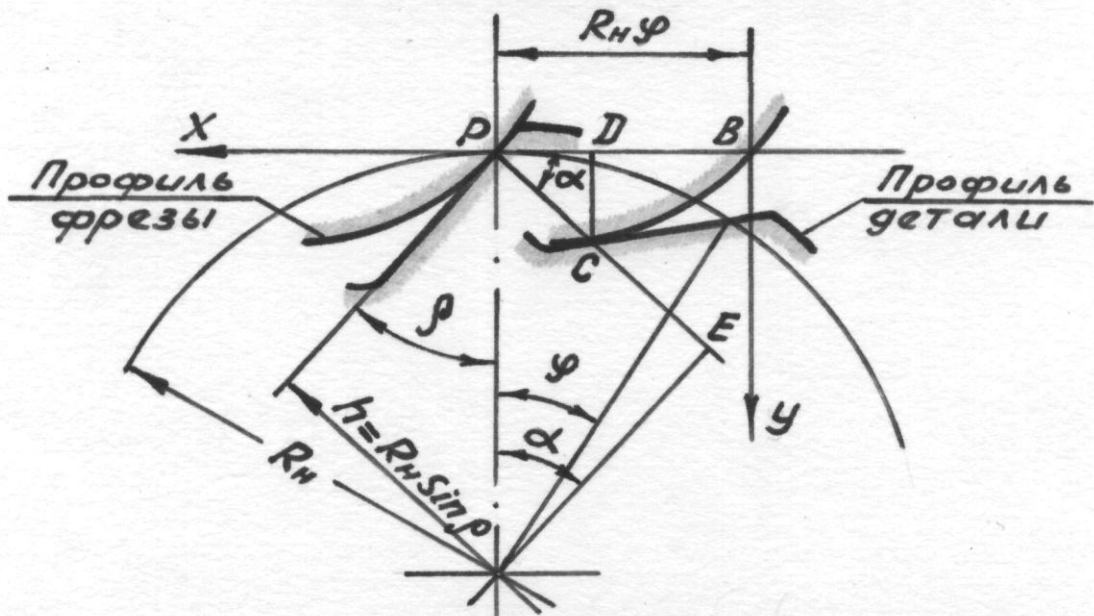


Рис. 56

Для упрощения изготовления фрезы криволинейный профиль зуба можно заменить дугой окружности. Для этой цели можно определить координаты центра окружности и её радиус. Замена возможна в том случае, если появляющиеся погрешности не превышают допусков на изготовление шлицев.

Конструктивные элементы и другие расчетные параметры фрезы выбираются и рассчитываются аналогично червячной зуборезной фрезе. При фрезеровании шлицевого валика червячной шлицевой фрезой у основания шлица получается переходная кривая, уменьшающая рабочую поверхность шлица. Для устранения переходных кривых на фрезе выполняются специальные выступы - "усики", которые позволяют "утопить" переходные кривые в тело вала (рис.57).

Более рациональная конструкция фрезы - фреза с удлиненным зубом. У этой фрезы высота зуба $h > R_e - r_i$. Особенность ее работы заключается в том, что впадину она формирует методом копирования вершинами зубьев, имеющими форму дуги окружности с радиусом r_i . Переходные кривые получаются в пределах 0,1-0,15 мм. Такая фреза сложна в изготовлении, установка её осуществляется по шаблону (рис. 58).

Графический метод построения профиля зуба червячной шлицевой фрезы применяется обычно для проверки правильности аналитического расчета, для изготовления шаблонов (на профилешлифовальном станке). Достоинства его - наглядность и простота, недостаток – малая точность, поэтому выполняется построение всегда в увеличенном масштабе.

Построение профиля выполняется следующим образом (рис. 59). На листе бумаги в увеличенном масштабе (5:1; 10:1; 20:1) вычерчивается впадина шлицевого валика, которая делится по дуге начальной окружности на 10-12 равных частей, точки этих делений соединяются с центром валика прямыми линиями. Затем, на листе кальки в том же масштабе проводятся две параллельные линии на расстоянии друг от друга, равном радиусу начальной окружности, а перпендикулярно им - 10-12 линий, расстояние между которыми равно дугам, на которые разделена шлицевая впадина на чертеже. После этих подготовительных работ выполняется непосредственно построение профиля зуба фрезы.

Для этого калька накладывается на чертеж таким образом, чтобы линия 00 на кальке совпала с лучом 00 на чертеже, после чего на кальке карандашом обводится видимый контур шлицевой впадины. Затем линия 01 на кальке совмещается с лучом 01 на чертеже и опять на кальке обводится контур шлицевой впадины. После выполнения этой операции для всех участков впадины на кальке получится семейство последовательных положений ее при повороте в процессе обработки. Огибающая этих последовательных положений и является профилем зуба червячной шлицевой фрезы.

