

**ДЛЯ ФРЕЗЕРОВЩИКОВ ВСЕХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

---

**Л.Н. БЕРДНИКОВ, В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ, В.Н. КРЫЛОВ,  
Е.М. БОЛЬШАКОВ, П.Д. МОТРЕНКО**

# **СПРАВОЧНИК ФРЕЗЕРОВЩИКА**

*Под редакцией В.Ф. Безъязычного*



**МОСКВА  
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»  
2010**

УДК 621.914.1 (035.5)

ББК 34.634я2

С74

А в т о р ы : Л.Н. Бердников, В.Ф. Безъязычный, В.Н. Крылов,  
Е.М. Большаков, П.Д. Мотренко

**Справочник фрезеровщика** / Л.Н. Бердников, В.Ф. Безъязычный,  
С74 В.Н. Крылов, Е.М. Большаков, П.Д. Мотренко; под. ред.  
В.Ф. Безъязычного. М.: Машиностроение, 2010. – 272 с.: ил.  
ISBN 978-5-94275-524-9

Изложены основные сведения о процессе фрезерования, фрезерных станках, режущих инструментах (фрезах), приспособлениях для фрезерных станков, особенностях фрезерования различных обрабатываемых поверхностей, а также контроле, организации рабочего места фрезеровщика и охране труда.

В приложении приведены технические условия и размеры на фрезы по стандартам, действующим с 1 января 2010 г.

Рекомендуется для фрезеровщиков, может быть полезен для подготовки рабочих на производстве, а также для учащихся учреждений среднего профессионального образования.

УДК 621.914.1(035.5)

ББК 34.634я2

**ISBN 978-5-94275-524-9**

© Бердников Л.Н., Безъязычный В.Ф.,  
Крылов В.Н., Большаков Е.М.,  
Мотренко П.Д., 2010

© Издательство Машиностроение, 2010

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

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>Глава 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ФРЕЗЕРОВАНИИ</b> .....	7
1.1. Резание металлов .....	7
1.2. Типы и конструкции фрез .....	11
1.3. Инструментальные материалы .....	60
1.4. Режим резания при фрезеровании .....	64
1.5. Составляющие силы резания и мощность при фрезеровании	69
1.6. Тепловые явления при фрезеровании .....	71
1.7. Износ и стойкость режущего инструмента .....	72
1.8. Применение смазочно-охлаждающих технологических сред	74
1.9. Физико-механические свойства обработанной поверхности	80
<b>Глава 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС МЕХАНИЧЕСКОЙ</b>	
<b>ОБРАБОТКИ</b> .....	83
2.1. Элементы производственного процесса .....	83
2.2. Базирование заготовок .....	84
2.3. Принципы построения технологического процесса .....	86
2.4. Оформление маршрутной и операционной карт механической	
обработки .....	87
2.5. Техническое нормирование .....	89
2.6. Допуски и посадки. Отклонения формы и шероховатость	
обрабатываемых поверхностей .....	90
<b>Глава 3. ФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ</b> .....	101
3.1. Классификация станков фрезерной группы .....	101
3.2. Основные узлы фрезерных станков .....	102
3.3. Консольно-фрезерные станки .....	103
3.4. Вертикально-фрезерные станки с крестовым столом (бес-	
консольные) .....	111
3.5. Продольно-фрезерные станки .....	112
3.6. Фрезерные станки непрерывного действия .....	114
3.7. Копировально-фрезерные станки .....	114
3.8. Фрезерные станки с числовым программным управлением	
(ЧПУ) .....	117
3.9. Эксплуатация фрезерных станков .....	146
3.10. Технические характеристики фрезерных станков .....	151
<b>Глава 4. ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ.</b> ...	176
4.1. Элементы приспособлений .....	176
4.2. Установочные элементы приспособлений .....	177
4.3. Зажимные устройства приспособлений .....	182
4.4. Направляющие шпонки и установовы .....	188

4.5. Универсальные приспособления . . . . .	189
4.6. Делительные головки . . . . .	192
<b>Глава 5. ОБРАБОТКА ПЛОСКОСТЕЙ, ПАЗОВ, УСТУПОВ, ФА- СОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ. ОТРЕЗКА ЗАГОТОВОК . . . . .</b>	<b>201</b>
5.1. Требования, предъявляемые к обработке плоскостей . . . . .	201
5.2. Выбор схемы и последовательности операции фрезерования плоскостей . . . . .	202
5.3. Обработка плоскостей цилиндрическими фрезами . . . . .	205
5.4. Фрезерование набором фрез . . . . .	208
5.5. Обработка плоскостей торцовыми фрезами . . . . .	209
5.6. Некоторые особенности фрезерования плоскостей . . . . .	211
5.7. Обработка пазов, уступов . . . . .	212
5.8. Отрезание и разрезание заготовок, прорезание пазов и шли- цев . . . . .	218
5.9. Фрезерование фасонных поверхностей . . . . .	220
<b>Глава 6. ФРЕЗЕРНЫЕ РАБОТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДЕЛИ- ТЕЛЬНЫХ ГОЛОВОК . . . . .</b>	<b>223</b>
6.1. Фрезерование многогранников . . . . .	223
6.2. Фрезерование прямозубых цилиндрических зубчатых колес . . . . .	226
6.3. Фрезерование зубьев зубчатых реек . . . . .	230
6.4. Фрезерование винтовых канавок . . . . .	232
6.5. Фрезерование кулачков с профилем по архимедовой спи- рали . . . . .	235
<b>Глава 7. СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА И ОХРАНА ТРУДА ФРЕЗЕРОВЩИКА . . . . .</b>	<b>238</b>
7.1. Измерительные средства . . . . .	238
7.2. Контроль фрезерных станков . . . . .	242
7.3. Рабочее место фрезеровщика и его обслуживание . . . . .	246
7.4. Охрана труда фрезеровщика . . . . .	246
<b>Список литературы . . . . .</b>	<b>249</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ. Национальные стандарты на фрезы, введенные в действие с 1 января 2010 и 2011 гг. . . . .</b>	<b>250</b>

## ВВЕДЕНИЕ

В любой отрасли промышленности одним из важных направлений является внедрение в производство прогрессивной технологии, высокопроизводительного оборудования и инструмента, современных форм организации и управления производством.

Значительную долю в парке металлорежущего оборудования составляют фрезерные станки. На некоторых предприятиях это примерно пятая часть от всего заводского парка станков. На фрезерных станках выполняют очень широкий круг работ, ведь фрезерованием можно получить почти любые поверхности.

Конструкции фрезерных станков постоянно совершенствуются, повышается их производительность, точность и надежность работы, облегчается управление и обслуживание. Повышение производительности фрезерных станков достигается увеличением мощности и быстроходности привода главного движения, скоростей быстрых перемещений, расширением диапазона регулирования скоростей и подачи, автоматизацией цикла обработки, автоматизацией и механизацией вспомогательных движений в станках, применением приспособлений, расширяющих технологические возможности фрезерных станков. Точность, надежность и долговечность работы фрезерных станков повышается за счет более качественного изготовления деталей и сборочных единиц, увеличения жесткости станков, применения устройств, централизованной смазки при хорошей защите трущихся пар от загрязнения и др.

В последнее время значительно расширилось применение фрезерных станков с числовым программным управлением (ЧПУ), которые позволяют разрешить одну из актуальных современных проблем – автоматизацию серийного и, особенно, мелкосерийного производства. Получили дальнейшее развитие многоцелевые станки (обрабатывающие центры), на которых производят комплексную последовательную обработку деталей различными инструментами с автоматической их сменой. Принципиально новыми средствами, которыми начинают оснащать станки, являются промышленные роботы – универсальные быстроперенастраиваемые манипуляторы с программным управлением, позволяющие механизировать ручной труд на наиболее трудоемких вспомогательных операциях.

Дальнейший рост промышленного производства может быть обеспечен, в частности, за счет своевременной подготовки квалифицированных кадров. Важным фактором являются и резервы, связанные с повышением профессионального мастерства рабочих-станочников в конкретных условиях производства.

