

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»  
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

*А.Н. ЖИДЯЕВ*

## РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве учебного пособия для обучающихся по основным образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 24.03.05 Двигатели летательных аппаратов

САМАРА  
Издательство Самарского университета  
2023

УДК 621.9(075)

ББК К63я7

Ж699

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. В. А. М и х е е в,  
заместитель главного технолога  
АО «Металлист-Самара» А. А. В а с и л ь е в а

*Жидяев, Алексей Николаевич*

Ж699 **Режущий инструмент для станков с ЧПУ:** учебное пособие /  
*А.Н. Жидяев.* – Самара: Издательство Самарского университета,  
2023. – 80 с.

**ISBN 978-5-7883-1980-3**

В данном пособии приведены основные сведения по применяемым инструментальным материалам, классификации и конструкции сборного, составного и цельного режущего инструмента для токарных, фрезерных и шлифовальных станков с ЧПУ. Рассмотрены основные виды вспомогательного инструмента и вопросы сборки инструмента для установки на станок.

Предназначено для обучающихся по направлениям подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств и 24.03.05 Двигатели летательных аппаратов.

Подготовлено на кафедре технологий производства двигателей Самарского университета.

УДК 621.9(075)

ББК К63я7

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕЖУЩЕМ ИНСТРУМЕНТЕ</b> .....	7
1.1 Режущий клин лезвийного инструмента .....	7
1.2 Элементы режима резания.....	9
1.3 Режущий клин при точении, фрезеровании, сверлении .....	10
1.4 Резание абразивным инструментом.....	12
<b>2 ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ</b> .....	13
2.1 Быстрорежущие стали.....	14
2.2 Твёрдые сплавы .....	15
2.2.1 Классификация твёрдых сплавов.....	16
2.2.2 Производство инструмента из твёрдых сплавов .....	18
2.3 Минеральная керамика .....	19
2.4 Сверхтвёрдые материалы .....	20
2.5 Абразивные материалы.....	21
2.6 Износостойкие покрытия.....	22
<b>3 ТОКАРНЫЕ РЕЗЦЫ</b> .....	23
3.1 Сборные резцы.....	23
3.1.1 Классификация СМП .....	23
3.1.2 Новые формы пластин .....	26
3.1.3 Классификация державок .....	27
3.1.4 Пластины, державки для прорезных и отрезных резцов ...	30
3.1.5 Резьбовые резцы .....	33
3.1.6 Резцы для обработки отверстий малого диаметра .....	33
3.2 Цельные резцы.....	34
<b>4 ФРЕЗЫ</b> .....	36
4.1 Виды сборных фрез.....	36
4.1.1 Сборные фрезы с СМП .....	36

4.1.2 Сборные фрезы со сменной головкой .....	43
4.2 Цельные фрезы .....	44
<b>5 ОСЕВОЙ ИНСТРУМЕНТ .....</b>	<b>49</b>
5.1 Свёрла .....	49
5.2 Развёртки .....	52
5.3 Метчики.....	53
5.4 Центровочные свёрла, зенковки, цековки.....	54
<b>6 РАСТОЧНЫЕ СИСТЕМЫ .....</b>	<b>55</b>
<b>7 ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ .....</b>	<b>56</b>
7.1 Резцедержатели с хвостовиком с рифлёной лыской .....	57
7.2 Резцедержатели с установкой по шпонкам.....	61
7.3 Приводные держатели режущего инструмента.....	61
<b>8 ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ .....</b>	<b>63</b>
8.1 Присоединительные поверхности.....	63
8.2 Оправки для насадных фрез .....	67
8.3 Сверлильный патрон .....	67
8.4 Патроны для фрезерного инструмента.....	68
8.5 Резцедержатели для фрезерных станков.....	73
<b>9 ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ.....</b>	<b>75</b>
9.1 Типы шлифовальных кругов .....	75
9.2 Обозначение кругов .....	76
9.3 Вспомогательный инструмент .....	78
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....</b>	<b>79</b>

«Техника на грани фантастики!» –  
хвастливо сказал Шурупчик.  
*Н. Носов «Приключения Незнайки и его друзей»*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Режущий инструмент применяется для обработки резанием, когда новые поверхности получаются отделением поверхностных слоев материала с заготовки. При этом происходит образование стружки, которое сопровождается деформированием и разрушением поверхностных слоев материала.

Выделяют черновую обработку, в результате которой удаляется большая часть припуска и достигается невысокая точность, и чистовую обработку, когда достигаются заданные точность размеров, шероховатость поверхностей и другие параметры качества поверхностного слоя при удалении оставшейся части припуска. Припуском называют слой материала, удаляемый с поверхности заготовки для достижения заданных свойств обработанной поверхности. Зачастую для ответственных деталей окончательная шероховатость поверхностей и другие параметры качества поверхностного слоя достигаются в специальных отделочных операциях.

При резании материал заготовки сопротивляется внедрению инструмента и срезанию стружки, что характеризуется силой резания. Она оказывает силовое воздействие как на инструмент, так и на заготовку. Правильный выбор геометрических характеристик инструмента позволяет установить вектор силы резания в направлении, в котором жёсткость технологической системы выше.

При срезании стружки происходит интенсивное пластическое деформирование и разрушение, на что затрачивается механическая работа. Большая часть этой работы переходит в теплоту, вызывая нагрев инструмента, заготовки и стружки. Предпочтительными

являются такие инструмент и режим резания, при которых происходит наименьший нагрев заготовки и инструмента, а большая часть теплоты отводится со стружкой.

Режущие инструменты бывают ручными и машинными, профильными для обработки поверхностей заранее определённой формы и универсальными для обработки поверхностей различной формы. В подавляющем большинстве случаев режущий инструмент применяется при изготовлении деталей на металлорежущих станках.

В пособии приведены диапазоны основных размеров некоторого инструмента, который производится серийно. По специальному заказу можно изготовить другие размеры инструмента, а также комбинированный инструмент, который за один переход может выполнить обработку, осуществляемую поочередно разным универсальным инструментом за несколько переходов.

Некоторые размеры могут обозначаться в отношении к диаметру: вылет расточного резца из резцедержателя, длина режущей части концевой фрезы, наибольшая глубина сверления и другие. Например, фреза с длиной режущей части  $2D$  означает, что длина режущей части в два раза превышает режущий диаметр фрезы. Это примерное соотношение, т. е. у фрезы диаметром 12 мм режущая длина может быть 25 мм.

В тексте можно встретить некоторые нетехнические термины, которые, однако, употребляются на производстве. Такие термины заключены в кавычки.

# 1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕЖУЩЕМ ИНСТРУМЕНТЕ

Общие понятия о конструкции и геометрии режущего инструмента рассмотрены в ГОСТ 25751-83 «Инструменты режущие. Термины и определения общих понятий». Режущий инструмент бывает лезвийным или абразивным. В данном стандарте приведены следующие виды лезвийного инструмента: резец, фреза, сверло, зенкер, развёртка, зенковка, цековка, метчик, плашка, протяжка, шевёр. С абразивным инструментом позволяет ознакомиться ГОСТ 21445-84 «Материалы и инструменты абразивные. Термины и определения».

В пособии приведены различные конструкции лезвийного инструмента: резцов, фрез, свёрл, развёрток без подробного описания геометрии режущей части.

## 1.1 Режущий клин лезвийного инструмента

Режущий инструмент можно разделить на две части: рабочую часть и хвостовик в виде стержня, с помощью которого происходит крепление инструмента. На станках с ЧПУ, как правило, режущий инструмент напрямую не закрепляется; для этого используется инструментальная оснастка. Рабочая часть содержит лезвие – клинообразный элемент для внедрения в материал заготовки и отделения стружки.

Список параметров режущего инструмента, определяющих его геометрию и работоспособность, достаточно большой. Среди ключевых можно выделить параметры, характеризующие режущий клин: передний угол  $\gamma$ , задний угол  $\alpha$ .

Общий вид режущего клина приведён на рисунке 1.1.

На рисунке 1.1 лезвие инструмента двигается справа налево со скоростью резания  $v$ , удаляя стружку. Поверхность, на которую

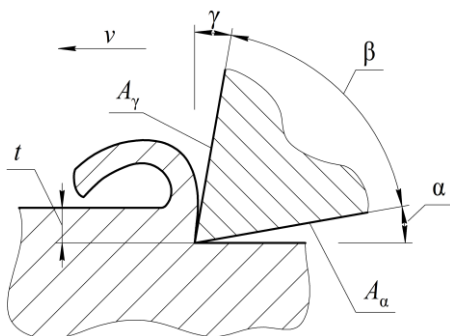


Рис. 1.1. Режущий клин в процессе удаления стружки

оказывается воздействие при обработке и которая частично или полностью удаляется при обработке, называется **обрабатываемой** поверхностью. **Обработанная** поверхность – поверхность, образованная на заготовке после обработки.

Со стружкой и удаляемым слоем соприкасается передняя поверхность лезвия

$A_\gamma$ . Передний угол  $\gamma$  – угол между статической основной плоскостью, которая на рисунке вырождается в вертикальную линию, и передней поверхностью.

Величина переднего угла обычно выбирается в пределах от  $-10^\circ$  до  $15^\circ$ . Большее значение снижает прочность клина вблизи вершины, но снижает силу резания, и наоборот.

Задняя поверхность лезвия  $A_\alpha$  находится в контакте с обработанной поверхностью на заготовке. Задний угол  $\alpha$  – угол между задней поверхностью лезвия и обработанной поверхностью. Задний угол необходим для снижения трения об обработанную поверхность, он всегда положительный и может достигать  $15^\circ$ .

Угол заострения можно определить, как угол между передней и задней поверхностями. Угол заострения (при положительном  $\gamma$ ) в сумме с  $\gamma$  и  $\alpha$  даёт  $90^\circ$ . При отрицательном  $\gamma$  угол  $\beta$  получается вычитанием из  $90^\circ$  углов  $\gamma$  и  $\alpha$ . При конструировании режущего инструмента достаточно задать углы  $\gamma$  и  $\alpha$ .

Пересечение передней и задней поверхности образуют режущую кромку. В сечении, например, как на рисунке 1.1, режущая кромка вырождается в точку.



Для получения более прочной режущей кромки она может быть выполнена округлённой или с упрочняющей фаской (рисунок 1.2). Радиус округления  $\rho$  и ширина фаски  $f$  всегда меньше глубины резания  $t$ , иначе угол  $\gamma_\phi$  считался бы не углом фаски, а отрицательным передним углом.

Такие способы упрочнения делают кромку менее острой и приводят к увеличению силы резания, но повышают период стойкости режущего инструмента. Существуют также комбинации представленных видов упрочнения.

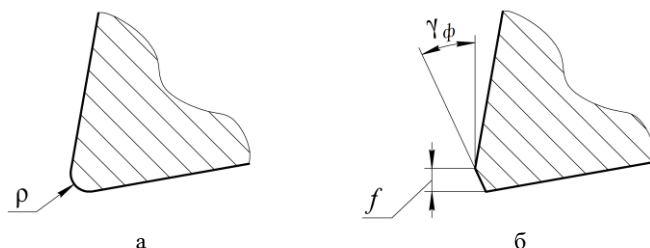


Рис. 1.2. Режущий клин: а – с округлённой режущей кромкой; б – с упрочняющей фаской на режущей кромке

## 1.2 Элементы режима резания

Режим резания – совокупность значений скорости резания, подачи или скорости подачи и глубины резания.

Скорость резания  $v$  – скорость рассматриваемой точки режущей кромки или заготовки в главном движении резания. Скорость резания при лезвийной обработке измеряется в м/мин. Скорость резания на станках с ЧПУ обычно задают указанием частоты вращения шпинделя главного движения.

Подачу можно задать, как подачу на оборот  $S_o$ , мм/об. Подача  $S_o$  соответствует смещению за один оборот инструмента или заготовки. Он задаётся, например, при точении или сверлении. Можно задать подачу на зуб  $S_z$ , мм/зуб. Она соответствует повороту ин-

струмента или заготовки на один угловой шаг зубьев режущего инструмента и назначается при фрезеровании.

Скорость подачи  $v_s$  – скорость рассматриваемой точки режущей кромки в движении подачи. В управляющей программе для фрезерного станка с ЧПУ чаще указывают скорость подачи, а не подачу на зуб.

Глубина резания  $t$  – кратчайшее расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями.

### 1.3 Режущий клин при точении, фрезеровании, сверлении

Для точения применяются резцы. Резец – однолезвийный инструмент; на токарных станках обработка ведётся с вращательным главным движением заготовки, а сам резец имеет возможность движения подачи в нескольких направлениях.

На рисунке 1.3 приведено сечение заготовки и режущей части резца при обработке цилиндрической поверхности. Скорость резания  $v$  получается за счёт вращения заготовки с частотой  $n$ . Скорость подачи  $v_s$  (здесь и на схемах ниже) показана для инструмента. Передняя

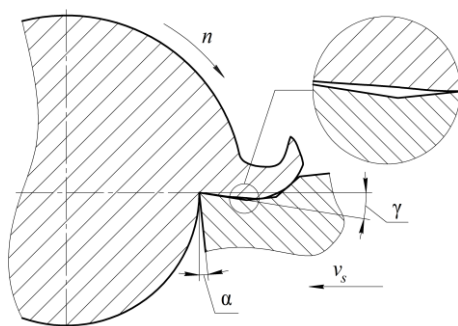


Рис. 1.3. Режущий клин при точении

поверхность режущего клина ломаная; такая форма позволяет завивать и ломать срезаемую стружку и называется стружколомом. При этом стружка не полностью повторяет форму передней поверхности, касаясь лишь в некоторых местах.

Для фрезерования применяются различные по конструкции фрезы, чаще всего многолезвийные (многозубые). Обработка происходит при вращательном

главном движении фрезы, хотя бы с одним движением подачи, направление которого не совпадают с осью вращения.

Обработка концевой фрезой и параметры режущего клина показаны в разрезе на рисунке 1.4. Передняя и задняя затылованная поверхности являются криволинейными, поэтому углы  $\gamma$  и  $\alpha$  откладываются от касательной к соответствующей поверхности в вершине зуба фрезы.

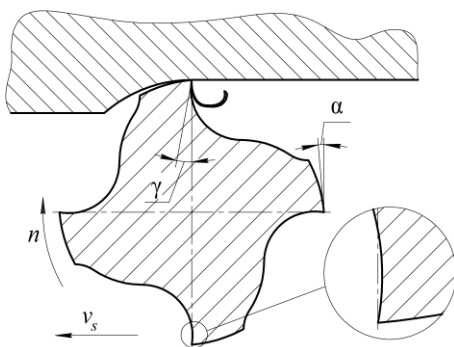


Рис. 1.4. Режущий клин при фрезеровании

станков, на которых изготавливают фрезы, эти параметры задаются именно в поперечном сечении.

Осевой инструмент – лезвийный инструмент для обработки с вращательным главным движением и движением подачи вдоль оси главного движения. Сверло – осевой режущий инструмент для образования отверстия в сплошном материале или увеличения диаметра имеющегося отверстия.

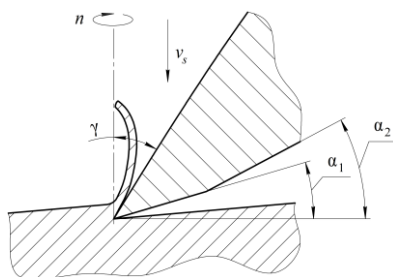


Рис. 1.5. Режущий клин при сверлении

На рисунке приведено поперечное сечение, но углы  $\gamma$ ,  $\alpha$  и другие параметры зуба по ГОСТ на фрезы должны назначаться в сечении, перпендикулярном винтовой режущей кромке зуба. С другой стороны, в программном обеспечении для

наблюдать режущий клин пера сверла в сечении при обработке отверстия с вертикальной осью (стенки отверстия условно не показаны). Во вращательном движении

наблюдать режущий клин пера сверла в сечении при обработке отверстия с вертикальной осью (стенки отверстия условно не показаны). Во вращательном движении

режущий клин движется справа налево, а в движении подачи вниз в осевом направлении. Передний угол у сверла достаточно большой. Данный пример создан на основе размеров существующего сверла диаметром 6 мм, у которого передний угол от центра к периферии изменяется от  $-2^\circ$  до  $33^\circ$ . У данного сверла две задних поверхности: первая с углом  $\alpha_1$  и вторая с углом  $\alpha_2$ .

## 1.4 Резание абразивным инструментом

Говорить о режущем клине при абразивной обработке фактически нельзя, т. к. в резании одновременно участвует большое количество зёрен. При этом у зёрен произвольная форма и случайное расположение на поверхности инструмента, что приводит к разной толщине стружки, снимаемой каждым отдельным зерном (рисунок 1.6).

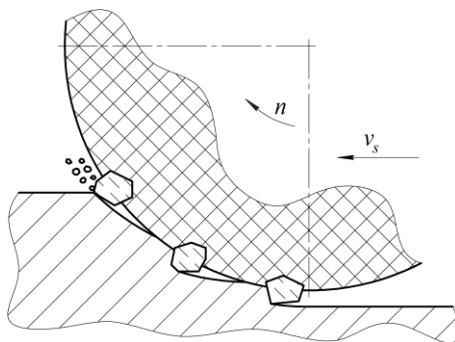


Рис. 1.6. Режущие абразивные зёрна при плоском шлифовании

Передний угол фактически получается отрицательным. Задний угол имеется, но из-за того, что зёрна могут выступать из связки круга незначительно, связка также контактирует с поверхностью резания, что повышает трение.