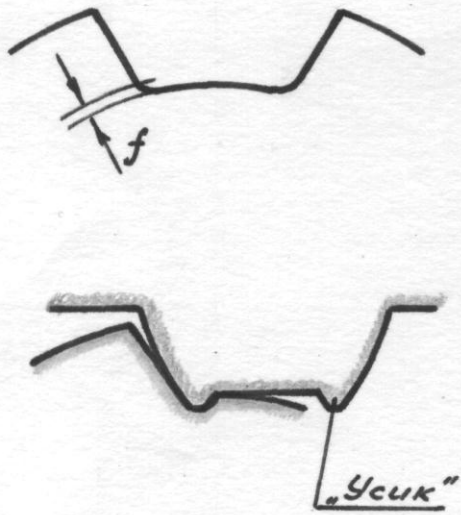


Рис. 57

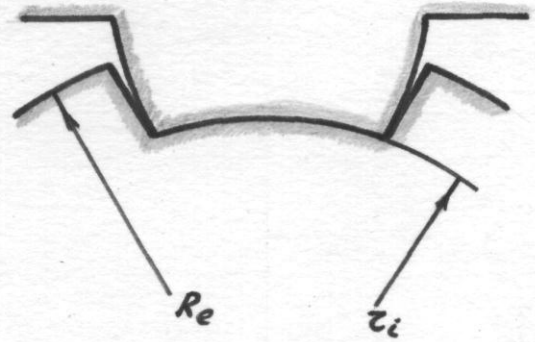


Рис. 58

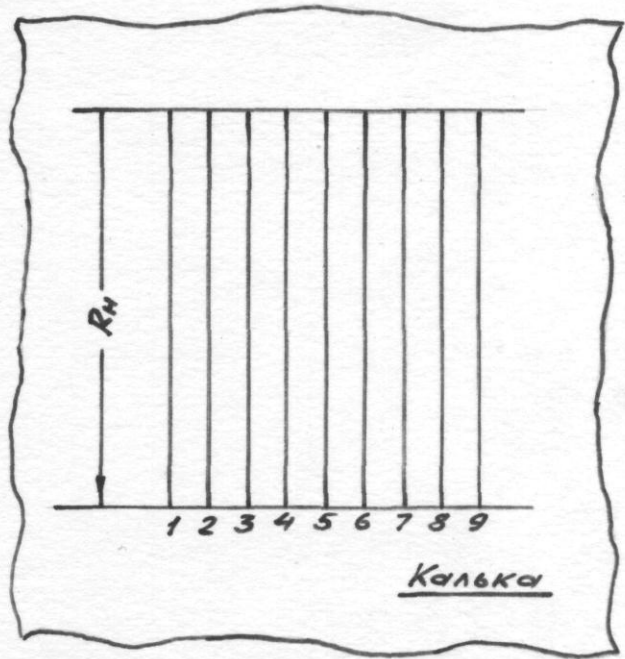
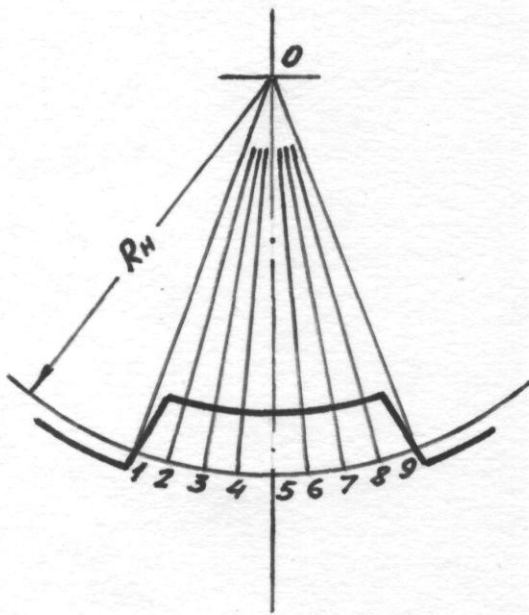


Рис. 59

Совпадение профиля зуба, выполненного графическим построением с профилем зуба, вычерченным на основании аналитического расчета, свидетельствует о правильности расчета фрезы.

14. Инструменты для автоматизированного производства и станков с программным управлением

Эффективность автоматизированного производства в значительной степени зависит от применяемого инструмента, эффективности его, надежности в работе, сокращения времени на замену и регулировку.