Современные фрезерные станки достаточно сложны и работа на них требует от рабочего больших профессиональных знаний и навыков.

Фрезеровщик должен хорошо знать устройство станка, работу его основных узлов, соблюдать правила эксплуатации, замечать и своевременно предупреждать неисправности, уметь осуществлять наладку фрезерного станка на выполнение различных работ, производить расчеты, необходимые для проведения фрезерных операций.

**Фрезеровщик должен знать:** устройство и правила подналадки односторонних горизонтальных и вертикальных универсальных фрезерных станков, продольно-фрезерных, копировальных и шпоночных станков; правила управления многошпиндельными продольно-фрезерными станками; устройство и правила применения распространенных универсальных приспособлений; назначение и правила применения контрольно-измерительного инструмента; назначение и условия применения нормального и специального режущего инструмента; основные углы, правила заточки и установки фрез; допуски и посадки, качества и параметры шероховатости.

**Каждый рабочий обязан:** разбираться в технологической документации, которая регламентирует работу на станках; уметь правильно организовать свое рабочее место; знать возможные причины брака и пути его предупреждения, назначение и свойства, а также приемы использования смазочно-охлаждающих жидкостей; применять способы экономии электроэнергии и др.

Авторы справочника постарались просто и доходчиво изложить основные сведения о работе на универсальных фрезерных станках, применяемой технологической оснастке, способах ее рационального использования, особенностях фрезерных операций и т.д. Эти сведения предназначены для подготовки фрезеровщиков непосредственно на производстве, для учащихся учреждений среднего профессионального образования; они также могут быть полезны студентам технических вузов, обучающимся по специальностям «Технология машиностроения», «Металлообработывающие станки и инструменты».

## Глава 1

# ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ФРЕЗЕРОВАНИИ

---

---

### 1.1. РЕЗАНИЕ МЕТАЛЛОВ

Процесс резания металлов заключается в срезании с заготовки припуска с целью получения детали требуемой формы, размеров и шероховатости обработанных поверхностей.

Основными видами обработки резанием являются: точение, строгание, сверление, фрезерование, шлифование. Эти виды обработки осуществляют на металлорежущих станках различными режущими инструментами – резцами, сверлами, фрезами и др. Причем все режущие элементы в принципе имеют форму клина.

Для осуществления резания необходимо иметь два движения – главное (рабочее) и движение подачи. **Главное движение  $D_r$  при точении** – это вращательное движение обрабатываемой заготовки (рис. 1.1, *а*). При **фрезеровании главным движением** является вращение фрезы (рис. 1.2, *б*). Скорость главного движения определяет скорость резания.

Поступательное движение резца в продольном или поперечном направлениях является движением подачи  $D_s$  при точении. При **фрезеровании движением подачи** будет поступательное перемещение обрабатываемой заготовки в продольном, поперечном или вертикальном направлениях. В процессе резания происходит образование новых поверхностей путем деформирования и последующего отделения поверхностных слоев с образованием стружки.

Элементы движений в процессе резания в соответствии с ГОСТ 25762–83 при периферийном фрезеровании приведены на рис. 1.2, а при фрезеровании угловой концевой фрезой – на рис. 1.3.

**Процесс резания металлов.** Под действием силы  $P$  режущий клин с передним углом  $\gamma$  и задним углом  $\alpha$  внедряется в обрабатываемый материал и сжимает его передней поверхностью  $OB$  (рис. 1.4). По мере продвижения клина деформация металла возрастает и срезаемый слой толщиной  $a$  превращается в стружку, которая перемещается по передней поверхности.

Основная деформация металла заготовки происходит в зоне  $OML$ , называемой *зоной стружкообразования*. Положение начальной зоны стружкообразования определяется линией  $OL$ , соответствующей границе, за которой обрабатываемый материал сохраняет свои исходные свойства. Достигнув конечной зоны  $OM$ , он получает наибольшую степень деформации и соответственно наибольшую твердость, свойственную уже образовавшейся стружке. При резании деформация распространяется и на поверхностный слой детали.

Следовательно, в результате обработки резанием физико-химические свойства поверхностного слоя детали отличаются от соответствующих данных исходного металла.

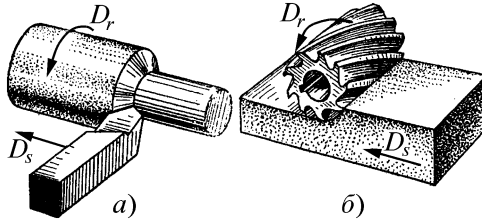


Рис. 1.1. Схемы точения (а) и фрезерования (б)

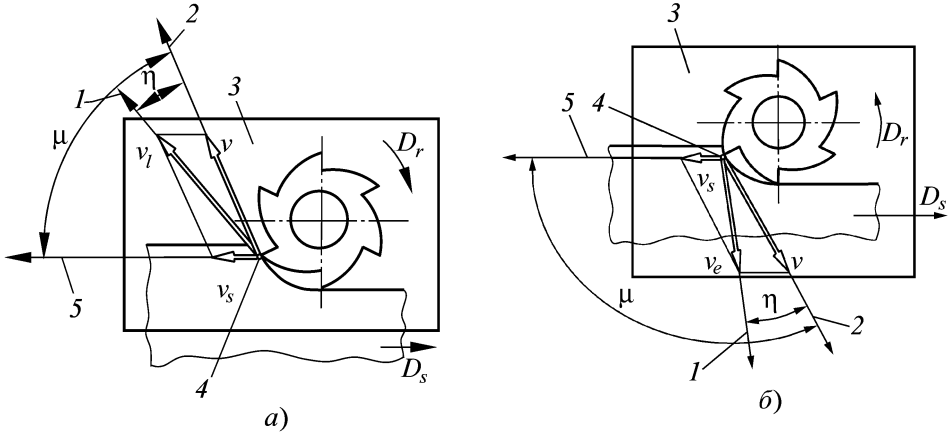


Рис. 1.2. Элементы движений в процессе резания при периферийном фрезеровании:

1 – направление скорости результирующего движения резания  $v_e$ ; 2 – направление скорости главного движения резания  $v$ ; 3 – рабочая плоскость  $P_s$ ; 4 – рассматриваемая точка режущей кромки; 5 – направление скорости движения подачи  $v_s$ ;  $\eta$  – угол между направлениями скорости главного движения и скорости режущего движения;  $\mu$  – угол между направлениями главного движения резания и движения подачи

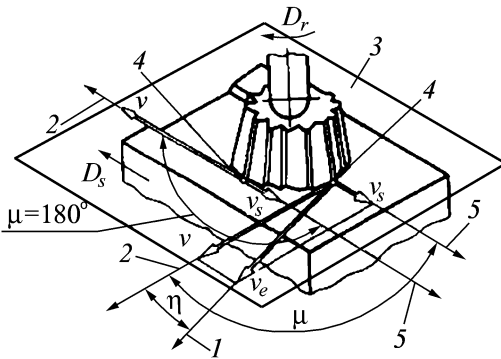


Рис. 1.3. Элементы движений в процессе резания при фрезеровании концевой угловой фрезой:

1 – направление скорости результирующего движения резания  $v_e$ ; 2 – направление скорости главного движения резания  $v_s$ ; 3 – рабочая плоскость  $P_s$ ; 4 – рассматриваемая точка режущей кромки; 5 – направление скорости движения подачи  $v_s$  (обозначение углов  $\eta$  и  $\mu$  аналогично рис. 1.2)



Установлено, что наибольшее деформирование металла происходит у конечной зоны стружкообразования. Поэтому в целях упрощения принято считать, что весь процесс деформации происходит вдоль некоторой условной *плоскости сдвига*  $OA$ . Рассматриваемая плоскость проходит через режущую кромку  $O$  и точку, полученную пересечением наружных поверхностей срезаемого слоя и стружки. Угол между условной плоскостью сдвига и вектором скорости резания называется *углом сдвига* и обозначается  $\beta$ . Чем пластичнее материал, тем меньше угол сдвига и тем большую силу необходимо приложить к режущему инструменту.