Процесс резания является особым, со сложной физи-

кой процессом. Работы по изучению этого процесса ведутся и в настоящее время в связи с повышением допустимой скорости резания, новых конструкций инструмента и т. д. Изучается стружкообразование (тип, форма, усадка), наростообразование, силы резания, тепловыделение, параметры поверхностного слоя обработанной поверхности.

## 2 ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В качестве инструментальных материалов для режущей части инструмента, используемого на станках с ЧПУ, применяются быстрорежущие стали, твёрдые сплавы, минеральная керамика, сверхтвёрдые материалы.

Основные требования к инструментальным материалам заключаются в высоких значениях следующих показателей:

- твёрдость;
- прочность;
- температуростойкость (красностойкость);
- теплопроводность;
- износостойкость.

Также важным является низкий коэффициент трения [2].

Более высокая твёрдость режущего инструмента позволяет ему внедряться в менее твёрдый материал заготовки. Наименьшая твёрдость у быстрорежущих сталей и далее повышается по порядку, в котором они были перечислены. По совокупности прочностных характеристик наибольшие показатели у быстрорежущих сталей и далее они снижаются от твёрдых сплавов, к минералокерамике и сверхтвёрдым материалам. Температуростойкость характеризуется критической температурой, при нагреве выше которой твёрдость материала режущей части начинает снижаться из-за структурных превращений. Высокая теплопроводность позволяет быстрее отводить тепло, образующееся в процессе резания, и приводит к меньшему нагреву режущей кромки.

Немалую важность имеет стоимость изготовления режущей части из выбранного материала, которая зависит от наличия в составе дорогих редкоземельных химических элементов, обрабатываемости, технологии изготовления.

Для других частей инструмента применяют различные конструкционные стали. Для повышения виброустойчивости корпусная часть инструмента или часть инструментальной оснастки могут изготавливаться из твёрдых сплавов или материалов с высоким содержанием вольфрама (более 90%) с добавлением железа и никеля, что ведёт к повышению демпфирующих свойств и особенно важно при работе с большими вылетами инструмента.

## 2.1 Быстрорежущие стали

До начала внедрения быстрорежущих сталей активно использовались инструментальные углеродистые и легированные стали. Марки углеродистых сталей – У7...У13, марки легированных сталей – ХВГ, 9ХС и другие. Их теплостойкость на уровне 150...200 °С не позволяет вести производительную обработку заготовок. Сейчас они находят применение в основном для ручного инструмента, работающего с низкими скоростями резания.

Быстрорежущие стали – высоколегированные стали, например, P18, P9, P9K10, P9K5, P6M5K5, P18K5Ф2. Основным легирующим элементом является вольфрам. Его содержание в процентах указывается за буквой Р. Также эти стали легируются хромом (в обозначении не указывается), кобальтом, молибденом, ванадием. Теплостойкость 600...650 °С, твёрдость 68...70 HRC.

Изготавливаются стали, легированные большим количеством элементов, с высокой теплостойкостью до 720 °С. Инструменты из быстрорежущих сталей позволяют вести обработку конструкционных сталей с твёрдостью до 30...35 HRC [2].

В зарубежной литературе быстрорежущие стали обозначаются как HSS – high speed steel.

Заготовки для современного инструмента из быстрорежущих сталей получают методами порошковой металлургии. Для станков

с ЧПУ из быстрорежущих сталей изготавливают свёрла, центровочные свёрла, зенковки, реže цельные фрезы и развёртки.

## 2.2 Твёрдые сплавы

Металлокерамический твёрдый сплав – инструментальный материал, состоящий из твёрдых частиц карбидов, нитридов, карбонитридов, сцементированных металлической связкой.

Выделяют следующие группы твёрдых сплавов:

- вольфрамовая (сплавы ВК6, ВК10 и другие);
- титановольфрамовая (сплавы Т15К6, Т5К10 и другие);
- титанотанталовольфрамовая (сплавы ТТ8К6 и другие);
- безвольфрамовая (ТН20, КНТ16).

Вольфрамовый твёрдый сплав состоит из зёрен карбида вольфрама WC, связанного кобальтом Co. Титановольфрамовый сплав – это твёрдый раствор зёрен WC в карбиде титана TiC и избыточный WC или только раствор WC в TiC, связанный Co. В титанотанталовольфрамовый сплав дополнительно входят зёрна карбида тантала TaC. Безвольфрамовые сплавы состоят из зёрен карбида титана или карбонитрида титана, сцементированных никелем и молибденом.

В сплавах группы ВК цифра означает содержание кобальта в процентах, например, в сплаве ВК8 содержится 8% Co. Более твёрдыми являются зёрна WC, поэтому при меньшем содержании Co (и большем WC) твёрдый сплав будет более износостойким, но и более хрупким. При увеличении содержания Co хрупкость снижается. Для операций резания обычно применяют сплавы, содержащие 6...12% Co. Также в сплав могут входить добавки, препятствующие росту зерна – Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> и VC.

Размер зерна в сплавах группы ВК, применяемых для операций резания, находится в пределах от 0,2 до 0,8 мкм и выбирается в зависимости от обрабатываемого материала, вида операции.

Необходимость использовать меньшее количество вольфрама или не использовать его вовсе связано с небольшими разведанными запасами этого металла и, по-видимому, с дорогостоящим процессом производства изделий с вольфрамом.

Теплостойкость 900...1 000 °С, твёрдость 80...92 HRA. Инструменты из твёрдых сплавов позволяют вести обработку конструкционных сталей с твёрдостью до 45...55 HRC [2].

Твёрдые сплавы и в большей степени вольфрамовые твёрдые сплавы можно отнести к наиболее распространённому инструментальному материалу, применяемому на операциях резания в машиностроительных производствах. Причиной этому является сочетание стоимостных и режущих свойств, которое получено на данном этапе развития промышленности.

В некоторых источниках встречается такой инструментальный материал, как кермет. В одних случаях керметами называют безвольфрамовые твёрдые сплавы, в других твёрдые сплавы на основе карбонитрида титана без добавления или с карбидом вольфрама, в третьих к керметам относят усовершенствованные минеральные керамические материалы с легирующими, упрочняющими (армирующими) добавками. В общем нет необходимости в классификацию инструментальных материалов дополнительно вводить новый – кермет.

### **2.2.1 Классификация твёрдых сплавов**

Классификация ТС осуществляется по ГОСТ 3882-74, который соответствует международному стандарту ИСО 513-75. В этом стандарте приведены три группы ТС: вольфрамовая, титановольфрамовая, титанотанталовольфрамовая; а также представлены марки, относящиеся к этим группам. Описаны области применения по маркам ТС. Например, ВК8 рекомендуется для черногового



точения, фрезерования, сверления серого чугуна, цветных металлов, а также для обработки нержавеющей стали, жаропрочных сталей и сплавов, титановых сплавов.

В этом ГОСТ приводится соответствие марок ТС международной классификации. По этой классификации ТС делятся на три основные группы Р (синий цвет маркировки), М (жёлтый цвет), К (красный цвет) в зависимости от материала обрабатываемой заготовки и типа формирующейся стружки. По видам и режимам обработки происходит дальнейшее деление на группы применения, которые могут обозначаться числом от 01 до 50. Изменение этого числового индекса также указывает на изменение прочности и износостойкости ТС. Например, сплавы, обозначенные Р20, применяются для обработки стали, стального литья, ковкого чугуна, цветных металлов, дающих сливную стружку. К40 подходит для цветных металлов, древесины, пластмассы, дающих стружку надлома.

С 2021 года введён в действие ГОСТ Р ИСО 513-2019, который соответствует действующему международному стандарту ИСО 513:2012. По этому ГОСТ классифицируются твёрдые режущие материалы: твёрдые сплавы, керамика, алмаз, нитрид бора. В стандарте указано шесть групп применения (и цветовое обозначение):

- Р (синий) – сталь,
- М (жёлтый) – нержавеющая сталь,
- К (красный) – чугун,
- N (зелёный) – цветные металлы, неметаллические материалы,
- S (коричневый) – жаропрочные стали и сплавы, титановые сплавы,
- H (серый) – закалённая сталь, упрочнённый, отбелённый чугун.

Основные группы также делятся на группы применения с обозначением от 01 до 50. Это обозначение можно встретить во всех каталогах режущего инструмента, изготовленного из твёрдого сплава отечественными и зарубежными производителями. Некоторые производители выводят неметаллические композиционные материалы из группы N в отдельную группу.

### **2.2.2 Производство инструмента из твёрдых сплавов**

Первоначально инструмент из твёрдых сплавов получали методами литья. Сложность применения литья связана с чрезвычайно высокой температурой плавления вольфрама.

Современный инструмент изготавливают с помощью порошковых технологий: прессованием, изостатическим прессованием или выдавливанием (экструзией) с последующим спеканием. При этом необходима более низкая температура, чем температура плавления вольфрама или другой тугоплавкой фазы. При спекании нагрев происходит до температур близких к температуре плавления связующей фазы, а по мере остывания она цементирует зёрна твёрдых карбидов.

Процесс получения режущих пластин из ТС состоит из следующих этапов.

- 1) Подготовка, измельчение, смешивание порошков связующего, карбидов и технологических добавок в требуемой пропорции;
- 2) Просушивание;
- 3) Засыпание смеси в строго ограниченном количестве в форму;
- 4) Прессование с усилием до 12 тонн;
- 5) Спекание при температуре до 1 500 °С в течении 13 часов с объёмной усадкой до 50%;
- 6) Шлифование при повышенных требованиях к точности;

- 7) Доводка режущей кромки;
- 8) Нанесение износостойкого покрытия;
- 9) Окончательный контроль;
- 10) Маркировка и упаковка.

Если прессование производят поштучно, то спекание целесообразно проводить большими партиями за одну садку. Промежуточные контрольные операции могут проводиться выборочно для некоторого числа пластин после каждой технологической операции.

Заготовки для фрез, свёрл получают выдавливанием прутков с последующим спеканием. Заготовка может подвергаться предварительному спеканию, чтобы обрабатывать её точением или фрезерованием алмазным инструментом для получения сложной формы при изготовлении специального инструмента.

Отечественными изготовителями заготовок для твёрдосплавного инструмента и режущих пластин являются Кировградский завод твёрдых сплавов, ВИРИАЛ (Санкт-Петербург).

## 2.3 Минеральная керамика

К минеральной керамике можно относить различные оксиды, нитриды, карбиды, бориды [5]. Выделяют следующие группы минералокерамики, применяемой на операциях резания:

- оксидная (белая) керамика;
- оксидно-карбидная (чёрная) керамика;
- кремниевая керамика.

Оксидная керамика состоит из оксида алюминия  $Al_2O_3$  и легирующих добавок. Пластины изготавливают холодным прессованием и спеканием. Оксидно-карбидная керамика содержит до 60%  $Al_2O_3$ , до 20...40% карбида титана  $TiC$ , до 20...40% оксида циркония  $ZrO_2$  и других карбидов. Пластины изготавливают горячим прес-

сованием. Пластины из кремниевой керамики в качестве основы имеют нитрид кремния  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . Они дополнительно легируются иттрием, цирконием, алюминием и т. д. Пластины изготавливают горячим прессованием.

Теплостойкость 1 200...1 500 °С, твёрдость 90...96 НРА.

Оксидную керамику применяют для получистовой и чистовой обработки нетермообработанных сталей, чугунов. Инструменты из карбидной керамики позволяют вести обработку конструкционных сталей с твёрдостью до 30...65 HRC. Нитридная керамика служит для получистовой обработки чугунов. Из керамики изготавливают сменные пластины для токарных резцов и фрез. Область применения инструмента с керамической режущей частью постоянно расширяется.

## 2.4 Сверхтвёрдые материалы

К сверхтвёрдым материалам относятся алмаз и модификации нитрида бора. В промышленности чаще встречаются синтетические алмазы, несколько уступающие по характеристикам дефицитным природным алмазам. Нитрид бора – искусственный материал. В 1959 г. в СССР академиком Л.Ф. Верещагиным были получены сверхтвёрдые фазы углерода и нитрида бора [4]. Сверхтвёрдые материалы – разнообразная группа материалов, которые отличаются по технологии их получения и по свойствам.

Для обработки резанием используют поликристаллический кубический нитрид бора (КНБ) и поликристаллический алмаз, получаемые по технологии спекания.

Приводимые данные по твёрдости и теплостойкости зачастую разнятся в зависимости от технологии получения СТМ. Теплостойкость композитов нитрида бора до 1 500 °С, твёрдость до 40...100 НV. Теплостойкость искусственного алмаза до 900 °С,

твёрдость до 120...150 HV. Коэффициент трения природного алмаза в паре с цветными сплавами находится в пределах 0,05...0,08, а искусственного алмаза – 0,10...0,26 [4].

Инструмент, оснащенный модификациями нитрида бора, используют для обработки чугунов, закалённых сталей до 60 HRC, т. к. нитрид бора практически инертен к чугунам и сталям. Алмаз имеет высокую степень химического взаимодействия со сталями, поэтому для их обработки не пригоден. Инструмент с поликристаллическим алмазом применяют для обработки сплавов на основе цветных металлов, неметаллических материалов (пластмассы, древесина), твёрдых сплавов до спекания.

Применение инструмента из СТМ позволяет перестроить технологический процесс в сторону сокращения операций. Например, обработку заготовок из закалённых сталей резцами с КНБ можно проводить на токарных станках, реализовав «твёрдое» точение, т. е. можно отказаться от операций шлифования.

Конструктивно режущую часть из СТМ выполняют как вставки на пластинах для токарных резцов и корпусных фрез, несъёмные вставки для чистовых концевых фрез. Эти вставки выращиваются на подложке из твёрдого сплава, а затем припаиваются к пластине или фрезе. Зёрна из СТМ применяют для изготовления шлифовального инструмента.

## 2.5 Абразивные материалы

Абразивный материал – природный или искусственный материал для абразивной обработки. Применяются следующие виды абразивных материалов:

- электрокорунд;
- карбид кремния;
- карбид бора;

- кубический нитрид бора;
- синтетический алмаз.

Электрокорунд бывает следующих видов:

- нормальный;
- белый;
- монокорунд;
- циркониевый;
- легированный (титанистый, хромистый, хромо-титанистый).

Карбид кремния бывает зелёным и чёрным.

Абразивные зёрна (частицы абразивного материала) с помощью связки образуют шлифовальный инструмент определённой геометрической формы. На станках с ЧПУ применяют шлифовальные круги разной формы.

## 2.6 Износостойкие покрытия

Износостойкие покрытия наносятся на режущую часть инструмента, изготовленного из различных материалов. Для покрытия твёрдых сплавов применяют нитриды, карбонитриды, алмазоподобные покрытия. Покрытия имеют толщину до 10 мкм, могут быть однослойными, многослойными, градиентными.

Одно из первых покрытий – нитрид титана TiN имеет золотистый цвет. Сейчас оно применяется в многослойных покрытиях с другими слоями, состоящими из (Ti,C)N и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Многослойные покрытия чаще применяют для сменных пластин. На цельные фрезы и свёрла наносят однослойные покрытия TiAlN и AlCrN.

## **3 ТОКАРНЫЕ РЕЗЦЫ**

Токарные резцы могут быть цельными, составными и сборными. Цельный инструмент изготавливается полностью из инструментального материала. Составной инструмент имеет неразъемные соединения (паяные, сварные) различных частей. У составных резцов припаяна режущая пластина. Также может быть сварной хвостовик, когда основная часть изготовлена из более дешевой стали, а часть, стыкуемая с пластиной, изготовлена из материала с повышенными антивибрационными свойствами. В сборном инструменте режущая пластина крепится механически, например, винтом и может быть заменена на новую.

Инструментальный материал дороже конструкционных сталей, которые используются для корпусов, державок и т. д. По этой причине цельный инструмент будет дороже составного и сборного при одинаковых размерах. Цельный инструмент из-за отсутствия соединений будет более виброустойчивым, но при этом он является более хрупким.

Цельный инструмент используют только для мелкогабаритной обработки при растачивании, когда нет возможности создать конструкцию со сменной пластиной. Составной инструмент с напаянными пластинами на станках с ЧПУ не применяется. Можно встретить только пластины с напаянной режущей частью из алмаза или нитрида бора, которые крепятся к державке механически. Основной объем инструмента для обработки на токарных станках с ЧПУ составляет сборный инструмент со сменными многогранными пластинами (СМП).

### **3.1 Сборные резцы**

#### **3.1.1 Классификация СМП**

Режущие пластины обозначаются по ГОСТ 19042-80. Буквенно-цифровое обозначение позволяет определить форму, задний угол, класс допуска, конструктивные особенности, размер, толщину

ну, радиус при вершине и дополнительные обозначения. Формы пластин представлены на рисунке 3.1.