В связи с этим к инструментам для автоматических линий, агрегатных станков, обрабатывающих центров, станков с программным управлением предъявляются особые требования:

- высокие режущие свойства за счет применения современных инструментальных материалов и оптимальной геометрии;
- конструктивное обеспечение минимальных затрат времени на регулировку и замену инструмента;
- создание условий для оптимального формирования и удаления стружки из зоны резания;
- обеспечение стабильности размеров при заданном периоде стойкости инструмента.

14.1. Методы повышения стойкости и производительности инструментов

Количество инструментов в автоматизированных станках и линиях достигает нескольких десятков и даже сотен штук. Выход хотя бы одного из них из строя влечет за собой остановку всего производства. Необходима высокая режущая способность инструментов.

Для инструментов автоматизированного производства необходимо применять самые прочные современные инструментальные материалы. Это в первую очередь твердые сплавы, высококачественные быстрорежущие стали, композитные инструментальные материалы на основе эльбора, износостойкие минералокерамические материалы.

Большую роль играет правильный выбор геометрических параметров режущей части инструментов. Для конкретных случаев следует оптимизировать геометрию инструмента; сложность оптимизации, проводимой обычно экспериментально, оправдана получаемой эффективностью использования инструментов.

Существенное влияние на работоспособность инструментов оказывает метод крепления твердосплавных пластин. Более рациональным является механическое крепление. Целесообразно использовать многогранные неперетачиваемые пластины.

Эффективным средством повышения стойкости служит подача СОЖ в зону резания под давлением 2-4 атмосферы. Особенно это важно для таких инструментов как сверла.

Существенным методом повышения производительности инструментов является применение комбинированных инструментов. Наиболее характерно это направление при проектировании инструментов для обработки отверстий: сверло - зенкер, зенкер - развертка, многоступенчатая развертка и т.д. (рис. 60).

14.2. Обеспечение регулировки и замены инструмента

Для сокращения потерь времени применяется бесподналадочный инструмент. Этот инструмент имеет элемент (обычно винт) для компенсации износа или неточности изготовления и настройка его производится вне станка.

Метод пригоден как для единичных инструментов, так и для многорезцовых наладок с использованием блочных резцедержателей.

Важным резервом экономии времени является использование быстросменных патронов и методов крепления инструментов на станках.

Настройка инструментов вне станка применяется для самых разнообразных инструментов: борштанг, фрез, протяжек, зубодолбежных головок и т.д.

Увеличение размерной стойкости инструмента можно обеспечить за счет периодического обновления его режущих лезвий: применение многогранных пластинок твердого сплава, использование чашечных резцов и резцов для ротационного точения. Повышение стойкости червячной фрезы осуществляется за счет ее передвижения вдоль оси на величину осевого шага.

Эффективным средством сокращения времени на установку инструмента является быстросменность (рис. 61).

Широкое применение имеют типовые конструкции быстросменного крепления резцов как отдельных, так и в блоке.

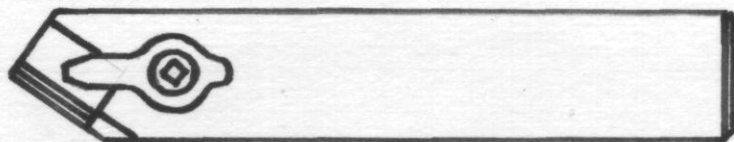
В необходимых случаях производится автоматическая замена инструментов, например зубозакругляющих пальцевых фрез.

14.3. Формирование и отвод стружки

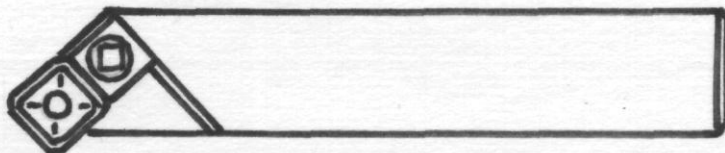
Для формирования и отвода стружки применяются резцы со стружколомающими средствами в виде порошков, лунок, накладных стружколомов, экранов и т.д.

Заслуживают внимания устройства для кинематического дробления стружки за счет периодических колебаний резца в направлении подачи. На кулачках, работающих на автоматах, для этой цели выполняют канавки

определенной формы и размеров. При использовании ротационных резцов на их лезвия наносятся специальные канавки или насечка.