На рис. 1.5 приведены микрофотографии зоны резания при обработке пластичных (*a*) и хрупких (*б*) металлов.

Линия  $OL$  на рис. 1.5, *a* почти в 1,8 раза больше, чем на рис. 1.5, *б*, и, аналогично, сила, затрачиваемая при резании пластичного металла, в 2 раза превышает силу при резании хрупкого. Чем больше передний угол, т.е. чем острее режущий клин, тем меньше деформация срезаемого слоя и сила резания. Однако чрезмерное увеличение переднего угла может привести к поломке режущего клина. Определенное влияние на процесс резания имеет и задний угол  $\alpha$ .

**Виды стружек.** Образующаяся при резании металла стружка подразделяется на три вида – сливная, скалывания и надлома.

*Сливная стружка* (рис. 1.6, *a*) получается обычно при резании пластичных и вязких металлов. В этом случае стружка не разделяется на отдельные части и имеет вид сплошной витой ленты.

*Стружка скалывания* (рис. 1.6, *б*) образуется при резании среднетвердых металлов. Эта стружка на наружной поверхности имеет явно выраженные зазубрины с видимыми плоскостями скалывания.

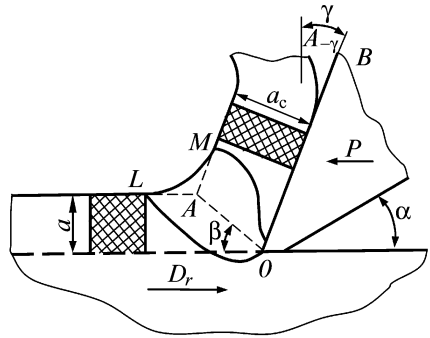
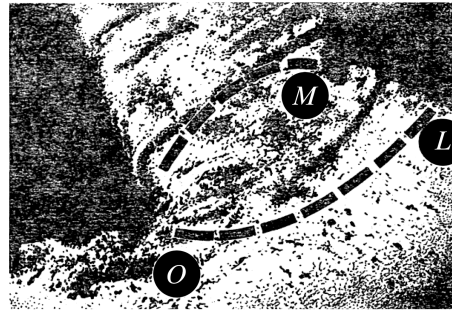
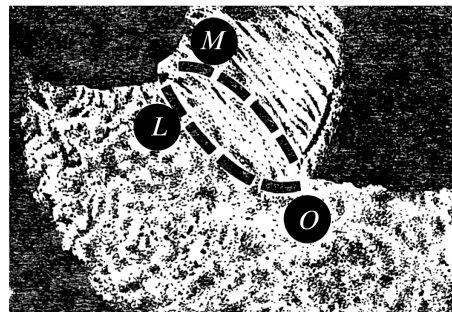


Рис. 1.4. Схема резания



*a*)



*б*)

Рис. 1.5. Схемы образования стружки (микрофотография) при резании пластичных (*a*) и хрупких (*б*) материалов



**Рис. 1.6. Виды стружек:**  
*a* – сливная; *б* – скалывания; *в* – надлома

*Стружка надлома* (рис. 1.6, *в*) получается при обработке хрупких металлов типа чугуна и бронзы и состоит из мелких кусочков металла.

**Характеристики стружки.** При резании толщина стружки получается больше толщины срезаемого слоя (см. рис. 1.4), и это различие будет тем значительнее, чем меньше угол сдвига. Следовательно, определив отношение толщин стружки и срезаемого слоя, можно приблизительно оценить деформацию металла в зоне стружкообразования.

Отношение толщины стружки  $a_c$  к толщине срезаемого слоя  $a$  называется *коэффициентом утолщения стружки*  $K_a$ . Если резание прерывистое, то можно определить отношение длины срезаемого слоя (длина пути, пройденного зубом,  $l$ ) к длине полученной стружки  $l_c$ . Это отношение называют *коэффициентом укорочения стружки*  $K_l$ . *Коэффициент уширения стружки*  $K_b$  – это отношение ширины стружки  $b_c$  к ширине срезаемого слоя.

При пластической деформации объем удаленного металла остается постоянным, т.е.

$$a_c / a = l / l_c .$$

При резании хрупких металлов образуется стружка надлома и коэффициент утолщения стружки имеет небольшое значение ( $K_a = 1...3$ ); в случае же обработки пластичных металлов (например, меди) значение  $K_a$  может достигать 10. С увеличением скорости резания коэффициент утолщения стружки снижается.

Коэффициенты утолщения, укорочения и уширения стружки в ряде случаев используются для оценки процесса резания. Существуют методики, в соответствии с которыми по этим коэффициентам можно определять величину силы резания, необходимую для образования стружки, степень деформации поверхности и т.д.

**Образование нароста и его влияние на процесс резания.** При резании на передней поверхности инструмента вблизи режущей кромки происходит налипание металла (рис. 1.7). В процессе резания образовавшийся нарост периодически срывается и часть его внедряется в обработанную поверхность, а часть уходит со стружкой.

Наростообразование при резании металлов в отдельных случаях можно считать положительным явлением. При появлении нароста увеличивается передний угол клина, т.е. действительный передний угол  $\gamma_d$  становится больше заданного  $\gamma$ . Снижаются сила и температура в зоне резания. Кроме того, нарост предохраняет переднюю, а иногда и заднюю поверхности режущего инструмента от износа. Но поскольку нарост попадает на обработанную поверхность, то это приводит к повышению ее шероховатости. Внедренные в поверхностный слой детали частицы нароста, твердость которых в 2...3 раза выше твердости исходного материала, могут (если поверхность больше не обрабатывать) царапать поверхность сопрягаемой детали.

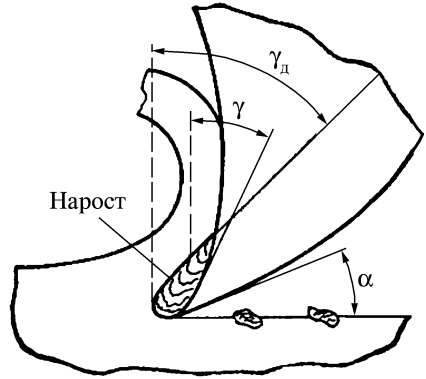


Рис. 1.7. Нарост при резании металлов

Следовательно, образование нароста при резании допустимо только при предварительной обработке и совершенно недопустимо при чистовых операциях.

## 1.2. ТИПЫ И КОНСТРУКЦИИ ФРЕЗ

**Фреза** – многолезвийный режущий инструмент. Обработка фрезами обеспечивает получение деталей с малой погрешностью формы, размеров и высоким качеством поверхностного слоя.

По форме и технологическому назначению фрезы подразделяют на типы (рис. 1.8). *Торцовые* (рис. 1.8, а) и *цилиндрические* (рис. 1.8, б) фрезы предназначены для обработки открытых плоскостей.

*Концевые* (рис. 1.8, в и г) и *дисковые* (рис. 1.8, д) фрезы применяют при фрезеровании плоскостей, пазов и уступов. *T-образными* (рис. 1.8, е) и *фрезами типа «ласточкин хвост»* (рис. 1.8, ж) обрабатывают пазы аналогичных форм. *Фасонные фрезы* (рис. 1.8, з) применяют для получения фасонных поверхностей.

Существуют и другие фрезы, например, дисковые угловые, модульные, резьбовые и т.д.

**Элементы фрезы.** Фреза состоит из корпуса и режущей части, которую изготавливают из инструментальных сталей, твердых или минералокерамических сплавов. Поскольку зуб фрезы соответствует резцу, то поверхности и режущие кромки зубьев фрез определяются по аналогии с резцом.

У токарного резца (рис. 1.9) и фрезы (рис. 1.10) можно выделить следующие элементы и определяющие их параметры.