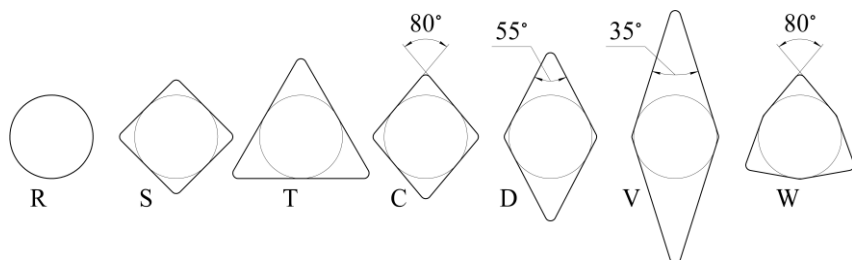


Рис. 3.1. Формы СМП

Чаще применяются пластины форм R, S, C, D, V, W. Другие формы применяются реже. Формы R, S, C, W применяются при черновой обработке, т. к. обладают более прочной режущей кромкой. При чистовой обработке формы C, W (угол при вершине  $80^\circ$ ) также можно использовать, но формы D (угол при вершине  $55^\circ$ ) и V (угол при вершине  $35^\circ$ ) будут предпочтительнее при профильной обработке. Форма R также может применяться для профильной обработки, но при этом получаемые радиусы галтелей будут не менее радиуса пластины. Большое количество режущих кромок на пластине позволяет снижать стоимость одной режущей кромки, а значит, и стоимость обработки. Например, при сопоставимых размерах пластина W будет предпочтительнее, чем C.

Задний угол может изменяться в пределах от  $0$  до  $30^\circ$ . При этом задний угол при обработке будет определяться задним углом пластины и углом, под которым пластина устанавливается в державке. Например, для пластины без заднего угла ( $0^\circ$ ) появляется возможность сделать стружколом с двух сторон, т. е. количество режущих кромок будет вдвое больше, чем у односторонней пластины (рисунок 3.2).



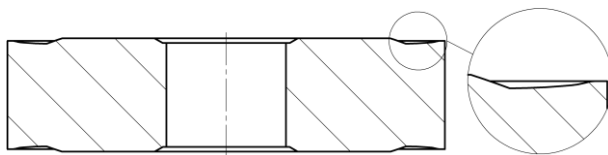


Рис. 3.2. Двухсторонняя пластина без заднего угла

Размер пластины определяется диаметром вписанной окружности. На рисунке 3.1 изображены пластины с размерами, которые получаются при одинаковом радиусе вписанной окружности. Диаметр обозначается двузначным кодом, например, при диаметре 12,7 мм для пластин формы С будет код 12, а для пластин формы D – код 15. Объём твёрдого сплава для пластины зависит от размера и толщины. Для снижения затрат необходимо выбирать пластины меньшего размера при условии обеспечения достаточной прочности.

Радиус при вершине может обычно равным 0,2; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6 мм и более. Пластины без радиуса не применяются из-за низкой прочности режущей кромки, к тому же пластина с радиусом обеспечит более низкую шероховатость поверхности после обработки. Обозначение будет состоять из двух цифр, соответствующих величине радиуса, например, при радиусе 0,8 мм будет применён код 08.

Стружколомы обычно разрабатываются индивидуально производителями. Бывают черновые, получистовые и чистовые стружколомы, которые применяются при черновой, получистовой и чистовой обработке соответственно (рисунок 3.3).

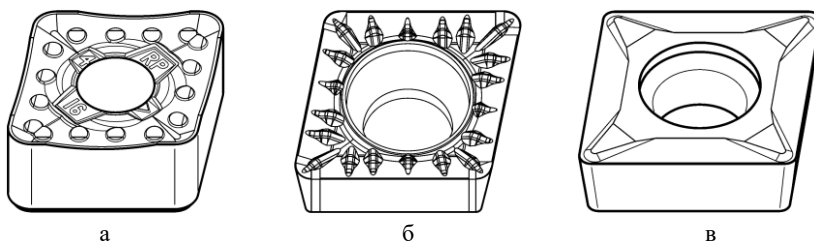


Рис. 3.3. Примеры стружколомов одного из производителей:  
а – черновой; б – получистовой; в – чистовой

Например, обозначение пластины CNMG-160612 MR можно расшифровать так: С – форма пластины; N – пластина без заднего угла; M – второй класс допуска; G – пластина с цилиндрическим отверстием и стружколомами с двух сторон; 16 – диаметр вписанной окружности 15,875 мм; 06 – толщина пластины 6,35 мм; 12 – радиус при вершине 1,2 мм; MR – обозначение типа чернового стружколома, разработанного производителем. Для получения подробностей о расшифровке параметров можно обратиться к ГОСТ 19042-80 или каталогам производителей токарного режущего инструмента.

Пластины могут изготавливаться в зачистной версии, когда на режущей кромке, контактирующей с обработанной поверхностью, изготавливают небольшой прямолинейный участок, позволяющий получить более низкую шероховатость или работать с большей подачей. Такие пластины применяют только при чистовой обработке.

СМП не перетачиваются; после износа всех режущих кромок пластина должна быть отправлена на переработку. Для снижения стоимости одной режущей кромки и себестоимости изготовления деталей предпочтительно выбирать пластины с наибольшим количеством режущих кромок.

### **3.1.2 Новые формы пластин**

Производители токарного инструмента постоянно разрабатывают новые формы СМП. В основном это комбинации пластин (рисунок 3.4). Пластина формы Q это комбинация двух пластин С с четырьмя режущими кромками на одной стороне; форма CP-A – три режущие кромки формы V, расположенные на треугольной пластине, а форма CP-B – более прочная кромка формы С, расположенная на пластине близкой к V, для профильной обработки.

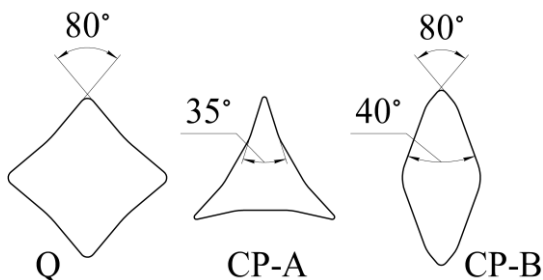


Рис. 3.4. Новые формы СМП

Пластины новых форм безусловно обладают технологическими преимуществами, однако стоимость приобретения таких пластин и державок к ним, как правило, намного превышает стоимость стандартных, что ставит вопрос о подробном предварительном расчёте эффективности внедрения новой пластины на конкретной операции.

### 3.1.3 Классификация державок

Державки резцов для наружной обработки обозначают по ГОСТ 59472-2021. Буквенно-цифровой код раскрывает способ крепления пластины, форму пластины, тип резца, задний угол пластины, направление резания, высоту и ширину хвостовика, длину резца, размер пластины, точность параметров резца.

Распространённые формы крепления СМП показаны на рисунке 3.5. Типы Р и D применяют чаще при черновой обработке, также они позволяют применять двухсторонние пластины без заднего угла. Задний угол образуется за счёт расположения опорной поверхности державки под наклоном. Тип S более компактный, используются пластины с задним углом. Этот тип чаще применяют для чистовой обработки [7].

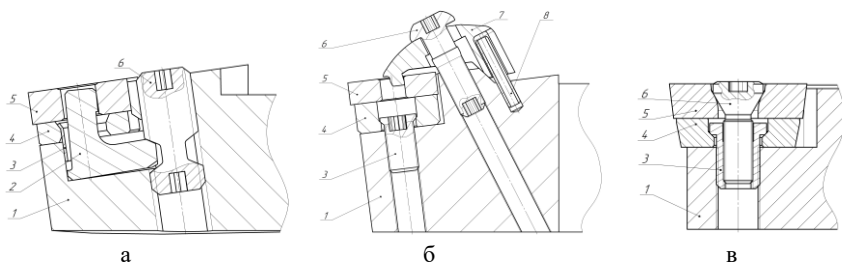


Рис. 3.5. Варианты прижимов для крепления СМП:  
 а – качающимся штифтом (рычагом), тип Р; б – прихватом сверху, тип D;  
 в – винтом, тип S; 1 – державка, 2 – штифт качающийся, 3 – скоба или винт,  
 удерживающий подкладную пластину, 4 – подкладная пластина, 5 – СМП,  
 6 – прижимающий винт, 7 – прихват, 8 – штифт прижима

Общие виды державок для пластины формы С с креплением типа Р, D и S приведены на рисунке 3.6. Державка для наружного точения имеет прямоугольный хвостовик, размеры которого обеспечивают установку вершины пластины в плоскость ZX токарного станка. Размеры хвостовика выбирают в зависимости от резцедержателей, применяемых для выбранного типа станка.

Тип резца характеризует главный угол – угол между вектором скорости подачи и главной режущей кромкой пластины, установленной в державку. Например, для резцов с пластиной формы С при главном угле  $95^\circ$  возможно обрабатывать и цилиндрические поверхности, и торцы. Направление резания определяется правым R, левым L или правым и левым (нейтральным) N резцами. На токарных станках с СПУ, у которых суппорт расположен за осью вращения, в основном применяют левые резцы. Например, в обозначении державки PCLNL2020K12 (рисунок 3.6, а): Р – тип крепления пластины; С – форма пластины; L – главный угол  $95^\circ$ ; N – пластина без заднего угла; L – левый резец; 2020 – высота державки 20 мм, ширина державки 20 мм; К – длина резца 125 мм; 12 – размер устанавливаемой режущей пластины.

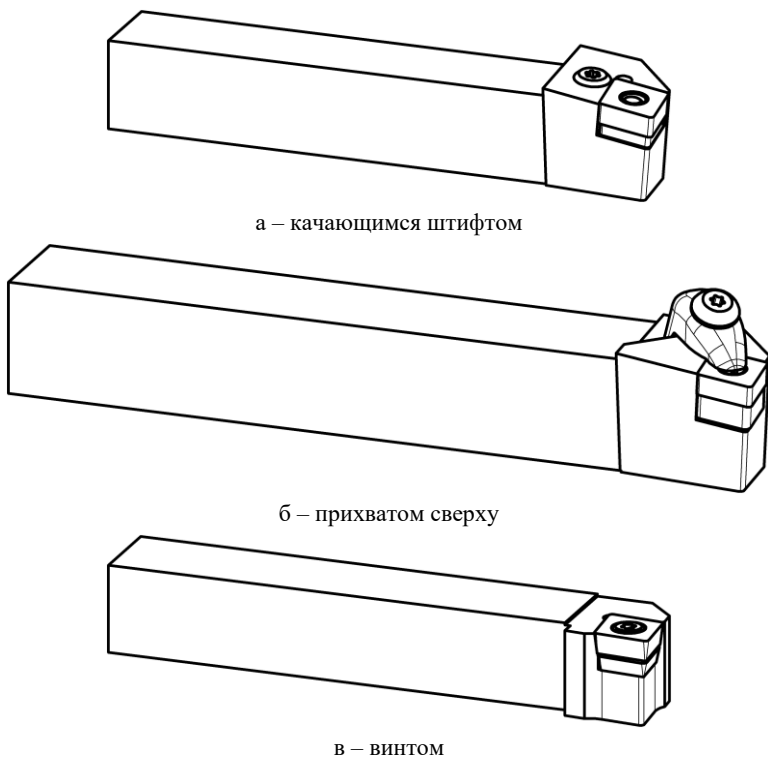


Рис. 3.6. Примеры державок с различным креплением пластины формы С

Расточные державки обозначают схожим образом, но размер хвостовика приводят в начале обозначения. Применение державок с прямоугольным хвостовиком при растачивании невозможно; должны применяться цилиндрические хвостовики. При обработке используются хвостовики разного диаметра. Рекомендуется выбирать наибольший возможный диаметр для обеспечения наибольшей жёсткости. Также в обозначении указывается материал хвостовика и наличие подвода смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) через тело державки.

Например, в обозначении державки A25T SVQBL16 (рисунок 3.7): А – стальная державка с подводом СОЖ; 25 – диаметр хво-

стовика; Т – длина державки 300 мм; S – крепление пластины винтом; V – форма пластины; Q – главный угол 107,5°; В – задний угол пластины 5°; L – левый резец; 16 – размер устанавливаемой режущей пластины.

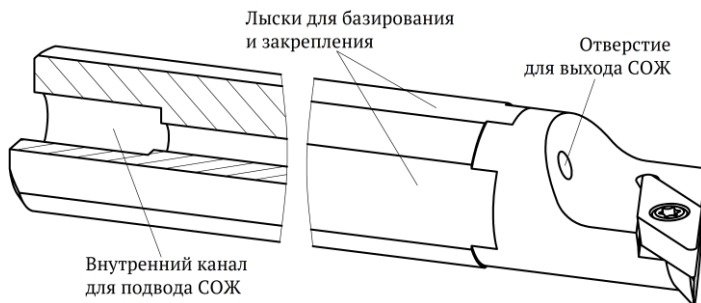


Рис. 3.7. Пример расточной державки с пластиной формы V

Для построения траекторий движения режущего инструмента в САПР ТП и получения УП необходимо указать форму и размер пластины, радиус при вершине, главный угол резца.

### 3.1.4 Пластины, державки для прорезных и отрезных резцов

Прорезные резцы применяют для обработки канавок на цилиндрических и торцевых поверхностях при точении. Отрезные резцы используют для отделения обработанной заготовки от основной части заготовки при изготовлении нескольких деталей из прутка. Отрезной переход при работе с прутками малого диаметра может быть выполнен и прорезным резцом. Системы классификации пластин и державок разрабатываются непосредственно производителями инструмента; единая система отсутствует.

Формы пластин показаны на рисунке 3.8, а. Пластины могут изготавливать с одной или двумя вершинами. Пластины с одной вершиной чаще применяют для отрезных резцов, а с двумя – для прорезных. Пластины могут быть трапецевидной формы с шириной  $B$  и радиусом двух вершин  $r$  или с режущей кромкой в виде неполной окружности радиусом  $R$ . На рисунке 3.8, б представлены возможные направления подачи при работе прорезным резцом. Первоначально прорезные резцы работали с поперечной подачей при обработке канавки на цилиндрической части заготовки, формируя при этом канавку шириной, равной ширине пластины. При необходимости получить более широкую канавку необходимо было выполнить несколько проходов резцов в поперечном направлении. Современные резцы, обладая большей жёсткостью, позволяют вести обработку также и в продольном направлении, формируя широкую канавку или проводя профильную обработку. Некоторые производители изготавливают пластины в форме пятиконечной звезды с пятью режущими кромками.

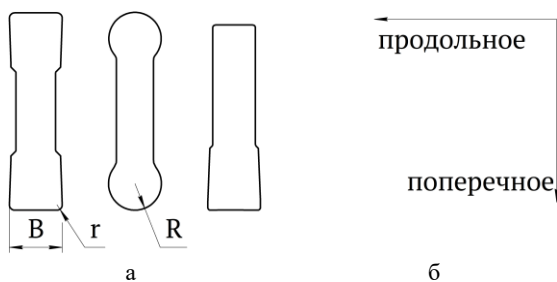
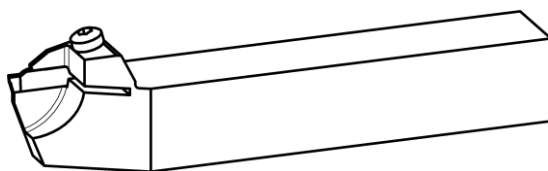
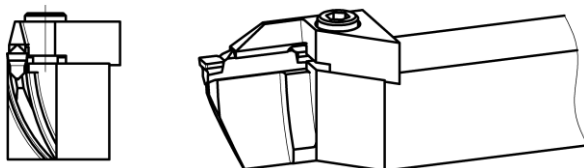


Рис. 3.8. Формы прорезных и отрезных пластин:  
а – формы пластин; б – направления подачи

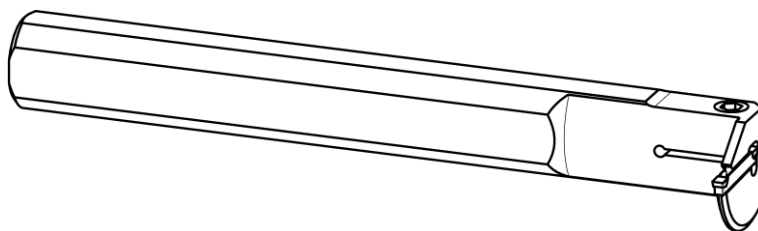
Примеры левых прорезных и отрезных резцов приведены на рисунке 3.9. Прорезные резцы также называют канавочными. Закрепление пластины происходит за счёт прижимной части, усилие на которой создаётся винтом.



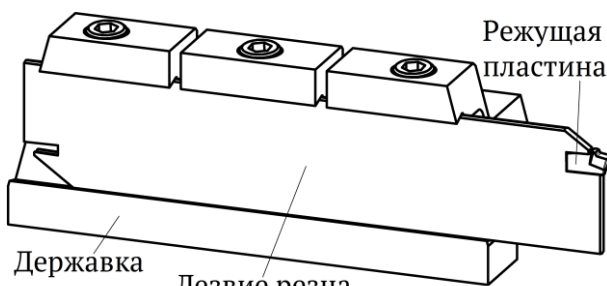
а – прорезной с усиленной частью под пластиной



б – прорезной для торцевых канавок



в – прорезной для внутренних канавок



г – отрезной

Рис. 3.9. Примеры прорезных и отрезных левых резцов

Лезвие отрезного резца (рисунок 3.9, г) с установленной режущей пластиной закрепляется тремя упругими сегментами державки, прижимаемыми винтами. При этом вылет лезвия из державки регулируется. Режущая пластина крепится за счёт упругих



сил при её установке между частями лезвия. На лезвии делают два места под установку пластины.