Резец с механчч. крепл. пластины



Резец с многогран. пластиной



Сверло с подачей СОЖ по внутр. каналам

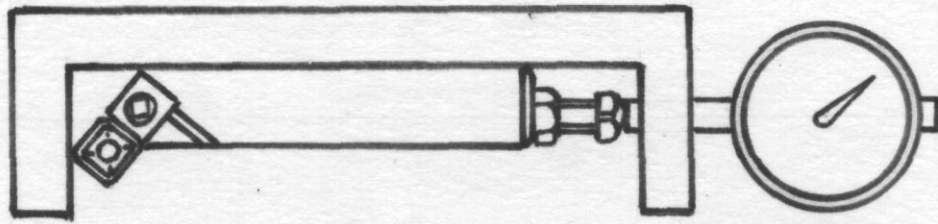


Сверло-зенкер

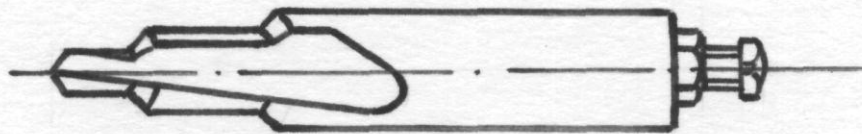


Многоступенчатая развертка

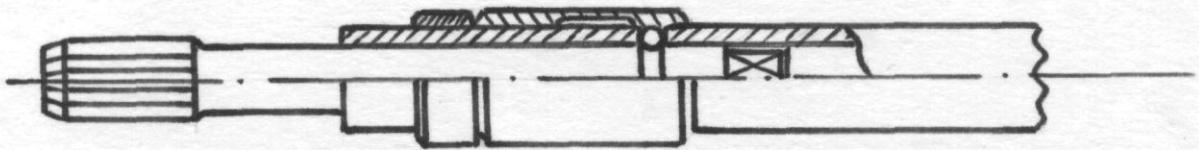
Рис. 60



Бесподналадочный резец



Бесподналадочное сверло



Быстросменный патрон

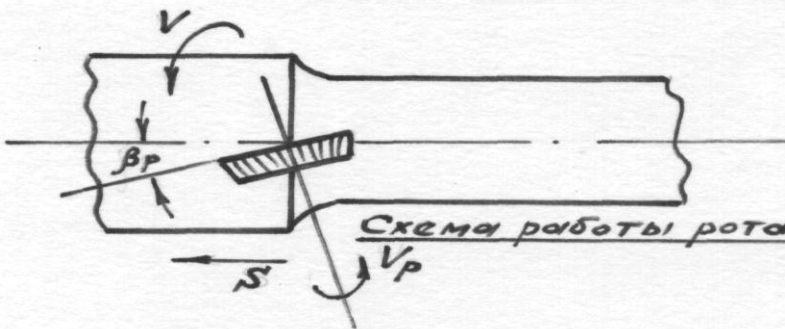
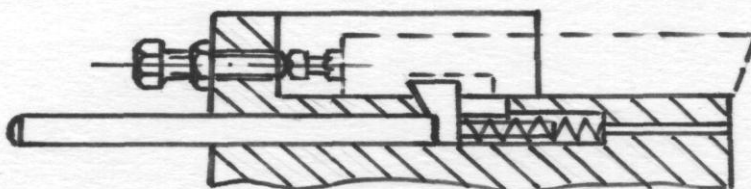


Схема работы ротационного резца



Быстросменное крепление резца

Рис. 61

При обработке отверстий эффективным методом удаления стружки является вымывание ее из зоны резания, подаваемой под давлением СОЖ.

14.4. Обеспечение стабильности размеров

При эксплуатации автоматизированного оборудования важно знать момент необходимой остановки его для замены инструмента.

Для этой цели необходима сигнализация о состоянии инструмента.

Существуют различные конструкции устройств, главным образом электромеханические и электронные, которые позволяют получить информацию о необходимости замены инструмента. Исходными данными для таких устройств служит изменение сил резания в связи с затуплением или поломкой инструмента, или изменения размеров обрабатываемой детали.

В последнее время находят применение адаптивные системы автоматизированной обработки, в которых при изменении размеров обрабатываемой детали осуществляется автоматическая поднастройка инструмента.

Литература

1. Кожевников Д.В., Гречишников В.А. и др. – Режущий инструмент. Учебник для ВУЗов. М.: Машиностроение. 2004. -512с.
2. Металлорежущий инструмент. Сахарев. Г.Н., Арбузов О.Б. и др. М.: Машиностроение, 1989. -328с.
3. Иноземцев Г.Г. Проектирование металлорежущих инструментов. М.: Машиностроение, 1984. -272с.
4. Справочник инструментальщика. Под общ. Ред. Ординарцева И.А. М.: Машиностроение, 1987. -846с.
5. Шкуркин В.В. Режущие инструменты. Учебное пособие. Псков: ПГПИ 2006. -74с.
6. Шкуркин В.В., Козлов Д.П. Режущий инструмент. Учебное пособие по лабораторным работам. Псков: ПГПИ 2002. -24с.
7. Боровский Г.В. и др. Справочник инструментальщика. М.: Машиностроение 2005. -464с.