Поверхность, по которой сходит стружка, называется *передней поверхностью*  $A_\gamma$ . В процессе резания она контактирует со срезаемым слоем и стружкой. Поверхность, обращенная в процессе резания к заготовке, называется *задней поверхностью*  $A_\alpha$ . Пересечение передней и задней поверхностей образует *ре-*

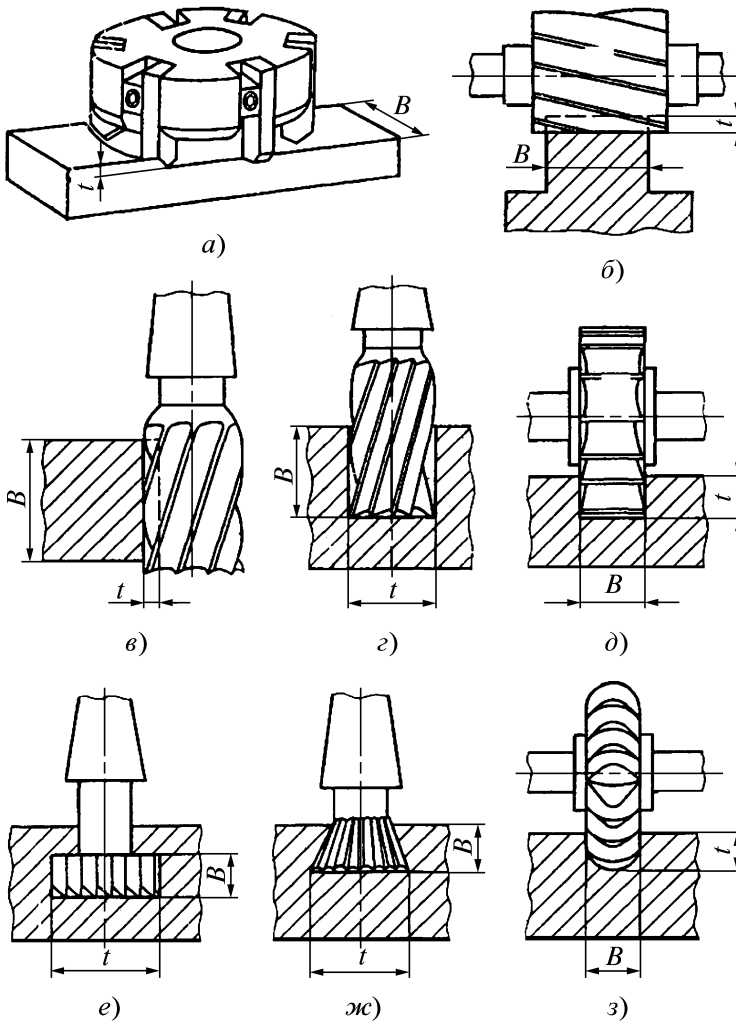


Рис. 1.8. Типы фрез

( $t$  – глубина резания;  $B$  – размер обрабатываемой поверхности)

жущую кромку. Часть режущей кромки, формирующая большую сторону сечения срезаемого слоя, является *главной режущей кромкой*  $K$ , а другая ее часть, формирующая меньшую его сторону, является *вспомогательной режущей кромкой*  $K'$ .

Главная задняя поверхность обращена к поверхности резания и примыкает к главной режущей кромке. Вспомогательная задняя поверхность обращена к обработанной поверхности и примыкает к вспомогательной режущей кромке.

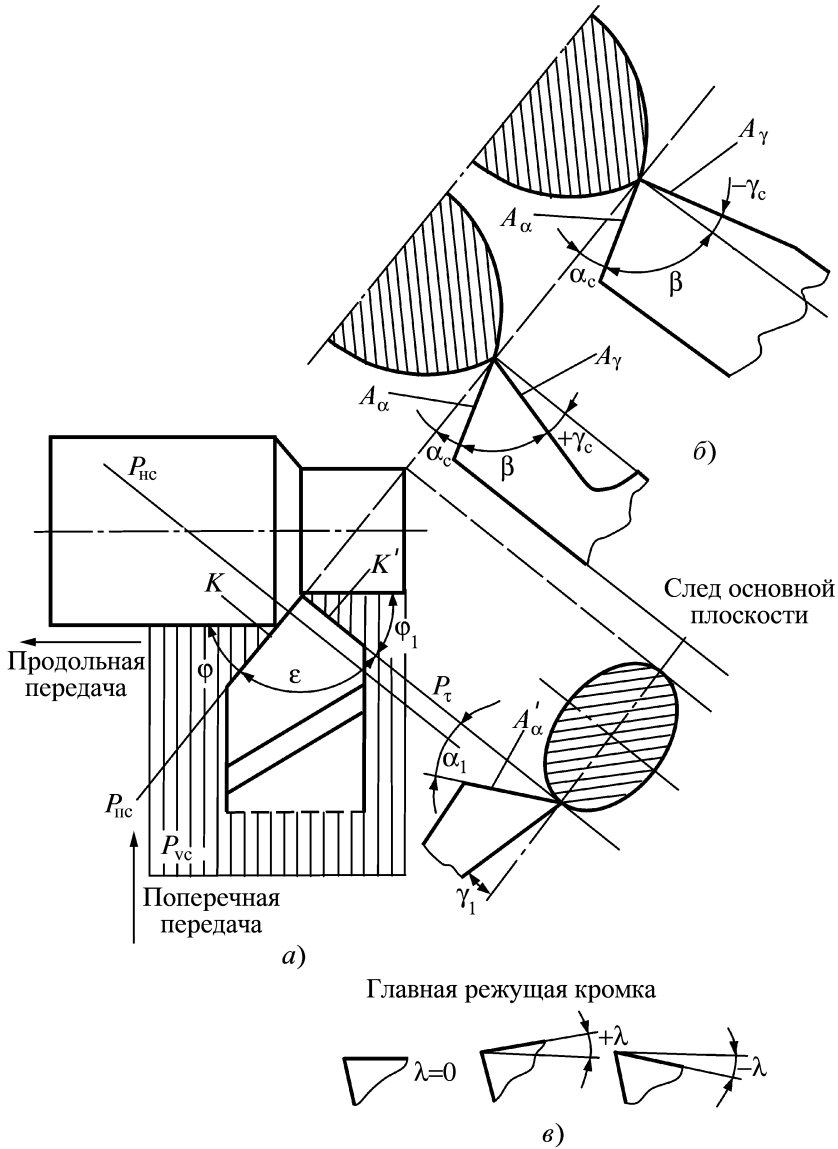
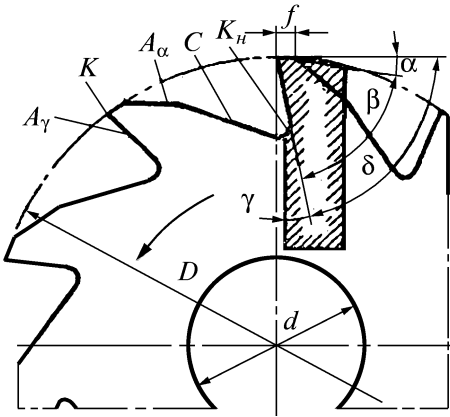


Рис. 1.9. Геометрические параметры токарного реза

Участок режущей кромки в месте пересечения двух задних поверхностей называется *вершиной лезвия*, а радиус, по которому выполнено это сопряжение, – *радиусом вершины*.

Углы лезвия задают и измеряют относительно основной  $P_{vc}$  и рабочей  $P_{nc}$  плоскостей (см. рис. 1.9, а). Следует различать углы лезвия, заданные в главной и в нормальной  $P_{nc}$  секущих плоскостях. Плоскость  $P_{\tau}$  перпендикулярна линии



**Рис. 1.10. Элементы и параметры фрезы:**

$A_\gamma, A_\alpha$  – передняя и задняя поверхности;  
 $K$  – режущая кромка;  $K_n$  – канавка;  
 $f$  – фаска зуба;  $C$  – спинка зуба;  $\gamma$  – передний угол;  $\alpha$  – задний угол;  $\beta$  – угол заострения;  $\delta$  – угол резания

пересечения основной плоскости и плоскости резания, а плоскость  $P_{nc}$  перпендикулярна режущей кромке в рассматриваемой точке. Если инструмент имеет криволинейную режущую кромку, то измерение углов производят в сечении, перпендикулярном к касательной в данной точке.