### 3.1.5 Резьбовые резцы

Резьбовые резцы работают по методу копирования, т. е. форма режущей части копируется на обработанную поверхность. Резьбовые

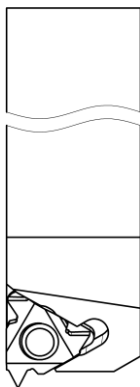


Рис. 3.10. Вид сверху на резьбовой резец

резцы (рисунок 3.10) часто выполняют с треугольной пластиной с профильной режущей кромкой, которой можно обрабатывать резьбы одного шага, но разного диаметра. Встречаются также пластины с двумя или пятью режущими кромками. Опорная пластина резца на рисунке 3.10 обеспечивает установку режущей пластины под углом  $1,5^\circ$  в направлении подачи. При определённом соотношении диаметра и шага резьбы может потребоваться замена опорной пластины, чтобы установить режущую под другим углом.

Представленный левый резец при нарезании правой резьбы при вращении шпинделя станка и заготовки против часовой стрелки должен двигаться от шпинделя вправо. При движении к шпинделю будет нарезаться левая резьба. Для нарезания правой резьбы правым резцом его необходимо перевернуть и поднять на высоту державки, тогда можно будет двигаться к шпинделю станка.

### 3.1.6 Резцы для обработки отверстий малого диаметра

Для обработки отверстий малого диаметра применяют резцы со сменной пластиной при её осевом креплении винтом (рисунок 3.11) [8]. Ключевыми параметрами резца являются наимень-

ший возможный диаметр обработки  $D_{наим}$  и наибольшая глубина обработки. Наименьший возможный диаметр обработки – это диаметр предварительно обработанного отверстия, при котором можно вести обработку данным резцом. Производят резцы с  $D_{наим}$  от 7 до 18 мм. Например, если выбран резец с  $D_{наим}$ , равным 8 мм, то можно вести обработку при отверстии, диаметр которого равен 8, 9, 10 и т. д., однако при повышении диаметра отверстия желательно выбрать резец с большим значением  $D_{наим}$ . Наибольшая глубина обработки может быть от 12 до 85 мм, где большие глубины соответствует большим значениям  $D_{наим}$ .

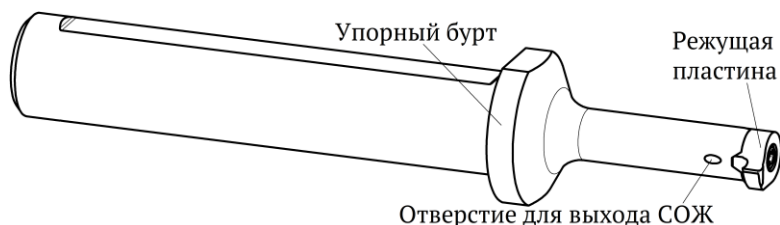


Рис. 3.11. Резец сборный для отверстий малого диаметра

### 3.2 Цельные резцы

Цельные резцы применяются для обработки отверстий малого диаметра. Ими ведётся растачивание, прорезка канавок, нарезание резьбы, профильная обработка, точение в обратном направлении (от шпинделя). Величина  $D_{наим}$  находится в пределах от 0,2 до 10 мм, а наибольшая глубина обработки – от 2 до 50 мм. Пример цельного резца (общий вид и вид сверху при растачивании на станке с расположением суппорта станка за осью вращения шпинделя) представлен на рисунке 3.12.

Для установки цельного резца в резцедержатель для расточных резцов необходима специальная переходная втулка.

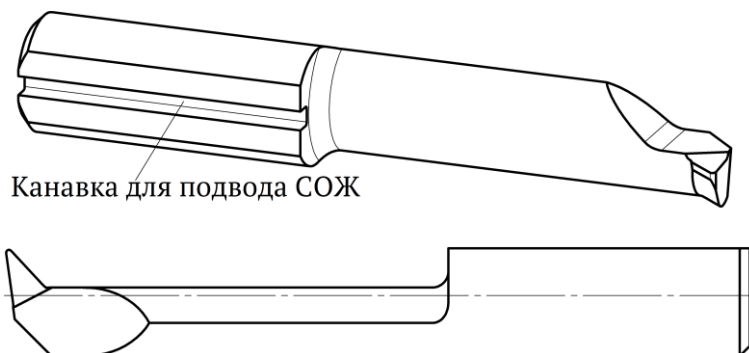


Рис. 3.12. Цельный резец для профильной обработки

Стоимость цельного резца обычно ниже стоимости державки и сменной пластины при сопоставимых размерах. Однако при серийной обработке следует ожидать, что себестоимость обработки цельными резцами будет выше в сравнении с резцами, оснащёнными сменной пластиной. Это связано с более низкой стоимостью пластины, чем цельного резца. При этом державка для пластин должна служить достаточно долго, а её стоимость равномерно распределится между всеми пластинами, использованными за период службы державки.

## 4 ФРЕЗЫ

Фрезерный инструмент относится к многолезвийному, т. е. имеющему несколько режущих частей. Фрезы бывают торцовыми, концевыми, дисковыми, угловыми, фасонными.

Как и резцы фрезы могут быть сборными и цельными. Сборные фрезы с несколькими СМП, как правило, применяются при черновой обработке. Это связано с относительно большим разбросом радиуса и длины фрезы, измеренных для разных зубьев. Сборными фрезами с одной пластиной, со сменной режущей головкой и цельными ведут чистовую обработку. У цельных фрез радиус и длина для разных зубьев выполнены с более высокой точностью.

Встречаются также и составные фрезы, когда на твёрдосплавный хвостовик припаивается режущая часть из сверхтвёрдого инструментального материала.

Международный стандарт для классификации фрез разработан не был. Каждый производитель имеет собственную систему обозначения сборных и цельных фрез.

Рассмотрим основные виды фрез подробнее.

### 4.1 Виды сборных фрез

#### 4.1.1 Сборные фрезы с СМП

Для сборных фрез применяют СМП, обозначение которых схоже с обозначением токарных пластин. Широкое распространение имеют круглые пластины, а также пластины А в форме параллелограмма и треугольные для работы с высокими подачами.

Насадные торцовые фрезы применяют для обработки протяжённых открытых плоскостей. Предпочтительно использовать фрезу с диаметром больше ширины плоскости для обработки за

один проход. Такие фрезы оснащают круглыми, квадратными, шести- и восьмиугольными, треугольными, а также другими формами пластин. Насадная фреза, изображённая на рисунке 4.1, имеет пластины в форме параллелограмма. Пластины крепятся на корпусе с помощью винтов. Этой фрезой можно обработать уступ, т. е. плоскость, сопряжённую с вертикальной стенкой. Фреза насаживается посадочным отверстием на оправку с зазором с упором контактного торца в торец оправки. При этом в пазы корпуса фрезы входят шпонки оправки для передачи крутейшего момента. Данная фреза закрепляется на оправке четырьмя винтами. Фрезы меньшего диаметра крепятся одним винтом, соосным с осью оправки.

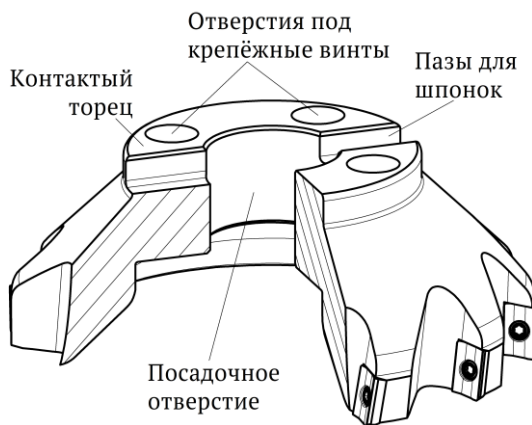


Рис. 4.1. Торцовая фреза с пластинами в форме параллелограмма

Торцовые фрезы выпускают с диаметрами от 32 до 300 мм. У фрезы может быть от 3 до 36 зубьев (режущих пластин). При этом для фрезы выбранного диаметра обычно доступно несколько вариантов с разным количеством зубьев. При большем количестве зубьев растёт производительность обработки и вместе с этим потребляемая мощность (нагрузка на шпиндель станка). Обычно ко-

личество зубьев выбирают так, чтобы одновременно в процессе резания участвовало несколько зубьев (при черновой обработке – меньшее количество, а при чистовой – большее). Посадочные диаметры торцовых фрез имеют значения от 16 до 60 мм.

На торцовую фрезу можно установить одну зачистную пластину при остальных обычных. Это позволит понизить шероховатость и при определённых условиях получить «зеркальную» поверхность обработанной плоскости.

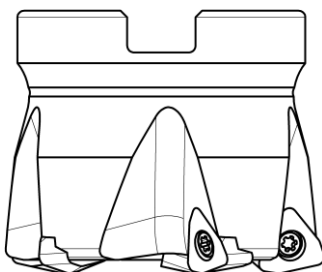


Рис. 4.2. Фреза с треугольными пластинами для высоких подач

Фреза с малым углом в плане (углом между скоростью подачи и режущей кромкой), показанная на рисунке 4.2, оснащена треугольными пластинами, напоминающими форму W токарных пластин. Она может быть применена и для обработки плоскостей, и для обработки уступов. Но, во-первых, обработку можно вести только проходами с малой глубиной съёма за проход, а во-вторых, при обработке уступа будет формироваться сложный переход между горизонтальной и вертикальной плоскостями, обусловленный формой и расположением пластин на фрезе. Преимуществом таких фрез является малая средняя толщина стружки, что позволяет работать с более высокой радиальной подачей.

Концевые фрезы с СМП применяют для обработки уступов, пазов, углублений (карманов), плоскостей и профильной обработки. По сравнению с торцовыми они имеют меньшие диаметры, но большие длины режущей части.

На рисунке 4.3 показана фреза, цилиндрический хвостовик которой устанавливается в патрон. Для закрепления и передачи крутящего момента на хвостовике выполнены лыски. Концевые фрезы также могут быть насадными или иметь резьбовой хвостовик с центрирующим пояском.

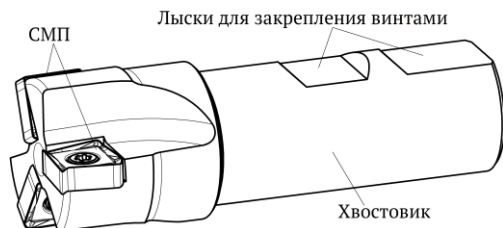


Рис. 4.3. Концевая фреза с СМП

Концевые фрезы выпускают в диапазоне диаметров 12...50 мм, с количеством зубьев от 2 до 6 при длине режущей части до 18 мм. Встречают фрезы небольшого диаметра (10; 12 мм) с одной боковой пластиной, которые имеют длину режущей части 10 мм. Однако при таких значениях диаметра обычно применяют цельные концевые фрезы.

Концевые фрезы могут иметь один уровень или несколько уровней пластин на разных высотах. На рисунке 4.4 показана насадная фреза с несколькими уровнями пластин. Такие фрезы

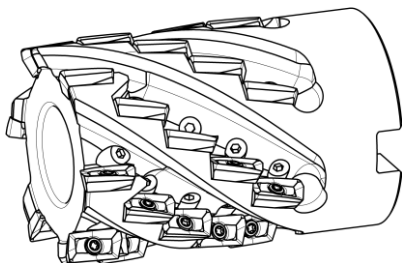


Рис. 4.4. Концевая фреза с несколькими уровнями СМП

называют «кукурузами». Они могут снимать больше материала с заготовки в единицу времени при условии работы на станке с мощным приводом главного движения. Диаметры таких фрез от 40 до 100 мм, длина режущей части – 48...130 мм, число

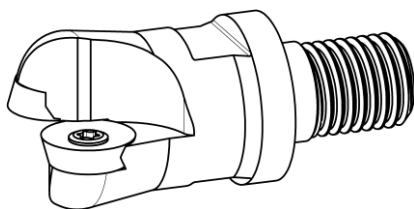


Рис. 4.5. Концевая фреза с резьбовым хвостовиком

спиральных канавок – 3...6, что приводит к необходимости устанавливать до 72 режущих пластин.

На рисунке 4.5 приведена концевая фреза с круглыми пластинами и резьбовым хвостовиком.

Дисковые фрезы применяют для обработки пазов, углублений прямоугольного сечения, отрезки. Дисковая фреза (рисунок 4.6) насаживается на оправку со шпонками для передачи крутящего момента. Имеется два уровня режущих пластин: верхний и нижний. Верхние пластины обрабатывают дно и одну стенку паза, а нижние – дно и противоположную стенку. Для повышения точности обрабатываемой стенки пластины установлены на регулируемых опорах, которые позволяют изменить положение пластины в осевом направлении за счёт вращения винтов регулировки. После выставления требуемого положения пластины на приборе настройки инструмента вне станка опора закрепляется затягиванием винта сухаря.

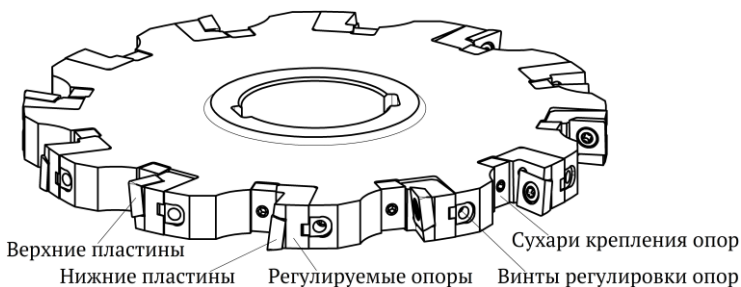


Рис. 4.6. Дисковая фреза с регулировкой пластин

Можно подобрать насадную фрезу с диаметром в диапазоне 50...425 мм, которая обеспечит ширину паза 1,2...20 мм и глубину паза 5...140 мм. Количество зубьев у таких фрез от 5 до 38. Вы-



пускают так называемые «грибковые» фрезы – дисковые фрезы с цилиндрическим хвостовиком: диапазон диаметров 20...63 мм, ширина паза 1,2...22 мм, глубина паза 5...21 мм, количество зубьев 2...10 мм. Такие фрезы можно применить для обработки Т-образных пазов, канавок на цилиндрических бобышках и в отверстиях.

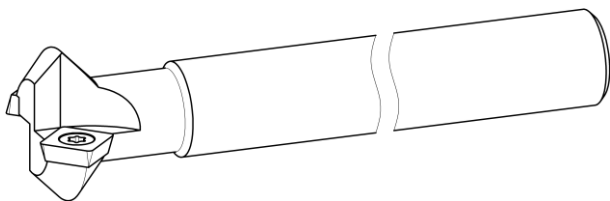


Рис. 4.7. Двуугловая фреза для снятия фасок

На рисунке 4.7 представлена двуугловая фреза. Основное её назначение – снятие фасок. Возможно снятие фасок с двух сторон отверстия, если диаметр отверстия превышает диаметр фрезы. Если пластины повернуть на  $45^\circ$  (тогда для установки потребуется другой корпус фрезы), получится «грибковая» фреза.

Фасонные фрезы применяют для профильной обработки. Они имеют сложный профиль вращения и чаще работают по методу копирования, когда профиль вращения копируется на обработанную поверхность. Развитие программного обеспечения для разработки траекторий движения фрезы при обработке сложных криволинейных поверхностей позволяет использовать для строч-

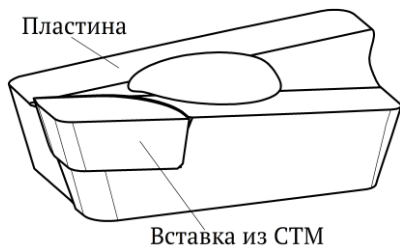


Рис. 4.8. Пластина со вставкой из СТВ

ного фрезерования фасонные фрезы, например, конические или с бочкообразным профилем боковой поверхности.

На сборных фрезах могут применяться пластины со вставками из сверхтвёр-

дых материалов (рисунок 4.8). Наибольшее распространение получили алмазные вставки, которые применяются для фрезерования алюминиевых сплавов с высокими скоростями резания. При этом также снижается шероховатость обработанной поверхности.

Для фрезерования сложных поверхностей широко применяются фрезы с круглыми пластинами. Когда в корпусе размещается только одна пластина (рисунок 4.9), удаётся повысить точность обработки, т. е. такую фрезу можно применять для полустовой и чистовой обработки. Для повышения виброустойчивости основная часть корпуса выполнена из твёрдого сплава. К этой части припаивается стальная часть, которая должна обладать некоторой упругостью для охвата пластины при закреплении винтом.

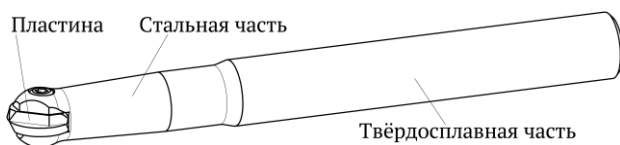


Рис. 4.9. Фреза для профильной обработки

Для расширения возможностей корпуса фрезы, представленного на рисунке 4.9, в него можно устанавливать не только круглые пластины (рисунок 4.10, а), но и пластины других форм.