**Передний угол  $\gamma$**  – угол между передней поверхностью и основной плоскостью. Угол, измеренный в нормальной секущей плоскости, называется *нормальным*  $\gamma_n$ , а измеренный в главной секущей плоскости – *главным передним углом*  $\gamma$ . При этом различают положительный передний угол  $[+\gamma]$ , если режущая кромка занимает наивысшее положение на передней поверхности (см. рис. 1.9, б), и отрицательный передний угол  $[-\gamma]$ , если режущая кромка расположена ниже точек передней поверхности.

При резании инструментом с отрицательным передним углом деформации срезаемого слоя будут значительно больше, а следовательно, больше силы и температура в зоне резания, чем при обработке инструментом с положительным передним углом.

**Задний угол  $\alpha$**  – угол в секущей плоскости между задней поверхностью лезвия и плоскостью резания. Угол, измеренный в нормальной секущей плоскости, называется *нормальным*  $\alpha_n$ , а измеренный в главной секущей плоскости – *главным задним углом*  $\alpha$ .

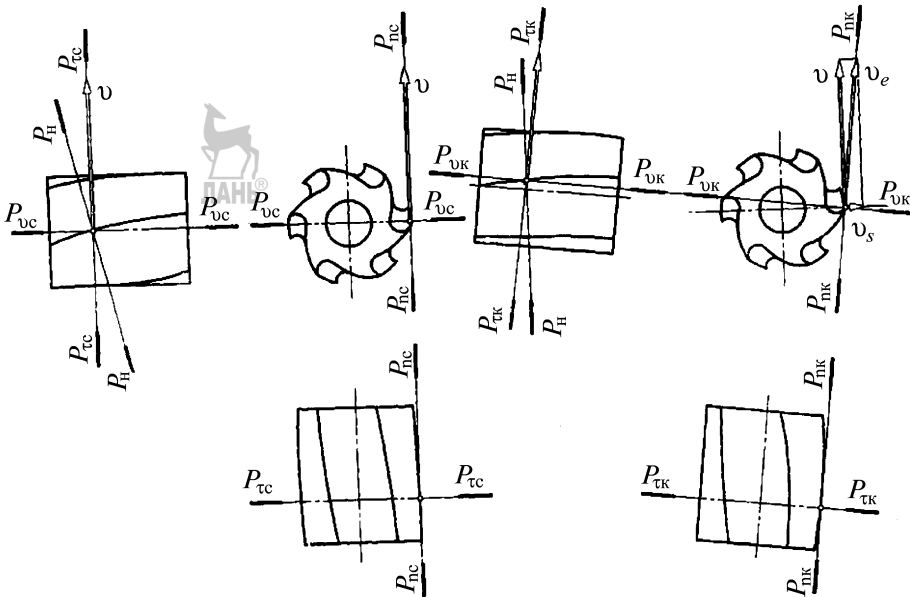
Величина заднего угла оказывает влияние на прочность режущего клина, интенсивность роста износа.

**Угол заострения  $\beta$**  – угол между передней и задней поверхностями лезвия; он определяет прочность режущего инструмента. **Угол резания  $\delta$**  – угол между передней поверхностью и плоскостью резания;  $\delta \approx \beta + \alpha$ .

Углы лезвия определяются также относительно вспомогательной режущей кромки.

**Главный угол в плане  $\varphi$**  – угол между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи. **Вспомогательный угол в плане  $\varphi_n$**  – угол между проекцией вспомогательной кромки на основную плоскость и направлением, обратным направлению подачи. Угол при вершине резца  $\varepsilon$  – угол между проекциями режущих кромок на основную плоскость.

**Угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$**  – угол в плоскости резания между режущей кромкой и основной плоскостью. От величины этого угла зависят



**Рис. 1.11. Координатные плоскости при периферийном фрезеровании:**

$P_{vc}$  и  $P_{vk}$  – основные плоскости: статическая и кинематическая;  
 $P_{nc}$ ,  $P_{nk}$  и  $P_{ni}$  – плоскости резания: статическая, кинематическая и инструментальная;  
 $P_n$  – нормальная секущая плоскость;  $P_\tau$  – главная секущая плоскость;  
 $P_{ti}$ ,  $P_{tc}$  и  $P_{tk}$  – главные секущие плоскости: инструментальная, статическая и кинематическая соответственно

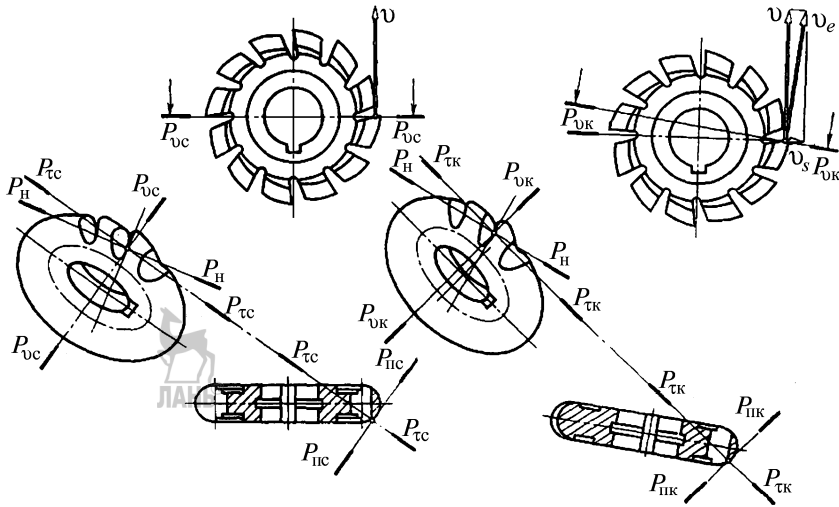
прочность вершины резца, условия врезания зуба фрезы в заготовку, направление схода стружки и другие параметры резания.

Различают положительный угол наклона кромки  $[+\lambda]$ , если вершина резца занимает нижнее положение на режущей кромке (см. рис. 1.9, в), и отрицательный  $[-\lambda]$ , если она занимает наивысшее положение. При  $\lambda = 0$  режущая кромка расположена параллельно основной плоскости.

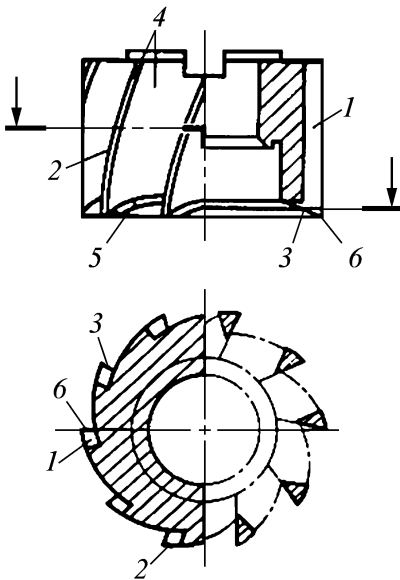
Зуб фрезы (см. рис. 1.10) имеет те же элементы, что и резец: переднюю поверхность  $A_\gamma$ , заднюю поверхность  $A_\alpha$ , режущую кромку  $K$  и соответствующие углы  $\gamma$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$ . У зуба можно выделить также фаску  $f$  и спинку  $C$  – поверхность, смежную с передней поверхностью одного зуба и задней поверхностью соседнего. Канавка  $K_n$  является переходным элементом от одного зуба к другому.

Фрезы имеют *торцовую плоскость*, т.е. плоскость, перпендикулярную к оси фрезы, и *осевую плоскость*, т.е. плоскость, проходящую через ось фрезы и рассматриваемую точку на ее режущей кромке.

Главная режущая кромка  $K$  фрезы выполняет основное резание. У цилиндрических фрез главная режущая кромка может быть прямолинейной (по образующей цилиндра), наклонной (к образующей цилиндра) и винтовой. Вспомогательной режущей кромки у цилиндрических фрез нет.



**Рис. 1.12. Координатные плоскости при фасонном фрезеровании**  
(см. обозначение плоскостей к рис. 1.11)



**Рис. 1.13. Геометрические элементы цилиндрической фрезы:**  
1 – передняя поверхность лезвия  $A_\gamma$ ;  
2 – главная режущая кромка  $K$ ;  
3 – вспомогательная режущая кромка  $K'$ ; 4 – главная задняя поверхность лезвия  $A_\alpha$ ; 5 – вспомогательная задняя поверхность лезвия  $A'_\alpha$ ;  
6 – вершина лезвия

У фрез с торцовыми зубьями различают:

- главную режущую кромку – кромку, расположенную под углом к оси фрезы;
- вспомогательную режущую кромку – кромку, расположенную на торцовой части фрезы;
- переходную режущую кромку – кромку, соединяющую главную и вспомогательную режущие кромки.

Более полная картина координатных плоскостей в соответствии с ГОСТ 25762–83 при фрезеровании приведена на рис. 1.11, а при фрезеровании фасонных поверхностей – на рис. 1.12.

Геометрические элементы фрез в соответствии с ГОСТ 25762–83 приведены на рис. 1.13–1.15.

Буквенные обозначения элементов обработки и плоскостей приведены в табл. 1.1.

**Форма и элементы зубьев.** В зависимости от поверхности, по которой производится затачивание фрезы, существуют две основные конструкции зубьев:

- *остроконечный зуб*, затачиваемый по задней поверхности (рис. 1.16, а);



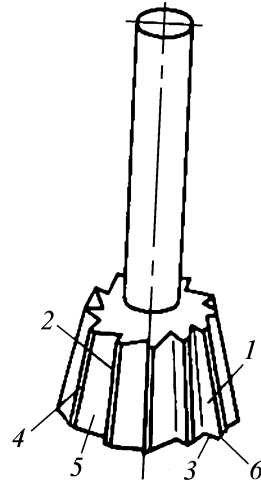
– *затылованный зуб*, затачиваемый только по передней поверхности (рис. 1.16, б).

Зубья характеризуются следующими элементами (рис. 1.17):

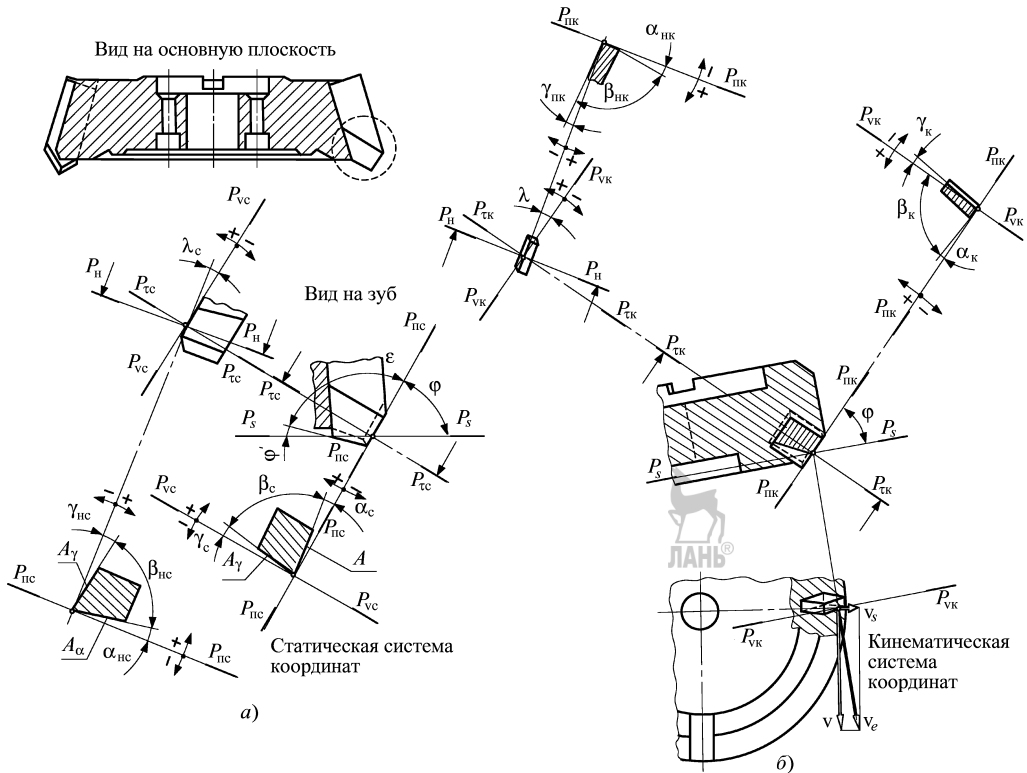
– высота  $h$  – расстояние между точкой режущей кромки зуба и дном канавки, измеренное в радиальном сечении фрезы перпендикулярно ее оси;

– ширина задней поверхности зуба (см. рис. 1.10, фаска  $f$ ) – расстояние от режущей кромки до линии пересечения задней поверхности зуба с его спинкой, измеренное в направлении, перпендикулярном режущей кромке;

$S_{ш}$  – окружной шаг зубьев – расстояние между одноименными точками режущих кромок двух смежных зубьев, измеренное по дуге окружности с центром на оси фрезы и в плоскости, перпендикулярной этой оси. Окружной шаг может быть равномерным и неравномерным;



**Рис. 1.14. Геометрические элементы угловой концевой фрезы** (см. обозначения на рис. 1.13)



**Рис. 1.15. Углы торцевой фрезы:**

*а* – со вставными зубьями; *б* – со вставными квадратными зубьями

### 1.1. Таблица буквенных обозначений элементов обработки резанием, плоскостей и величин, установленных в ГОСТ 25762–83

Номер термина по ГОСТ	Термин	Обозначение
5	Главное движение резания	$D_G$
6	Скорость главного движения резания	$v$
7	Движение подачи	$D_s$
8	Скорость движения подачи	$v_s$
9	Подача	$S$
10	Подача на оборот	$S_o$
11	Подача на зуб	$S_z$
12	Подача на ход	$S_x$
13	Подача на двойной ход	$S_{2x}$
14	Касательное движение	$D_k$
15	Скорость касательного движения	$v_k$
16	Результатирующие движения резания	$D_e$
17	Скорость результирующего движения резания	$v_e$
18	Путь резания	$l$
19	Поверхность резания	$R$
20	Поверхность главного движения	$R_r$
21	Рабочая плоскость	$P_s$
22	Угол скорости резания	$\eta$
23	Угол подачи	$\mu$
27	Основная плоскость	$P_v$
28	Инструментальная основная плоскость	$P_{ви}$
29	Статическая основная плоскость	$P_{vc}$
30	Кинематическая основная плоскость	$P_{vk}$
31	Плоскость резания	$P_{п}$
32	Инструментальная плоскость резания	$P_{пи}$
33	Статическая плоскость резания	$P_{пс}$
34	Кинематическая плоскость резания	$P_{пк}$
35	Главная секущая плоскость	$P_{\tau}$
36	Инструментальная главная секущая плоскость	$P_{\tauи}$
37	Статическая главная секущая плоскость	$P_{\tauс}$
38	Кинематическая главная секущая плоскость	$P_{\tauк}$
39	Нормальная секущая плоскость	$P_n$
40	Секущая плоскость схода стружки	$P_c$
42	Площадь срезаемого слоя	$f$
43	Толщина срезаемого слоя	$a$
44	Ширина срезаемого слоя	$b$