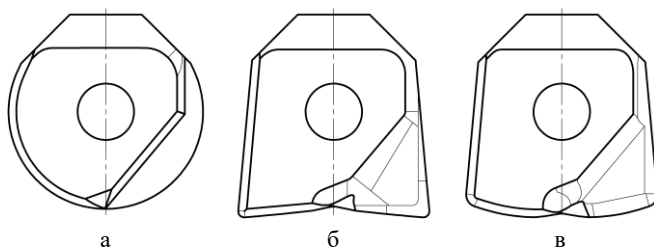


Рис. 4.10. Сменные пластины для профильной фрезы

Пластина с рисунка 4.10, б предназначена для строчной обработки стенок и примыкающих к ним плоскостей. Обработка стен-

ки за один проход невозможна, т. к. боковая часть режущих зубьев не вертикальна, но при этом радиус между стенкой и плоскостью получится меньше, чем радиус после обработки с круглой пластиной. С другой стороны, для обработки стенки круглой пластиной потребуется меньшее количество проходов из-за большего радиуса самой пластины.

Торцевой зуб пластины на рисунке 4.10, в выполнен не с поднутрением, а в виде дуги большого радиуса. Пластина называется тороидальной. Такой профиль применяют для работы с большими значениями радиальной подачи. Это возможно благодаря тому, что при одинаковом значении радиальной подачи пластин с рисунков 4.10, б и 4.10, в толщина стружки будет меньше у тороидальной пластины, а значит можно ещё увеличить значение подачи. Тип фрез, показанный на рисунке 4.9, встречается с режущими диаметрами от 10 до 32 мм.

### 4.1.2 Сборные фрезы со сменной головкой

Большое распространение получили сборные фрезы, у которых режущая часть – сменная головка имеет резьбовой хвостовик, ввинчивающийся в корпус фрезы (рисунок 4.11). Для это на сменной головке шлифуются лыски для гаечного ключа. Точное базирование в корпусе обеспечивается за счёт конического центрирующего пояса с завинчиванием до упора в торец. В данной конструкции имеется дополнительный центрирующий пояс.

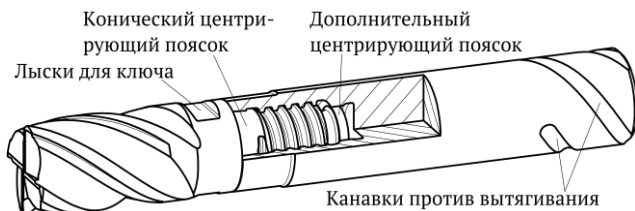


Рис. 4.11. Фреза со сменной головкой

Режущий диаметр фрез со сменной головкой может быть от 8 до 32 мм, количество зубьев 2...10. Длина режущей части не превышает  $1,5D$ . Головки также бывают радиусными и тороидальными (наподобие фрез с малым углом в плане).

Режущая часть имеет винтовую канавку с углом спирали  $30^\circ$ ,  $38^\circ$  или  $45^\circ$ , а значит при повышенных нагрузках возможно вытягивание фрезы из патрона, что приводит к изменению размеров или даже к поломке фрезы. Для предотвращения вытягивания на хвостовике патрона шлифуются специальные канавки. В патроне для такой фрезы должны быть ответные выступы. При всей надёжности это значительно увеличивает затраты на фрезы и патроны для их закрепления.

## 4.2 Цельные фрезы

Цельные фрезы обеспечивают наилучшее качество при фрезеровании. Общий вид цельной концевой фрезы показан на рисунке 4.12. Фреза имеет зубья на цилиндрической части, расположенные по винтовой линии, и торцевые зубья. Между винтовым и торцевым зубьями может отсутствовать какой-либо переход, т. е. будет острый угол, что приведёт к снижению прочности зуба в месте стыка, но позволит обработать стенку и примыкающую плоскость без переходного радиуса. Однако чаще между цилиндрической и торцевой кромкой выполняют переходную фаску или переходный радиус, как на рисунке 4.12.

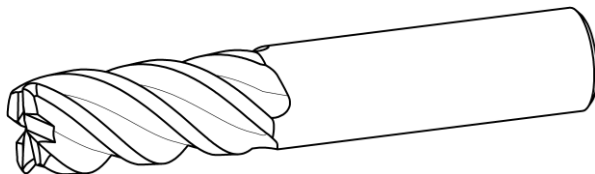


Рис. 4.12. Цельная концевая фреза с переходным радиусом

Когда величина переходного радиуса становится равной радиусу фрезы, фреза называется радиусной («сферической»).

Цельные концевые фрезы выпускаются в диапазоне диаметров от 3 до 25 мм. Наиболее применимые диаметры хвостовиков: 6, 8, 10, 12, 16, 20 мм. Например, фреза с режущим диаметром 5 мм будет иметь хвостовик диаметром 6 мм. Длина режущей части фрез обычно составляет  $2D$ . Фрезы с длинами  $3D$ ,  $4D$  и даже  $6D$  выпускаются реже; они предназначены для чистовой обработки высоких стенок за один проход всей цилиндрической частью фрезы. Переходный радиус может быть в диапазоне 0,2...1 мм для любого диаметра фрезы, а для больших диаметров может достигать 4...5 мм.

Угол спирали обычно равен  $30^\circ$ ,  $38^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $60^\circ$ . Для снижения вибраций при обработке изготавливают фрезы с переменным углом спирали, например,  $35^\circ$  у торца плавно переходят в  $38^\circ$  в конце режущей кромки или  $45^\circ$  переходят в  $46^\circ$ . Эффективность этого решения проявляется только, если в резании участвует большая часть режущей длины фрезы. Также снижение вибраций достигается за счёт переменного окружного шага зубьев, например, для четырёхзубой фрезы применяют углы  $85^\circ$ ,  $95^\circ$ ,  $85^\circ$  и  $95^\circ$ .

Концевые фрезы имеют от двух до восьми зубьев, реже встречаются с большим количеством зубьев. При этом фрезы с нечётным количеством зубьев меньше подвержены вибрациям, хотя чаще изготавливают четырёх и шестизубые фрезы, а не пяти и семизубые. Для чистовой обработки могут выпускаться фрезы, имеющие до 20 зубьев. Двухзубые фрезы применяют в основном для обработки пазов шириной, равной диаметру фрезы.

По заявлениям некоторых производителей твёрдосплавные концевые фрезы со специальным покрытием могут обрабатывать стали, закалённые до 65 HRC. Однако стойкость в этом случае

оставляет желать лучшего. Выпускаются цельные керамические фрезы без покрытия, предназначенные для обработки жаропрочных сплавов на никелевой основе.

Задняя поверхность может быть затылованной (выполненной по архимедовой спирали) или иметь плоскостную заточку. Затылованные фрезы при перетачивании по передней поверхности сохраняют свой наружный профиль, что выгоднее для фасонных фрез, например, для обработки зубчатых венцов.

Концевые фрезы для мелкоразмерной обработки изготавливают в диапазоне диаметров 0,1...3 мм. Верхняя граница диапазона является условной. Диаметр хвостовика при это равен 6 мм.

Допуски на изготовление режущей части цельной концевой фрезы бывают: e8, e9, h8, h9. Хвостовик изготавливают с допуском по h6, что характерно для большего числа посадочных поверхностей режущего и вспомогательного инструмента. Хвостовик фрез для мелкоразмерной обработки обрабатывают по h5.

Концевые фрезы работают с радиальной подачей. При необходимости произвести врезание в глухой материал, желательно его осуществлять под небольшим углом, тогда фреза будет работать одновременно с радиальной и осевой подачей. Возможность и угол врезания указываются в справочных материалах производителя фрезы. Осевое врезание является крайне неблагоприятным, несмотря на рекламные материалы некоторых производителей.

При необходимости выполнить черновую обработку цельной фрезой можно применить фрезу со стружкоделительными канавками (рисунок 4.13). Такие канавки позволяют сократить нагрузку на фрезу, потребляемую мощность, однако ухудшается шероховатость поверхности после обработки. Впадины одного зуба соответствуют выступам следующего за ним зуба, поэтому вертикальная стенка после обработки получается без волнистого профиля.

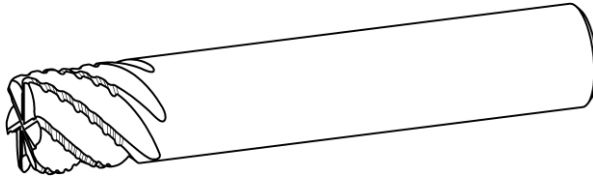


Рис. 4.13. Цельная фреза со стружкоделительными канавками

Для фрезерования резьб применяют резьбовые фрезы, изображённые на рисунке 4.14. Фрезой с заданным шагом можно обрабатывать резьбы разного диаметра, но того же шага. Одной фрезой можно обрабатывать как внутренние резьбы, так и наружные. Для метрической резьбы выпускают фрезы с режущим диаметром от 0,72 до 20 мм, позволяющим обрабатывать резьбы с крупным шагом от М1 до М24. Для резьб с большим диаметром изготавливаются фрезы с одной или несколькими СМП.

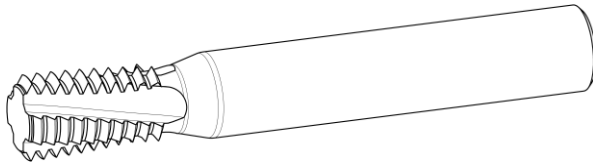


Рис. 4.14. Резьбовая фреза

Выступы на зубьях фрезы, формирующие впадины резьбы на заготовке, находятся на одном уровне. По этой причине фреза при обработке движется по окружности с подъёмом на величину шага резьбы за один обход окружности. Цикл резьбофрезерования начинается с захода фрезы в предварительно обработанное отверстие без резания, далее происходит врезание при обходе половины окружности с подъёмом на половину шага резьбы, после этого следует обработка всей резьбовой поверхности с подъёмом на шаг резьбы, цикл завершается выходом из контакта с заготовкой за половину окружности с подъёмом на половину шага резьбы. При работе фрезы снизу вверх обеспечивается попутное фрезерование.

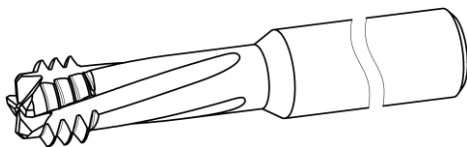


Рис. 4.15. Резьбовая фреза для обработки в глухом материале

На рисунке 4.15 представлена резьбовая фреза с торцевыми зубьями, позволяющая одновременно расфрезеровать отверстие в глухом материале и нарезать резьбу. Такую фрезу целесообразно применять для легкообрабатываемых материалов, например, алюминиевых сплавов. Фреза должна работать сверху вниз, поэтому для изготовления правой резьбы фрезу делают левой, т. е. вращение фрезы осуществляется против часовой стрелки (команда M4 при работе на станках с ЧПУ). В остальном цикл резьбофрезерования схож с циклом при работе фрезой, показанной на рисунке 4.14.

Резьбофрезу рекомендуют выбирать с диаметром не более  $2/3$  от диаметра резьбового отверстия.

Для обработки композиционных материалов с углеродными или стеклянными армирующими волокнами применяют специальные фрезы (рисунок 4.16). Фреза напоминает черновую фрезу с рисунка 4.13, однако стружкоделительные канавки выполнены не в плоскости вращения, а под углом, поэтому фреза работает в большей степени выступами на режущей кромке. При обработке она не режет, а скорее крошит композиционный материал.

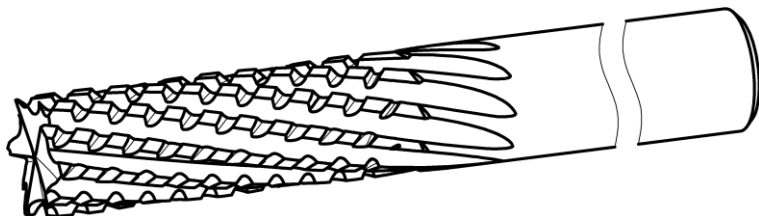


Рис. 4.16. Фреза для обработки композиционных материалов



## 5 ОСЕВОЙ ИНСТРУМЕНТ

Осевой инструмент – режущий инструмент, осуществляющий обработку при рабочей подаче вдоль его оси вращения на станках фрезерной, сверлильной групп. На токарных станках осуществляется обработка при условии совмещения оси вращения заготовки и оси симметрии инструмента. К осевому инструменту относятся свёрла, зенкеры, развёртки, центровочные свёрла, зенковки, цековки, метчики. Зенкеры применяются всё реже, т. к. точность обработки твёрдосплавным сверлом не уступает точности отверстия после зенкерования.

### 5.1 Свёрла

Свёрла бывают сборными (с СМП или со сменной головкой) и цельными. Сборное сверло оснащается одной, двумя или четырьмя пластинами. На рисунке 5.1 изображено сверло с двумя пластинами. Хвостовик имеет лыску для закрепления винтом и передачи крутящего момента. Сверло, как правило, устанавливается в оснастку до упора в бурт.



Рис. 5.1. Сборное сверло с СМП

Основные размеры свёрл с одной пластиной (для одностороннего сверления): диаметр сверления 8...32 мм, глубина сверления (1,5...2,25)D. Преимущество такого инструмента заключается в возможности производить растачивание отверстия этим же инструментом сразу после сверления.

Основные размеры свёрл с двумя пластинами: диаметр сверления 12...38 мм; глубина сверления (2...8)Д. Отклонение отверстия (-0,05...0,25) мм относительно номинального диаметра.

Дополнительная возможность сверла с двумя пластинами – получение отверстия диаметром больше номинального. Это реализуется смещением оси сверла относительно оси вращения заготовки на токарном станке. Такого же результата можно добиться, применив эксцентриковую втулку, при работе на сверлильном или фрезерном станке. Для свёрл диаметром 12...38 мм можно получить отверстия 12,4...42 мм. Однако на практике это возможность применяется редко, т. к. требуется станок с высокой жёсткостью.

Для отверстий диаметром более 38 мм существуют сборные свёрла с четырьмя пластинами, а также с периферийными пластинами и центральной сверлильной головкой.

Свёрла со сменной головкой выпускают с диаметром сверления от 4 до 32 мм. При этом в один корпус сверла можно установить головки с различными диаметрами в пределах одного миллиметра и с шагом 0,1 мм. Например, для корпуса с номинальным диаметром сверления 16 мм подойдут головки с диаметром 16,0...16,9 мм.

Сверло со сменной головкой показано на рисунке 5.2. Крепление головки происходит винтом или за счёт упругих сил при установке в корпус сверла.

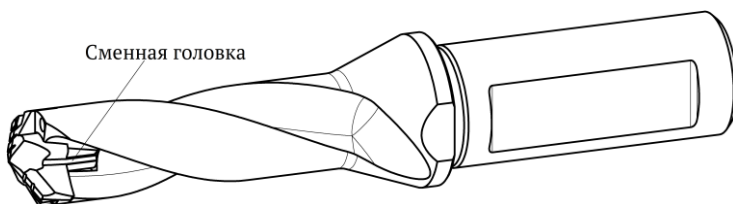


Рис. 5.2. Сборное сверло со сменной головкой

Глубину сверления для свёрл со сменной головкой выбирают из ряда (1,5; 3; 5; 8; 10; 12)Д. В отличие от свёрл со сменными пласти-

нами, головки могут перетачивать для восстановления режущих свойств. Однако число переточек невелико и составляет 3...5. Цельные свёрла могут перетачиваться гораздо большее количество раз, однако при этом будет постепенно уменьшаться глубина сверления.

Двухпёрое цельное сверло представлено на рисунке 5.3. Свёрла изготавливают из твёрдосплавных столбиков диаметром 6, 8, 10, 12 мм и т. д, поэтому хвостовик сверла будет иметь тот же диаметр. Режущая часть сверла может быть от 3 до 20 мм в диаметре. Режущую часть сверла выпускают с шагом 0,1 мм для меньших значений диаметров и 0,5 мм для больших. В основном на производстве встречаются сверла с шагом 1 мм, свёрла с промежуточными диаметрами применяют для сверления отверстий под нарезание резьбы, например, 6,8; 8,5; 10,2 мм для метрической резьбы с крупным шагом М8; М10; М12 соответственно.

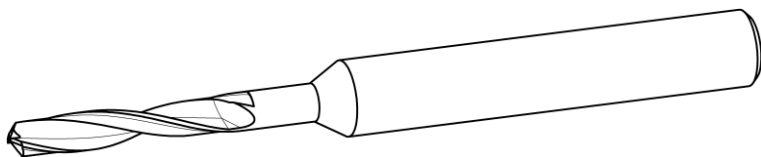


Рис. 5.3. Цельное сверло

Начинают выпускать трёхпёрые свёрла, которые должны обеспечивать более высокую производительность за счёт одновременного участия в обработке трёх режущих кромок.

Свёрла с диаметрами от 0,1 до 3 мм относят к мелкогабаритному инструменту. Они требуют применения более точной оснастки и высоких частот вращения при обработке.

Глубина сверления может быть (3; 5; 8; 16)Д. Угол при вершине сверла обычно составляет 140°. Твёрдосплавные свёрла в отличие от быстрорежущих являются более жёсткими, поэтому при глубине сверления 3Д, 5Д, а в некоторых случаях 8Д не требуют предварительной зацентровки отверстия.

Короткие свёрла (как показано на рисунке 5.3) имеют две ленточки, которые находятся в контакте с обработанной частью сверла и заневоливают его, препятствуя уводу. Более длинные свёрла выпускают с четырьмя ленточками для снижения увода сверла.

Выпускают свёрла для глубокого сверления с глубиной (20; 30; 40; 50) $D$ . Технология сверления при этом более сложная: сначала получают заходное отверстие на глубину  $1,5D$  жёстким сверлом, а потом вводят основное сверло и начинают обработку. Такие свёрла выпускают с диаметрами от 3 до 16 мм.