Продолжение табл. 1.1

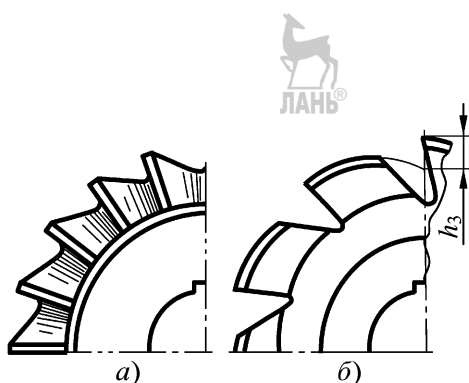
Номер термина по ГОСТ	Термин	Обозначение
45	Передняя поверхность	$A_\gamma$
46	Задняя поверхность	$A_\alpha$
47	Режущая кромка	$K$
48	Главная режущая кромка	$K$
49	Вспомогательная режущая кромка	$K'$
50	Главная задняя поверхность	$A_\alpha$
51	Вспомогательная задняя поверхность	$A'_\alpha$
52	Радиус округления режущей кромки	$\rho$
54	Радиус вершины	$r_B$
55	Передний угол	$\gamma$
56	Нормальный передний угол	$\gamma_n$
57	Главный передний угол	$\gamma$
58	Инструментальный главный передний угол	$\gamma_n$
59	Статический главный передний угол	$\gamma_c$
60	Кинематический главный передний угол	$\gamma_k$
61	Рабочий кинематический передний угол	$\gamma_p$
62	Задний угол	$\alpha$
63	Нормальный задний угол	$\alpha_n$
64	Главный задний угол	$\alpha$
65	Инструментальный главный задний угол	$\alpha_n$
66	Статический главный задний угол	$\alpha_c$
67	Кинематический главный задний угол	$\alpha_k$
68	Рабочий кинематический задний угол	$\alpha_p$
69	Угол заострения	$\beta$
70	Нормальный угол заострения	$\beta_n$
71	Главный угол заострения	$\beta$
72	Инструментальный главный угол заострения	$\beta_n$
73	Статический главный угол заострения	$\beta_c$
74	Кинематический главный угол заострения	$\beta_k$
75	Угол наклона кромки	$\lambda$
76	Инструментальный угол наклона кромки	$\lambda_n$
77	Статический угол наклона кромки	$\lambda_c$
78	Кинематический угол наклона кромки	$\lambda_k$
79	Угол в плане	$\varphi$
80	Инструментальный угол в плане	$\varphi_n$
81	Статический угол в плане	$\varphi_B$



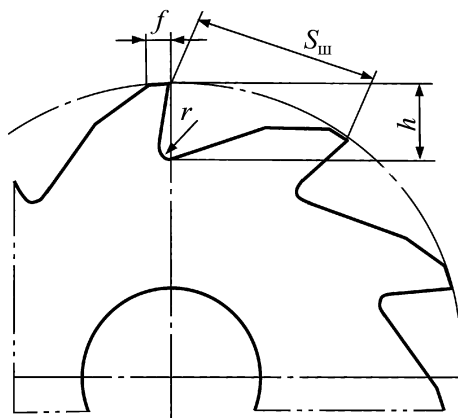
Номер термина по ГОСТ	Термин	Обозначение
82	Кинематический угол в плане	$\varphi_k$
83	Рабочий кинематический угол в плане	$\varphi_p$
84	Коэффициент утолщения стружки	$K_a$
85	Коэффициент уширения стружки	$K_b$
86	Коэффициент укорочения стружки	$K_l$
88	Угол схода стружки	$\nu$
89	Сила резания	$P$
90	Главная составляющая силы резания	$P_z$
92	Осевая составляющая силы резания	$P_x$
93	Радиальная составляющая силы резания	$P_y$

– величина затылования  $h_3$  (см. рис. 1.16, б) – это понижение кривой затылования между режущими кромками двух соседних зубьев.

**Элементы и форма канавок.** Канавка  $K$  (см. рис. 1.10) – выемка для отвода стружки, ограниченная передней поверхностью зуба и задней поверхностью одного и спинкой соседнего зуба. Канавки делятся на прямые и винтовые. Канавка прямая параллельна оси фрезы. Образование винтовой линии показано на рис. 1.18. Если треугольник  $ABC$  навернуть на цилиндр так, чтобы катет  $AB = \pi D$  совпал с основанием цилиндра диаметром  $D$ , то гипотенуза  $AC$  образует на цилиндре винтовую линию левую или правую. Шагом  $P$  винтовой линии



**Рис. 1.16. Форма зубы фрезы:**  
а – остроконечная; б – затылованная



**Рис. 1.17. Элементы зуба:**  
 $h$  – высота;  $f$  – фаска;  $S_{ш}$  – окружной шаг

называется величина ее подъема за один оборот вокруг цилиндра. Угол  $\omega$  называется *углом наклона* винтовой линии, а угол  $\beta$  – *углом подъема* винтовой линии. Эти углы связаны между собой соотношением:  $\omega = 90 - \beta$ . Они определяются по формулам:

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{\pi D}{P}; \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{P}{\pi D},$$

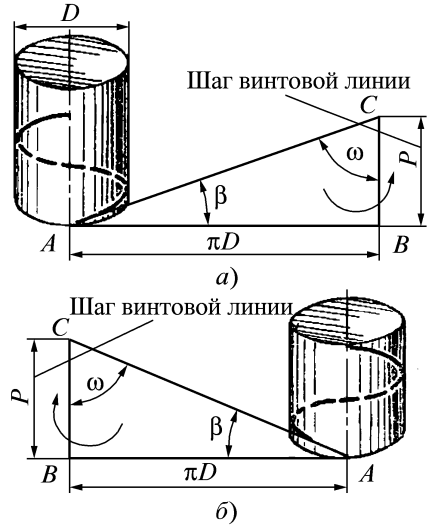
где  $\pi = 3,14$ .

Канавка винтовая левая (рис. 1.19, а) – канавка, направленная по винтовой линии с подъемом справа налево. Канавка винтовая правая (рис. 1.19, б) – канавка, направленная по винтовой линии с подъемом слева направо.

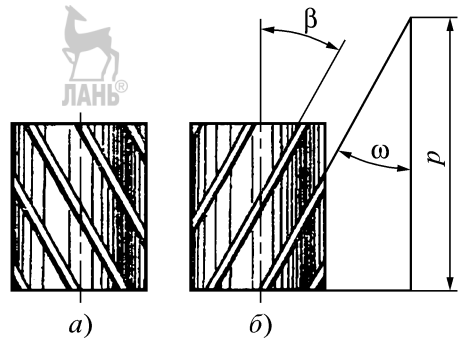
Важными параметрами фрезы являются объем впадины зуба и профиль впадины зуба. Плавность сопряжения передней поверхности и спинки зуба должна быть такой, чтобы стружка под воздействием сил инерции, охлаждающей жидкости или вновь образующейся стружки свободно удалялась из впадины. Увеличение параметров  $r$  и  $h$  (рис. 1.17) с целью достижения более благоприятных условий размещения стружки ограничено прочностью зуба. Для улучшения отвода стружки переднюю поверхность и впадины зубьев у некоторых фрез полируют.

Фрезы с остроконечными зубьями просты в изготовлении, удобны в эксплуатации и обеспечивают достаточно высокую стойкость инструмента. Затачивание таких фрез производят по задней поверхности, однако следует иметь в виду, что по мере переточек высота зуба и объем его впадины уменьшаются.

У фрез с затылованной формой зубьев (см. рис. 1.16, б) спинку обрабатывают на токарно-затыловочных станках. Ее профиль соответствует архимедовой спирали, что обеспечивает постоянство профиля передней поверхности зуба. Для сохранения значений задних углов и профиля, зубья затачивают по передней поверхности в радиальном направлении. Сохранение постоянного профиля режущей кромки особенно важно для фасонных фрез. По мере переточек зубьев фрезы объем впадины увеличивается.



**Рис. 1.18. Схема образования винтовой линии:**  
а – левой; б – правой



**Рис. 1.19. Направление винтовых канавок:**  
а – левое; б – правое

Недостатками этих фрез являются малая величина заднего угла  $\alpha$  и нулевой передний угол  $\gamma$ , что затрудняет резание и снижает стойкость инструмента. Затывованные фрезы имеют более высокую стоимость по сравнению с острозаточенными.

**Конструкции фрез.** Большинство конструкций фрез стандартизовано (табл. 1.2). Помимо технологического назначения фрезы подразделяют на цельные, составные, со вставными ножами и сборные головки.

*Цельные фрезы* изготавливают целиком из инструментального материала (быстрорежущей стали или твердого сплава). Фрезы могут быть цельными комбинированными, т. е. зубья выполняются из инструментального материала, а корпус – из конструкционной стали. Зубья наплавляются на корпус или, если они из быстрорежущей стали, наплавляются на него.