Сборные свёрла с такими отношениями длины к диаметру встречаются реже, часто их изготавливают по специальному заказу.

Точность отверстия после обработки цельным сверлом зависит от условий обработки: жёсткость системы, состояние станка, тип оснастки, материал. По заявлениям производителей свёрл точность отверстия достигает 9...10 квалитета, а в некоторых случаях 7...8 квалитета. Стабильно выполнять отверстия по 7...8 квалитету даже при условии жёстких свёрл достаточно сложно; необходимо тщательно следить за состоянием сверла и заменять его уже при небольшом износе, что приведёт к повышению себестоимости.

Выпускаются составные свёрла с режущей частью из алмаза для обработки композиционных материалов.

## 5.2 Развёртки

Развёртки применяют для получения точных (классных) отверстий по 6...7 квалитету после предварительного сверления. Развёртки с прямыми канавками применяют для глухих отверстий, а с винтовыми канавками – для сквозных.

Общий вид цельной развёртки показан на рисунке 5.4. Режущие кромки выполнены с левой спиралью, чтобы стружка не под-

нималась из отверстия, что сложнее при вертикальной оси отверстия, а опускалась вниз.

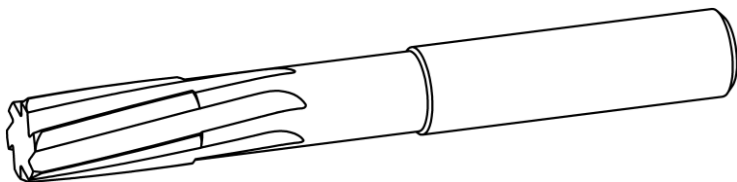


Рис. 5.4. Развёртка

Цельные развёртки выпускают с диаметром режущей части 1...16 мм. Они имеют от 6 до 8 зубьев. Длина режущей части не зависит от глубины отверстия. Сборные развёртки со сменной головкой выпускаются в диапазоне 12...32 мм. Для диаметров отверстий 25...70 мм можно встретить развёртки со стальными сменными головками, на которые припаяны твёрдосплавные режущие пластины.

### 5.3 Метчики

Машинные метчики применяют для нарезания резьб в жёстком или компенсационном патроне. Крутящий момент при нарезании передаётся через часть хвостовика с четырьмя лысками, поэтому для закрепления метчика применяют специальные цанги.

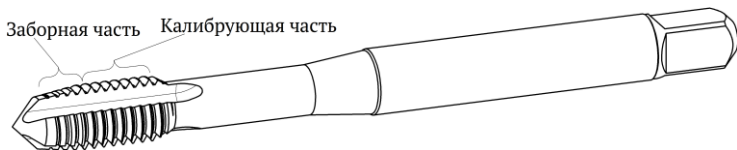


Рис. 5.5. Метчик

Наибольшая нагрузка на метчик действует при врезании и при достижении полной глубины резьбовой части отверстия. В этот мо-

мент метчик должен резко прекратить осевую подачу и вращение, что невозможно из-за инерции узлов станка. Для снижения отрицательного воздействия этого явления применяют компенсационный патрон, который имеет упругий элемент в осевом направлении, позволяющий устранить «рассогласование вращения и подачи».

## 5.4 Центровочные свёрла, зенковки, цековки

На рисунке 5.6 утолщённой линией показаны поверхности, которые формируются соответствующим осевым инструментом. Для получения центровых отверстий (рисунок 5.6, а) применяют комбинированные центровочные свёрла. Они могут применяться для зацентровки, т. е. сверления неглубокого отверстия для упрощения врезания сверла для глубокого сверления (от  $8D$ ). Однако в первую очередь необходимо применять свёрла именно для зацентровки, которые соответствуют спиральным свёрлам, имеют меньший или равный диаметр и глубину сверления ( $1,5 \dots 2$ ) $D$ .

Сформировать фаску у отверстия или углубление для крепления винтом с потайной головкой можно с помощью зенковки (рисунок 5.6, б). Также эту обработку можно выполнить с помощью фрезы для снятия фасок. Углубление для винта с цилиндрической головкой (рисунок 5.6, в) получают с помощью цековки. Этот геометрический элемент можно выполнить и расфрезеровыванием с помощью концевой фрезы.

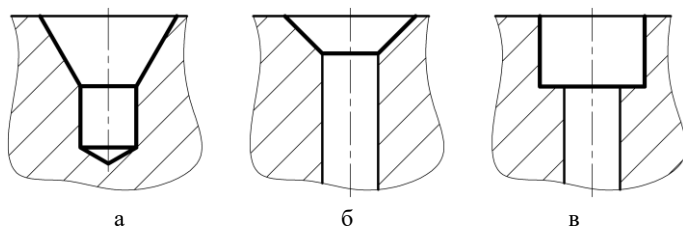


Рис. 5.6. Отверстия для обработки: а – центровочным сверлом; б – зенковкой; в – цековкой

## 6 РАСТОЧНЫЕ СИСТЕМЫ

На фрезерных и многоцелевых станках возможно применение расточных систем (расточных головок). Головки бывают черновыми и чистовыми. До обработки режущие части настраиваются на диаметральный размер обработанного отверстия. Черновые головки имеют два, три зуба, которые могут настраиваться на один размер и работать с более высокой подачей или настраиваться на разные размеры. Во втором случае каждая пластина будет удалять часть припуска на обработку, например, при двух пластинах каждая будет срезать по половине припуска; подача будет ниже, но можно удалять больший припуск. Чистовые расточные системы (рисунок 6.1) имеют только одну пластину для повышения точности обработанной поверхности. Настройка на размер осуществляется вне станка на приборе настройки инструмента. Винт микрометрической регулировки

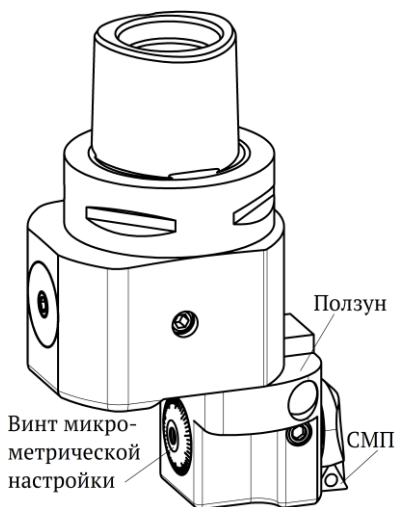


Рис. 6.1. Чистовая расточная головка

метрической регулировки позволяет настраивать размер с шагом в 2 мкм. При этом ползун может перемещаться в строго ограниченном диапазоне размеров. При необходимости обработать размер из другого диапазона выбирается другая расточная система или заменяется часть, на которую крепится пластина. Регулировать диаметральную настройку в процессе обработки воз-

можно только, если ползун имеет электропривод, получающий команды от системы ЧПУ станком.

## 7 ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ

На токарных станках с ЧПУ в качестве накопителей инструмента используют револьверные головки, которые имеют до 12...16 позиций для установки инструмента. Режущий инструмент устанавливается во вспомогательный инструмент, который крепится в револьвере по торцу или по периферии в зависимости от конструкции. В основном используют два типа крепления вспомогательного инструмента: хвостовик с рифлёной лыской (система VDI) и комбинации цилиндрического хвостовика и шпонка (система BMT). Также может применяться полигональный хвостовик (система Capto), который является наиболее дорогостоящим.

Хвостовик с рифлёной лыской центрируется в револьвере за счёт своей цилиндрической части и устанавливается до упора в торец револьвера, закрепление по рифлёной риске дополнительно обеспечивает угловое выравнивание инструмента в револьвере. Такой вспомогательный инструмент чаще крепится по торцу револьвера.

Система BMT имеет различные исполнения:

- центрирование по цилиндрическому хвостовику, упор в торец и угловое выравнивание по двум шпонкам;
- центрирование и выравнивание по четырём шпонкам в двух взаимно перпендикулярных направлениях и упор в торец.

Крепление вспомогательного инструмента системы BMT к револьверу осуществляется четырьмя винтами. Установка чаще происходит по периферии револьвера.

Вспомогательный инструмент системы BMT требует большего времени на установку на станке, чем инструмент системы VDI, также он является более дорогостоящим. С другой сторо-



ны, система ВМТ обеспечивает большую жёсткость при обработке.

Полигональный хвостовик подробнее рассмотрен в главе, посвященной фрезерному вспомогательному инструменту.

В зависимости от типа крепления режущего инструмента выделяют следующие виды вспомогательного инструмента:

- резцедержатели осевые, радиальные для наружных резцов;
- резцедержатели для расточных резцов;
- многопозиционные резцедержатели;
- цанговые держатели;
- приводные держатели;
- дополнительные устройства, например, для вытягивания прутка, измерительный контактный датчик.

## 7.1 Резцедержатели с хвостовиком с рифлёной лыской

Хвостовик резца, установленного в осевой резцедержатель, располагается вдоль оси вращения заготовки. Чаще применяются радиальные резцедержатели, где хвостовик расположен перпендикулярно оси вращения заготовки (рисунок 7.1) [9] при условии крепления резцедержателя по торцу револьвера станка.

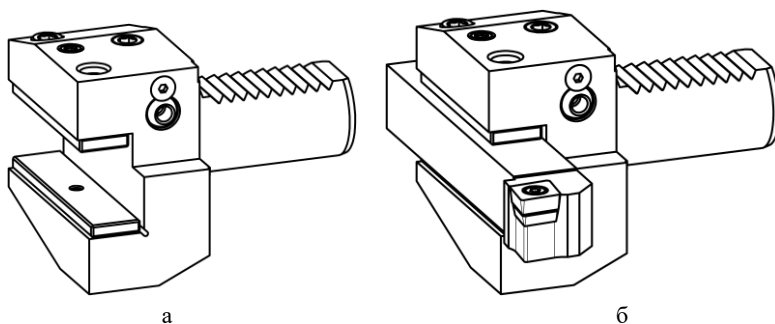


Рис. 7.1. Резцедержатель для наружной обработки: а – без резца; б – с резцом

Показанный резцедержатель применяется в револьвере, расположенном за осью вращения шпинделя, для обработки заготовки в главном шпинделе.

Резец устанавливается на нижнюю опорную поверхность и прижимается пластиной с помощью двух винтов. Резцедержатель позволяет установить резец с хвостовиком определённой высоты, что автоматически обеспечивает попадание режущей кромки в плоскость обработки  $ZX$ . Вылет резца в радиальном направлении можно регулировать.

Для верхнего и нижнего револьвера, выбираются разные резцедержатели, которые позволяют вести обработку без смены направления вращения шпинделя станка. Резцедержатели для обработки в главном шпинделе и противощпинделе различаются.

Резцедержатели для расточных резцов (рисунок 7.2) выбирают под диаметр хвостовика резца. Возможно применение переходных втулок для снижения номенклатуры применяемых резцедержателей. Крепление и угловое выравнивание резца выполняется одним-тремя винтами.

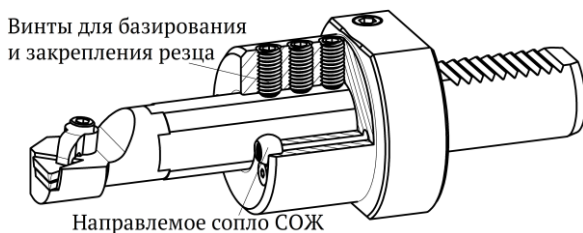


Рис. 7.2. Резцедержатель для расточного резца

На торце, смотрящем на режущую пластину резцедержатель (для наружных, для расточных резцов) имеет направляемое сопло подачи СОЖ. Сопло имеет резьбовое отверстие для установки трубки для более точного подвода СОЖ к режущей кромке. Наиболее точный подвод СОЖ в зону резания возможен при наличии каналов в теле резца (рисунок 3.7).

Следует отметить, что расточные резцы часто выпускаются с длинными хвостовиками, позволяющими обрабатывать глубокие отверстия. При этом вылет резца регулируется в небольшом диапазоне. Работа с большим вылетом резца при обработке неглубоких отверстий, когда можно работать с меньшим вылетом, ведёт к снижению производительности из-за вероятности появления неблагоприятной вибрации. По этой причине хвостовик расточного резца часто приходится укорачивать.

В резцедержатель для расточного резца также можно установить сборное или цельное сверло, имеющее лыску на хвостовике.

Многопозиционные резцедержатели позволяют установить несколько резцов в один держатель. За счёт этого сокращается время, требуемое для смены инструмента, и появляется возможность установить большее количество режущего инструмента при ограниченном количестве мест для резцедержателей в revolverе токарного станка.

Цанговые держатели применяют для установки свёрл. В отличие от расточных резцов сверла не требуется выравнивать относительно плоскости  $ZX$  станка, поэтому угловое положение сверла никак не регулируется. В цанговый держатель можно установить сверло с лыской или без.

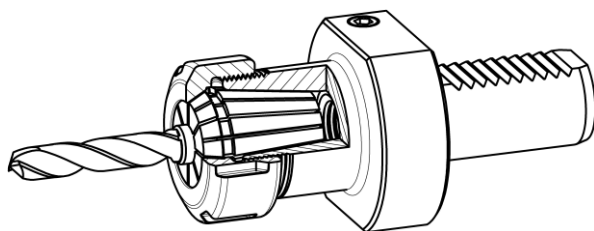


Рис. 7.3. Цанговый держатель

Для установки инструмента могут применяться цанги разных конструкций. Большое распространение получили цанги типа ER, для

которых разработаны типоразмеры 8, 11, 16, 20, 25, 32, 40, 50. Цанги из набора ER16 позволяют установить инструмент с диаметром хвостовика 3...10 мм, а ER40 – с диаметром хвостовика 6...26 мм.

Цанга имеет упругие лепестки или секторы, которые сжимаются за счёт действия сил от вспомогательного инструмента и благодаря этому зажимают режущий инструмент. На рисунке 7.4 показана цанга ER32 с возможностью закрепления хвостовика диаметром 11...12 мм. Цанга имеет две наружные конические поверхности. На одну из них действует гайка с ответным конусом. Гайка навинчивается на корпус вспомогательного инструмента, в котором выполнено коническое отверстие (см. рисунок 7.3). Получается, что цанга сдавливается по двум коническим поверхностям и диаметр внутренней цилиндрической поверхности уменьшается, позволяя зажать режущий инструмент.

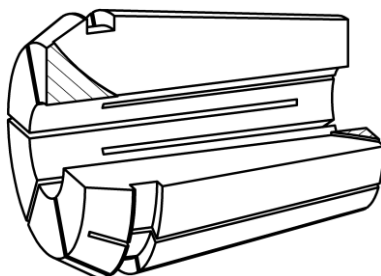


Рис. 7.4. Цанга типа ER

Для хвостовика диаметром 12 мм установка происходит по переходной посадке и требуется незначительное радиальное смещение секторов цанги. При установке хвостовика диаметром 11 мм все лепестки сместятся примерно на 0,5 мм в радиальном направлении.

Обычные цанги, зажимающие хвостовики с диапазоном диаметров в 1 мм, например, от 5 до 6 или от 19 до 20 мм, имеют допуск на радиальное биение 0,010...0,015 мм. Цанги повышенной

точности для установки строго определённого диаметра имеют допуск на радиальное биение  $0,003 \dots 0,005$  мм.

## 7.2 Резцедержатели с установкой по шпонкам

На рисунке 7.5 приведён резцедержатель для расточного резца, устанавливаемый по четырём шпонкам. Установка резцедержателя происходит по периферии револьвера. Посадочное отверстие для резца более протяжённое по сравнению с показанным на рисунке 7.2. Это позволяет работать с более длинными державками резцов, регулируя их вылет в большем диапазоне.

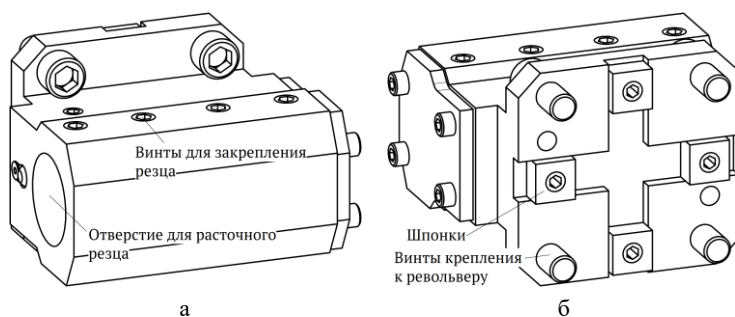


Рис. 7.5. Резцедержатель для расточного резца:

а – вид на крепление инструмента; б – вид на присоединительные поверхности

Установка по периферии револьвера позволяет использовать один и тот же резцедержатель для работы в верхнем и нижнем револьвере, при обработке в главном и противощпинделе.

## 7.3 Приводные держатели режущего инструмента

Приводные держатели инструмента применяются на токарных станках с фрезерной функцией, когда в револьвер встроен дополнительный электродвигатель, позволяющий приводить во вращение

режущий инструмент. При этом заготовка, установленная, например, в патроне останавливается или вращается со движением подачи, и главное движение (вращение) осуществляется фрезой или сверлом. Наличие такой функции существенно расширяет возможности станка, позволяя выполнять фрезерные и сверлильные переходы.

На рисунке 7.6 изображён приводной осевой держатель инструмента (при условии установки по периферии револьвера). Ось вращения фрезы в нём будет параллельна оси вращения заготовки. Внутри корпуса приводного держателя имеется коническая передача, передающая вращение со входного вала на выходной вал. Входной вал соединяется с валом электродвигателя в револьвере посредством шлица. Выходной вал имеет на конце отверстие для цанги типа ER или пояска для установки насадной фрезы.

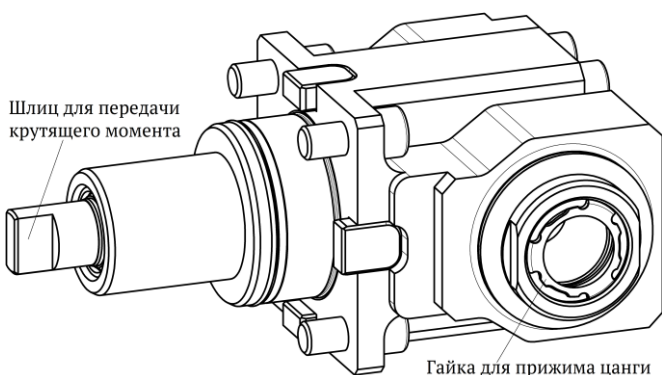


Рис. 7.6. Приводной осевой держатель инструмента

Другие виды применяемых приводных держателей включают радиальные (ось вращения фрезы перпендикулярна оси заготовки) и угловые (с регулируемым наклоном оси фрезы относительно оси заготовки). Встречаются также приводные держатели, преобразующие вращение в поступательное перемещение, для выполнения переходов долбления, например, пазов для установки шпонки в отверстиях.

## 8 ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

### 8.1 Присоединительные поверхности

Присоединительные поверхности вспомогательного инструмента для фрезерных станков позволяют установить инструмент в шпиндель станка. Они должны обеспечивать установку с высокой точностью, повторяемостью и жёсткостью. Высокую точность центрирования обеспечивает установка по конической поверхности. Большая жёсткость достигается при дополнительном контакте по торцу.

Рассмотрим три типа хвостовиков вспомогательного инструмента и их присоединительные поверхности:

- хвостовики типа SK (с конусностью 7:24);
- хвостовики типа HSK;
- хвостовики полигонального типа PSK (Capto).

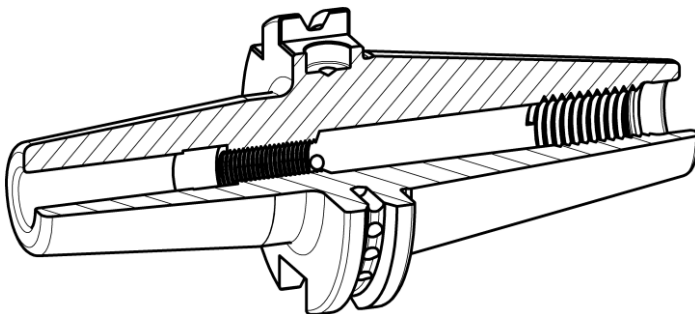


Рис. 8.1. Патрон с хвостовиком типа SK

Три типа хвостовиков будут рассмотрены на примере термусадочных патронов. Хвостовики SK (ГОСТ 25827-2014) при установке в шпиндель центрируются по конической поверхности с конусностью 7:24 (правая часть патрона на рисунке 8.1). Установка по

конусу также обеспечивает точное положение инструмента в осевом направлении. Средняя часть патрона необходима для его захвата при автоматической смене инструмента с помощью манипулятора. В средней части сверлятся отверстия для балансировки патрона, а также отверстие с плоским дном для размещения метки, содержащей информацию о настроечных данных инструментальной сборки.

Патроны и оправки выпускают с хвостовиками размеров SK30, SK40, SK50. Существуют другие типы и размеры хвостовика с конусностью 7:24, изготавливаемые по зарубежным стандартам.

Для удержания патрона в шпинделе в хвостовик по резьбе устанавливается захватная головка. В шпинделе головка удерживается цангой. На рисунке 8.2 представлена захватная головка типа В по ГОСТ 27788-88.

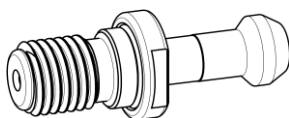


Рис. 8.2. Захватная головка

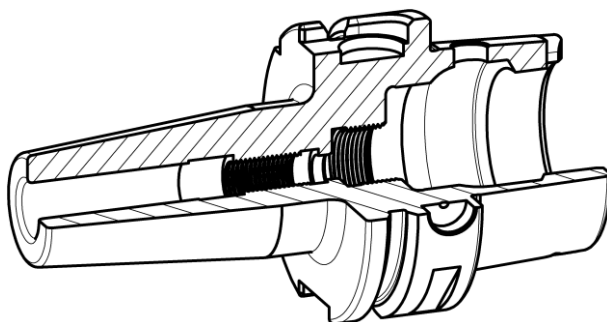


Рис. 8.3. Патрон с хвостовиком типа HSK

Хвостовики по ГОСТ Р ИСО 12164-1-2013 типа HSK (рисунок 8.3) при установке в отверстие шпинделя центрируются по конической поверхности, а в осевом направлении при закреплении



происходит контакт с торцом шпинделя. Такая установка подразумевает одновременный контакт по конической поверхности и торцу, что с учётом допусков на изготовление должно привести к неоднозначному контакту, т. е. только по конусу или только по торцу. Одновременный контакт возможен, благодаря высокой точности изготовления конической поверхности, прилегающего торца и их взаимного расположения и небольшим упругим деформациям контактных поверхностей.

Средняя часть патрона необходима для его захвата при автоматической смене инструмента, балансировки, размещения радиочастотной метки.

Патроны и оправки выпускают с хвостовиками типов А, В, Е, F для автоматической смены инструмента и размеров HSK32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160.

Для удержания патрона в шпинделе в полый хвостовик HSK при установке заходит цанга, работающая на разжим. Преимуществом крепления на разжим является увеличение силы, удерживающей патрон, при увеличении частоты вращения шпинделя.

Хвостовики полигонального типа (Capto) вместо конической поверхности имеют сложную посадочную поверхность, которая обеспечивает центрирование (рисунок 8.4). При закреплении происходит дополнительный контакт по торцу. Патроны и оправки выпускают с хвостовиками размеров C3, C4, C5, C6, C8.

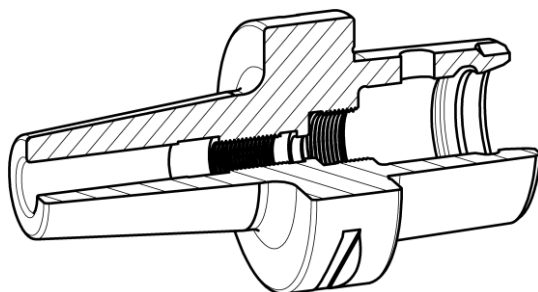


Рис. 8.4. Патрон с хвостовиком типа Capto

Уровень, на котором находится торец шпинделя после установки патрона, определяет наличие или отсутствие зазора. Для хвостовика SK характерен конструктивный зазор (рисунок 8.5, а). Изгибная жёсткость инструмента обеспечивается за счёт большего объёма материала и более протяжённой конической поверхности. Хвостовик HSK (рисунок 8.5, б) и полигональный хвостовик (рисунок 8.5, в) имеют контакт по торцу, что повышает точность установки и позволяет сократить массу хвостовика при сохранении жёсткости на высоком уровне. Меньшая масса облегчает процесс балансировки и позволяет работать при более высокой частоте вращения шпинделя. Например, патрон с хвостовиком SK40 балансируют для работы при наибольшей частоте 18 000 об/мин, а схожий патрон, но с хвостовиком HSK63 – 25 000 об/мин.

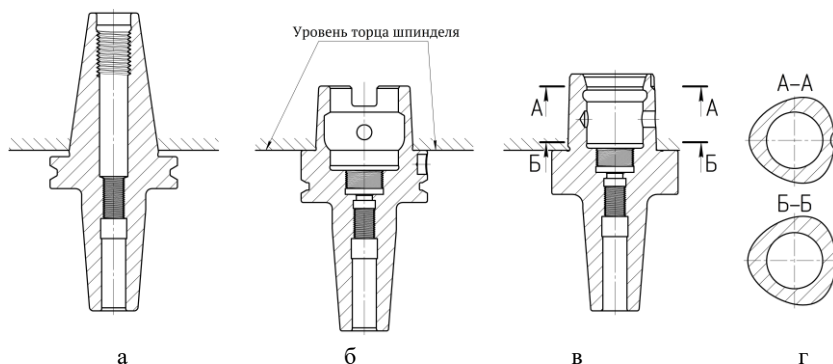


Рис. 8.5. Положение хвостовиков относительно торца шпинделя:  
а – хвостовик SK; б – хвостовик HSK; в – полигональный хвостовик;  
г – поперечные сечения полигонального хвостовика

На рисунке 8.5, г показаны поперечные сечения полигонального хвостовика. Такая форма поперечного сечения обеспечивает большую крутильную жёсткость. Однако наибольшим недостатком хвостовика Carpo является его дороговизна, связанная со сложностью изготовления как самого хвостовика, так и посадочных поверхностей шпинделя станка.

## 8.2 Оправки для насадных фрез

В этом и последующих разделах примеры оправок и патронов приведены с хвостовиком HSK, но такой же вспомогательный инструмент выпускается и с другими типами хвостовиков.

На рисунке 8.6 представлена оправка с установленной насадной торцевой фрезой. Фреза устанавливается на цилиндрический пояс оправки с зазором и упирается в бурт. Шпонки служат для передачи крутящего момента. Фреза закрепляется на оправке с помощью винта. Радиальное биение цилиндрического пояса относительно хвостовика не превышает 5 мкм. Биение зубьев фрезы будет больше за счёт погрешности при изготовлении СМП, посадочных мест для СМП и установки корпуса фрезы по посадке с зазором.

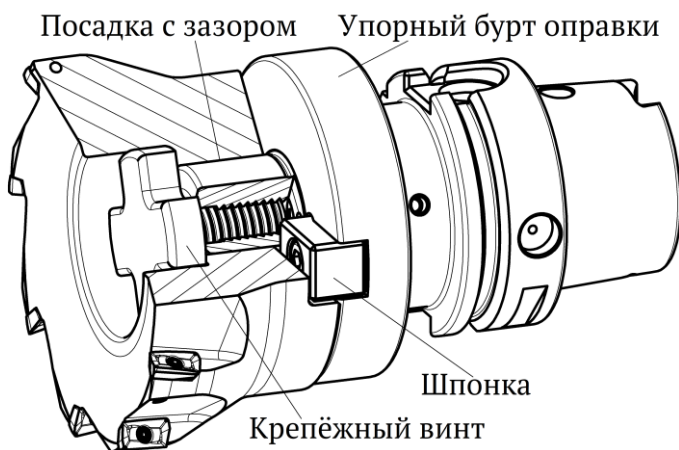


Рис. 8.6. Оправка с насадной фрезой

## 8.3 Сверлильный патрон

Сверлильные патроны (рисунок 8.7) применяют для установки свёрл. Вращением шестигранного ключа, устанавливаемого в ведущую шестерню, приводят во вращение ведомое колесо. Колесо

через резьбовое соединение перемещает в осевом направлении толкатель, который связан с кулачками и лишён возможности вращаться. При этом кулачки также смещаются в осевом направлении, а за счёт контакта с конической поверхностью происходит их радиальное перемещение. Если кулачки смещаются к оси патрона, происходит зажатие сверла.

Сверлильный патрон позволяет без применения переходной оснастки установить свёрла с разными диаметрами хвостовика в диапазоне 1...13 или 2,5...16 мм. Биение контрольной оправки на вылете 2,5Д у нового патрона составляет 40 мкм.

Основное преимущество патрона – быстрая смена сверла, которую можно выполнить, не снимая патрона со станка.

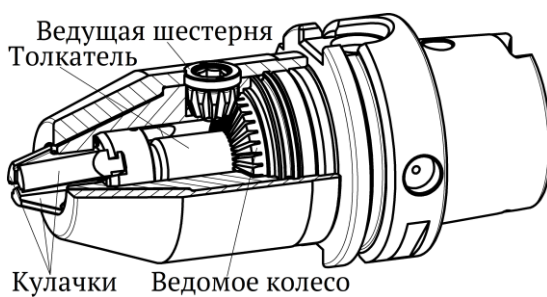


Рис. 8.7. Сверлильный патрон

## 8.4 Патроны для фрезерного инструмента

Установку фрез или свёрл по цилиндрическому хвостовику с прямой лыской осуществляют по посадке с зазором в патрон (типа weldon), изображённый на рисунке 8.8. Аналогичный патрон, но с винтами, наклонёнными на  $88^\circ$  к оси отверстия (тип whistle notch), применяют для установки инструмента с косой лыской. Винты закрепляют инструмент и передают на него крутящий момент. Радиальное биение посадочного отверстия относительно хвостовика не превышает 5 мкм. В патрон устанавливаются как фрезы, так и свёрла.

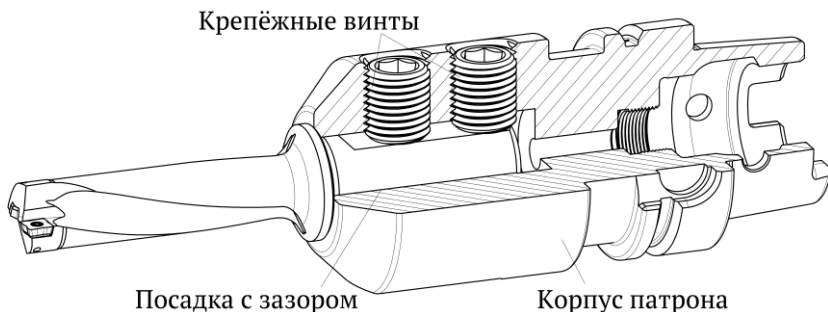


Рис. 8.8. Патрон для хвостовика с лыской и сборное сверло

Цанговые патроны получили широкое распространение для установки фрез и свёрл с цилиндрическим хвостовиком (рисунок 8.9). Благодаря разным длинам патрона и цангам с разным диаметром отверстия можно установить инструмент разного диаметра и обеспечить разную общую длину сборки, в том числе за счёт регулировки вылета инструмента из цанги. Возможна установка метчика при использовании специальной цанги.

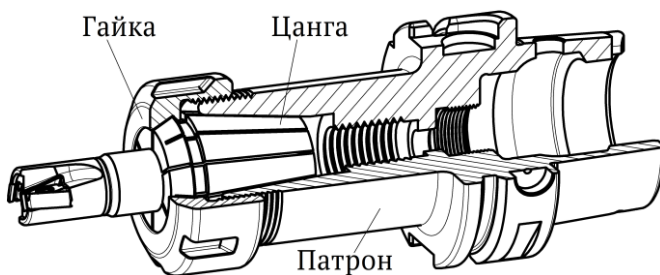


Рис. 8.9. Цанговый патрон и сборная фреза

Для фрез с резьбовым хвостовиком применяют патроны с резьбовым отверстием. Патроны выпускают разных длин, чтобы можно было получить разную общую длину инструментальной сборки. Закрепление инструмента происходит за счёт резьбового соединения и упора в торец патрона, а точность центрирования обеспечи-

вается за счёт контакта цилиндрического пояска на фрезе с точным отверстием в патроне (рисунок 8.10).

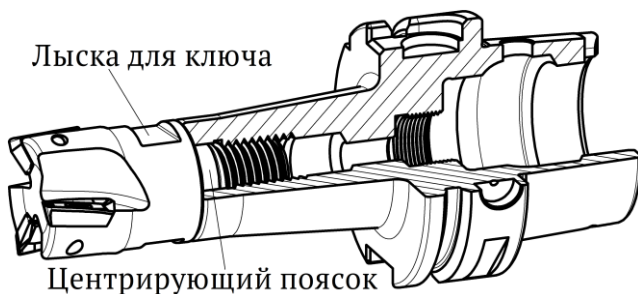


Рис. 8.10. Резьбовой патрон и сборная фреза

Термоусадочный патрон, представленный на рисунке 8.11, удерживает фрезу за счёт посадки с натягом. На специальном приборе происходит индукционный нагрев части патрона, в который устанавливается инструмент. При этом отверстие расширяется и его диаметр становится больше диаметра хвостовика инструмента; появляется буквально несколько секунд для установки инструмента. Термоусадочные патроны не рекомендуется применять для инструмента со стальными хвостовиками.

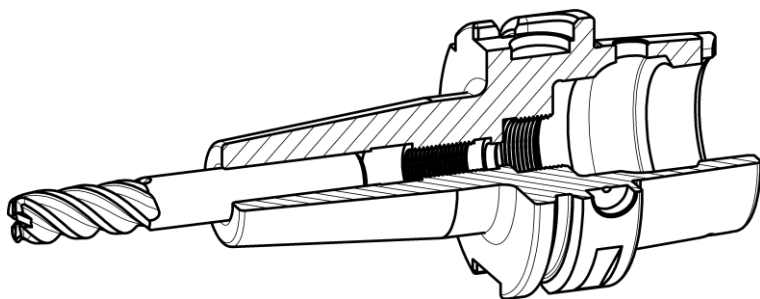


Рис. 8.11. Термоусадочный патрон и цельная фреза

Гидравлический (гидропластовый) патрон применяют для установки инструмента с цилиндрическим хвостовиком за счёт

создания натяга от деформации тонкостенной втулки. При закручивании затяжного винта (рисунок 8.12) происходит увеличение давления в полости, заполненной специальным гидравлическим маслом (гидропластом), что приводит к деформации втулки. Установочное отверстие уменьшается, и фреза удерживается в патроне.

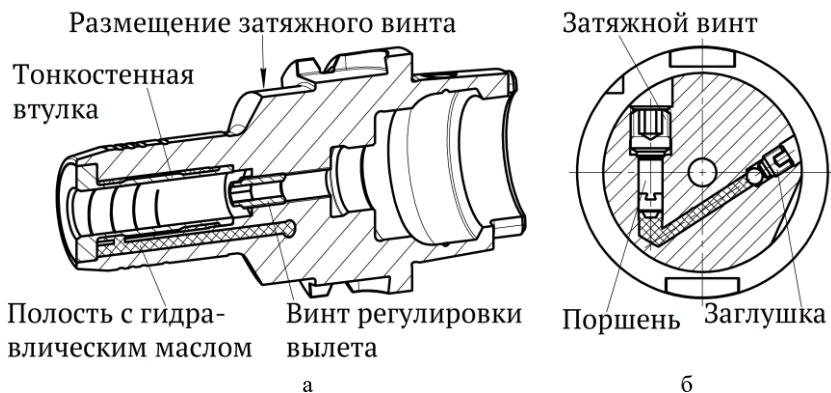


Рис. 8.12. Гидропластовый патрон: а – общий вид; б – поперечное сечение в плоскости размещения затяжного винта

Для установки промежуточных диаметров хвостовиков в гидропластовый патрон применяются цилиндрические цанги. Этот тип патрона используют при чистовой обработке, но производители также выпускают силовые гидропатроны, подходящие для работы с большими глубинами резания.

Для регулировки вылета инструмента из цангового, термоусадочного, гидропластового (рисунок 8.12, а) патрона предусматривается специальный винт, в который упирается торец хвостовика инструмента. При регулировке вылета из термоусадочного и гидравлического патрона необходимо учитывать наименьшую длину зажима хвостовика в патроне.

Преимуществами термоусадочного патрона перед гидропластовым являются меньшая стоимость и меньший наружный диаметр у торца патрона, а значит можно обрабатывать стенку с меньшим

углом наклона на глубине, превышающей вылет инструмента. Например, для хвостовика инструмента диаметром 12 мм у термopатрона наружный диаметр у торца будет равен 20 мм, а у гидропатрона – 29 мм. С другой стороны, для гидропатрона не требуется дополнительного оборудования для установки инструмента.

Патроны для хвостовиков с лыской имеют радиальное биение установочных поверхностей относительно конуса патрона 5 мкм, а другие патроны (цанговые, резьбовые, термоусадочные, гидропластовые) – 3 мкм. Однако итоговое биение зависит от количества соединений при установке режущего инструмента. Наименьшее биение будет у термоусадочного и гидропластового; при установке контрольной оправки биение на вылете  $2,5D$  будет составлять 3 мкм. У других типов патронов биение режущей части инструмента будет значительно выше. По этой причине термоусадочный или гидропластовый патрон предпочтительно применять при чистой обработке.

Снижение биения для инструмента с СМП возможно за счёт применения цельного патрона (патрона-фрезы), совмещающего в себе хвостовик и корпус фрезы. На рисунке 8.13 показана трёхзубая патрон-фреза со сменными пластинами.

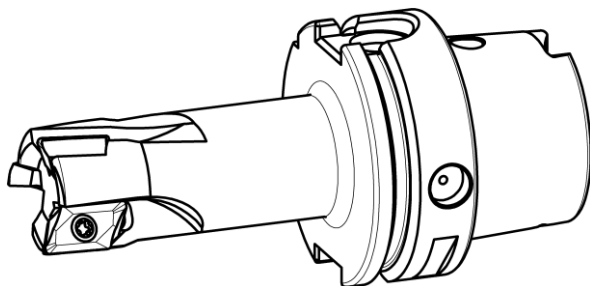


Рис. 8.13. Патрон-фреза

Обычно корпуса фрезерного инструмента исчерпывают срок службы быстрее, чем патроны. Заменив корпус, можно продолжать работать с тем же патроном. У патрона-фрезы такой возмож-



ности нет, поэтому её применяют исключительно для обработки алюминиевых сплавов, когда сила резания ниже, чем при обработке, например, сталей.

## 8.5 Резцедержатели для фрезерных станков

Фрезерно-токарные станки создают на базе пятиосевых фрезерных станков, добавляя поворотной оси *C* функцию вращения стола, как токарного шпинделя. Станок будет подобен токарно-карусельному, а инструмент устанавливают во фрезерный шпиндель с помощью конического хвостовика. Токарно-фрезерные станки выполняют на основе токарных, но вместо револьвера устанавливают наклонно-поворотную фрезерную голову со шпинделем под закрепление вспомогательного инструмента с коническим хвостовиком. На этих двух видах станков для обработки применяется как фрезерный, так и токарный инструмент. Чаще применяют инструмент с полым коническим хвостовиком типа HSK.

На примере с рисунка 8.14 державка резца имеет конический хвостовик. Для работы таким резцом шпиндель, во-первых, имеет угловую ориентацию, т. е. поворачивается в строго определённое (нулевое) положение, а, во-вторых, имеет блокировку вращения.

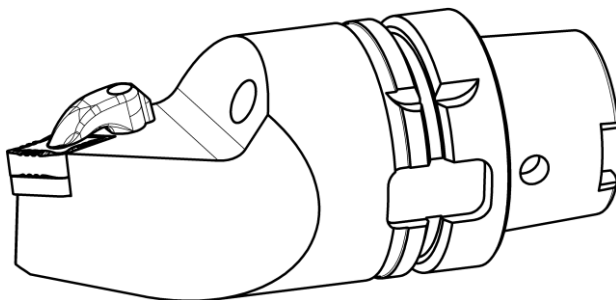


Рис. 8.14. Левый резец с коническим хвостовиком

Широкое распространение получили резцедержатели с коническим хвостовиком, в которые могут быть установлены два-три резца с призматическим хвостовиком (рисунок 8.15). Резец в каждом положении закрепляется тремя винтами. Такой резцедержатель позволяет увеличить количество режущего инструмента устанавливаемого в магазин станка для выполнения операции, а также значительно сокращает вспомогательное время, связанное со сменой инструмента. При смене резца шпиндель позиционируется в угловые положения  $0^\circ$ ,  $120^\circ$  или  $240^\circ$ .

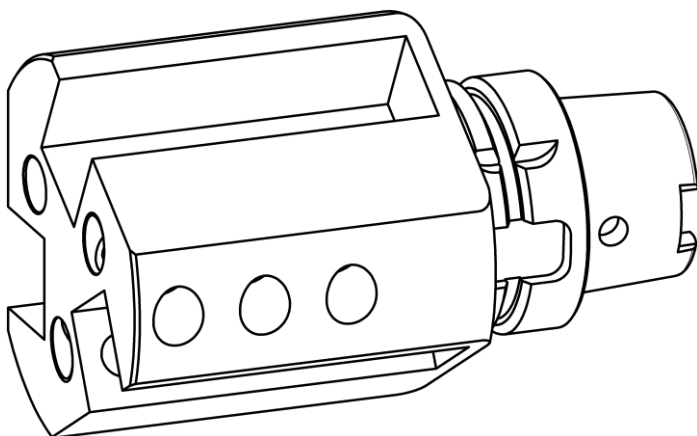


Рис. 8.15. Трёхместный резцедержатель с коническим хвостовиком

Существуют и более сложные инструменты, например, двузубая фреза, совмещённая с двумя токарными пластинами в одном корпусе. Все четыре пластины расположены с угловым шагом  $90^\circ$ , при этом токарные пластины расположены на меньшем диаметре, чтобы не касаться поверхности при фрезеровании.

## 9 ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ

### 9.1 Типы шлифовальных кругов

На плоско-, кругло-, координатно- и профилешлифовальных, заточных станках в качестве инструмента применяют шлифовальные круги. Шлифовальный круг – абразивный инструмент в виде твёрдого тела вращения, предназначенный для шлифования. ГОСТ Р 52781–2007 «Круги шлифовальные и заточные» предусматривает изготовление различных типов кругов из керамических абразивных материалов, например, 1 – прямого профиля; 3 – с коническим профилем; 5 – с выточкой; 11 – чашечные конические; 12, 14 – тарельчатые; 20 – с выборкой. На рисунке 9.1 даны примеры некоторых форм кругов и их характерные размеры.

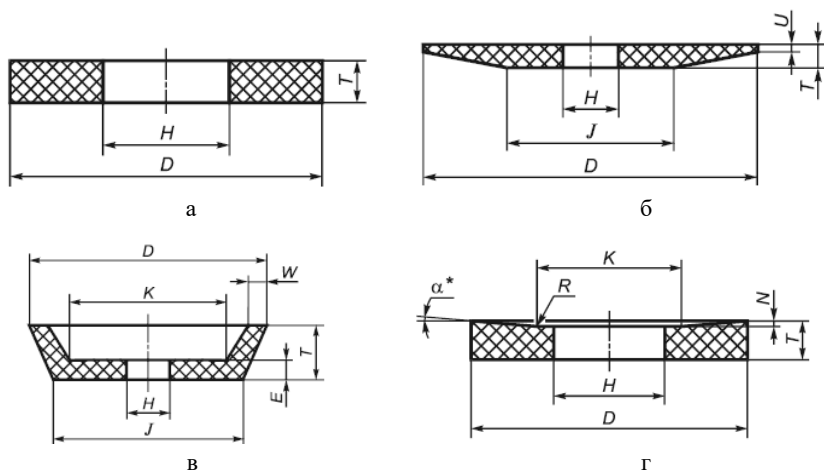


Рис. 9.1. Формы и размеры кругов из керамических абразивных материалов:  
а – прямого профиля; б – с коническим профилем;  
в – чашечный конический; г – с выборкой

Круги прямого профиля выпускаются с наружным диаметром  $D$  от 6 до 1 250 мм. Высота круга  $T$  может быть от 1 до 600 мм, а

посадочный диаметр  $H$  – от 2,5 до 508 мм. Например, для круга  $D = 300$  мм высота изменяется от 5 до 200 мм, а посадочный диаметр – от 32 до 127 мм.

Формы и размеры шлифовальных алмазных кругов и кругов из кубического нитрида бора выполняют по ГОСТ Р 53923–2010. Примеры кругов приведены на рисунке 9.2. Корпуса кругов изготавливают металлическими (рисунок 9.2, б) или керамическими, из композиционных материалов (рисунок 9.2, а). Круги малого диаметра делают без корпуса.

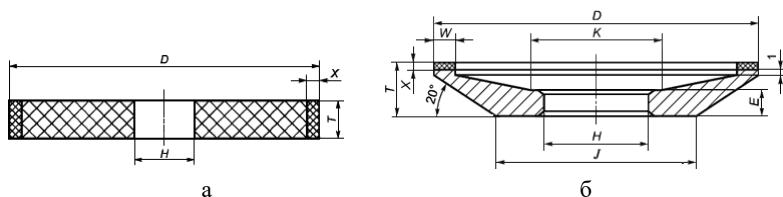


Рис. 9.2. Формы и размеры кругов из алмаза и КНБ:  
а – плоский типа 1А1; б – тарельчатый типа 12А2-20°

Дополнительно к размерам круга  $D$ ,  $T$ ,  $H$  и другим указывают размеры, характеризующие абразивный слой, например,  $X$ .

Алмазные круги применяют для обработки изделий из твёрдых сплавов, цветных металлов, неметаллических материалов, а круги из КНБ для обработки изделий из закалённых до высокой твёрдости сталей, отбелённых чугунов.

## 9.2 Обозначение кругов

Рассмотрим пример обозначения шлифовального круга из электрокорунда: круг 1 300 x 40 x 76,2 25А F60 К 6 V 40 м/с 2 кл. ГОСТ Р 52781–2007.

Круг 1-го типа с  $D = 300$  мм,  $T = 40$  мм,  $H = 76,2$  мм, из белого электрокорунда марки 25А, зернистостью F60, твёрдостью К, но-

мером структуры 6, на керамической связке V, с предельной рабочей скоростью 40 м/с, 2-го класса неуравновешенности.

Зернистость – условное обозначение шлифовального материала, соответствующее размеру абразивных зёрен основной фракции. Круги следует изготавливать с зернистостями F36...F220 по ГОСТ Р 52381–2005.

Твёрдость абразивного инструмента – свойство связки оказывать сопротивление прониканию в абразивный инструмент другого тела. Твёрдость обозначается по ГОСТ Р 52587–2006 буквой латинского алфавита от F, G (весьма мягкие) до V, W, X, Y, Z (чрезвычайно твёрдые).

Структура абразивного инструмента – соотношение объёмов шлифовального материала, связки и пор в абразивном инструменте. Бывают закрытые (1...4), средние (5...7), открытые (8...10) и высокопористые (11...13) структуры.

Связка – материал или совокупность материалов, применяемых для закрепления абразивных зёрен в абразивном инструменте. Наиболее часто встречаются круги на керамической (V), бакелитовой (B) и вулканитовой (R) связках.

Рассмотрим пример обозначения шлифовального круга из кубического нитрида бора: 1A1 300 x 40 x 127 x 4 ЛКВ50 В76 100 Р V 63 м/с ГОСТ Р 53923–2010.

Круг типа 1A1, с  $D = 300$  мм,  $T = 40$  мм,  $H = 127$  мм, толщиной слоя из кубического нитрида бора  $X = 4$  мм, из порошка кубического нитрида бора марки ЛКВ50, зернистостью В76, с относительной концентрацией кубического нитрида бора 100, твёрдостью Р, на керамической связке V, с предельной рабочей скоростью 63 м/с.

Алмазные круги изготавливают с зернистостями D1181...D46, а круги с кубическим нитридом бора – В1181...В46.

Стоимость кругов со слоем из алмаза или КНБ в общем выше, чем стоимость электрокорундовых и карбидкремниевых кругов,

однако их кромкостойкость выше, а также они обеспечивают более производительное шлифование.

Поддержание рабочей поверхности круга в работоспособном состоянии осуществляется с помощью правки, в результате чего удаляются изношенные зёрна, часть связки и вскрываются новые шлифовальные зёрна. Алмазные карандаши применяют для правки керамических кругов. Алмазные ролики используют для правки всех видов кругов, в том числе и алмазных. На станках с ЧПУ движение ролика выполняется по программе, что позволяет поддерживать не только простой, но и сложный профиль шлифовального круга. Правка алмазных и КНБ кругов может также выполняться кругами из зелёного карбида кремния. После правки алмазных и КНБ кругов с помощью мягких абразивных брусков проводят вскрытие зёрен, т. е. незначительное удаление связки с рабочей поверхности, чтобы режущие грани зёрен выступали над связкой.

### **9.3 Вспомогательный инструмент**

Вспомогательный инструмент для шлифовальных станков представляет собой оправку, на которую устанавливается шлифовальный круг. Гайка, навинчиваемая на оправку, закрепляет круг. В оправке выполняют специальную канавку для установки в неё балансировочных грузиков.

Конические хвостовики оправок для установки в шпиндель станка выполняют по разным стандартам. Распространёнными видами являются хвостовики типов SK и HSK.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конструкционные материалы: справочник / Б.Н. Арзамасов, В.А. Брострем, Н.А. Буше и др.; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1990. – 688 с.; ил. – (Основы проектирования машин).

2. Грановский, Г.И. Резание металлов: учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с., ил.

3. Космачев, И.Г. Справочная книга инструментальщика / И.Г. Космачев. – Лениздат, 1963. – 360 с.

4. Жедь, В.П. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвёрдыми и керамическими материалами, и их применение: справочник / В.П. Жедь, Г.В. Боровский, Я.А. Музыкант, Г.М. Ипполитов. – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с., ил.

5. Ceramic Materials, Science and Engineering, C. Barry Carter, M. Grant Norton, Second Edition, ISBN 978-1-4614-3522-8 ISBN 978-1-4614-3523-5 (eBook), DOI 10.1007/978-1-4614-3523-5, Springer New York Heidelberg Dordrecht London

6. Марголит, Р.Б. Наладка станков с программным управлением: учеб. пособие для машиностроительных техникумов / Р.Б. Марголит. – М.: Машиностроение, 1983. – 253 с., ил.

7. WIDIA Продукция. – URL: <https://www.widia.com/ru/ru/products.html> (дата обращения: 24.11.2022).

8. Iscar Electronic catalog. – URL: <https://www.iscar.com/eCatalog/Index.aspx?lang=RU> (дата обращения: 09.11.2022).

9. KEMMLER Präzisionswerkzeuge ONLINESHOP. – URL: <https://www.kemmler-shop.de/en#> (дата обращения: 27.11.2022).

Учебное издание

*Жидяев Алексей Николаевич*

**РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ  
ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ**

*Учебное пособие*

Редакционно-издательская обработка А.С. Никитиной

Подписано в печать 27.11.2023. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печ. л. 5,0.

Тираж 27 экз. Заказ . Арт. – 16(Р2УП)/2023.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»  
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)  
443086, САМАРА, МОСКОВСКОЕ ШОССЕ, 34.

---

Издательство Самарского университета.  
443086, Самара, Московское шоссе, 34.