Цельные фрезы обладают большой жесткостью, что является их достоинством. Однако им свойственны и недостатки: изменение размера фрез после переточки; отрицательное влияние температуры пайки или наплавки режущих зубьев на качество (стойкость) инструмента; повышенный расход инструментального материала.

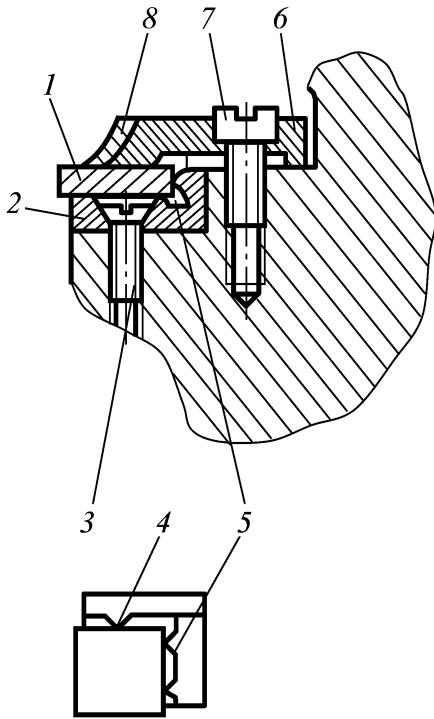
*Фрезы с механическим креплением вставных зубьев* (пластин) в настоящее время наиболее распространены. Среди многообразия конструкций крепления режущих элементов у таких фрез можно выделить два основных вида – фрезы с механическим креплением ножей (резцов) и фрезы с механическим креплением многогранных неперетачиваемых пластин.

Фрезы с многогранными пластинами имеют ряд достоинств, что определяет их широкое применение на практике. В общем случае при механическом креплении должны быть обеспечены точная ориентация режущей пластины в корпусе фрезы, надежность ее крепления, возможность быстрого удаления изношенной пластины и замены ее новой, а также механизация этих процессов, минимальные размеры узла крепления.

Известно много различных способов крепления пластин: винтами, штифтами, рычагами, прихватами и т.д. Все они имеют свои достоинства и недостатки. Один из наиболее простых способов крепления многогранной пластины показан на рис. 1.20. Пластины 1 из инструментального материала устанавливают на прокладку 2, которую для уменьшения деформации от воздействия сил резания и температуры изготавливают из быстрорежущей стали или твердого сплава. Прокладку крепят винтом 3. Пластины ориентируют в радиальном и вертикальном направлениях упорами 4, 5 и зажимают винтом 7 через прижим 6. На поверхности, обращенной к сходящей стружке, этот прижим имеет припаянную твердосплавную пластину 8. Для механического крепления используют пластины двух-, трех-, четырех-, пяти-, шестигранной и круглой формы (рис. 1.21).

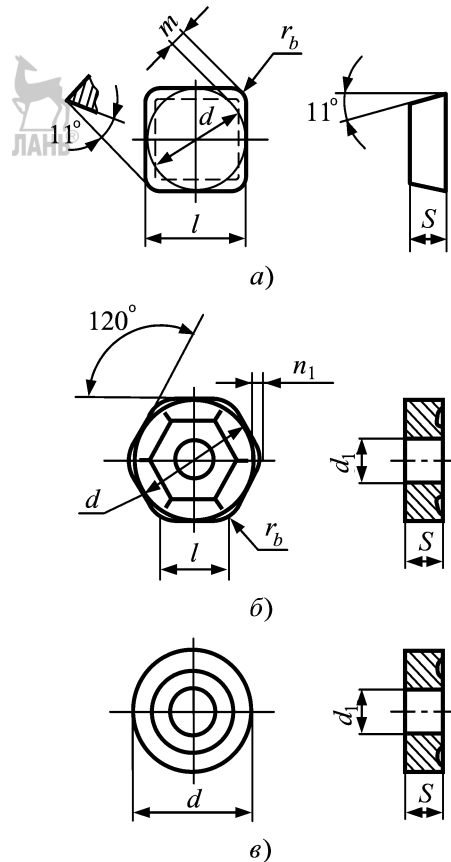
В настоящее время применяют либо цифровые, либо буквенно-цифровые **условные обозначения** механически закрепляемых пластин в зависимости от их формы, геометрии заточки, точности и т.д. (табл. 1.3–1.6).

В этих обозначениях первые две цифры (или первая буква) характеризуют форму пластины (табл. 1.3), третья цифра (или вторая буква) определяет



**Рис. 1.20. Схема крепления четырехугольной пластины прихватом:**

- 1 – пластина; 2 – прокладка; 3 – винт;  
4 и 5 – упоры; 6 – прихват;  
7 – винт; 8 – припаянная пластина



**Рис. 1.21. Многогранные неперетачиваемые пластины твердого сплава:**  
а – квадратные; б – шестигранные;  
в – круглые

значение заднего угла (табл. 1.4), четвертая цифра (или третья буква) указывает степень точности изготовления пластины (табл. 1.5), а пятая цифра (или четвертая буква) характеризует ее конструктивные особенности (табл. 1.6).

Вторая часть условного обозначения состоит из трех групп двузначных цифр, определяющих: длину режущей кромки (мм), толщину пластины (мм), значение радиуса при вершине (мм), увеличенное в 10 раз.

Например, пластина шестигранной формы с нулевым значением заднего угла, нормальной точности, с центральным отверстием и стружечными канавками, размерами: длиной режущей части 11 мм, толщиной 4 мм, радиусом при вершине 1,2 мм, выполненная из сплава ВК6, будет иметь обозначения:


цифровое

11114 – 110412 ВК8 ГОСТ 19068–80\*

и буквенно-цифровое

Н1114 – 110412 ВК8 ГОСТ 19068–80\*.

## 1.2. Основные типы и размеры стандартных фрез, мм [1]

Фрезы	ГОСТ	Наружный диаметр	Размеры присоединительной части инструмента
<b>Цилиндрические фрезы</b>			
 Цельные: с мелкими зубьям  с крупными зубьями  с мелкими или крупными зубьями  Составные с мелкими или крупными зубьями	ОСТ 2 И41-15-87	(40); 50; 63; 80; (100)	Диаметр посадочного отверстия:
		(50); (63); 80; 100	16...40 22...40
	29092-91	50; 63; 80; 100	22...40
		80; 100; 125; 160	32...60
<b>Торцовые фрезы</b>			
Цельные насадные: с мелкими зубьями  с крупными зубьями  для обработки легких сплавов  Сборные насадные со вставными ножами, оснащенными пластинами из твердого сплава: с крупными зубьями  для обработки легких сплавов  с мелкими зубьями  для труднообрабатываемых сталей и сплавов (с углом ф, равным 45 или 90°)	9304-69 (в ред. 1981 г.)	40; 50; 63; 80 100	Диаметр посадочного отверстия: 16...32
		63; 80; 100	27...32
	16222-81 (в ред. 1988 г.)	50; 63; 80	22...32
		24359-80 (в ред. 1991 г.)	100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630
16223-81 (в ред. 1988 г.)	100; 125; 160; 200; 250; 315		32...60
	9473-80 (в ред. 1982 г.)	100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630	32...60
—		100; 125; 160; 200	40...60




Продолжение табл. 1.2

Фрезы	ГОСТ ЛАНЬ®	Наружный диаметр	Размеры присоединительной части инструмента
<b>Концевые фрезы</b>			
Цельные: с цилиндрическим хвостовиком (с нормальными или крупными зубьями, с цилиндрической ленточкой или заточенные наостро)	53002–2008	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 24; 25; 28; 32; 36; 40; 45; 50; 56; 63; 71	Диаметр хвостовика 4...25
с коническим хвостовиком (с нормальными или крупными зубьями, с цилиндрической ленточкой или заточенные наостро)		6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 32; 36; 40; 45; 50; 56; 63	Конус Морзе 1 – 5
с коническим хвостовиком для смены: ручной		24; 25; 28; 32; 36; 40; 45; 50; 56; 63; 71; 80	Конус 7:24
автоматической		32; 36; 40; 45; 50; 56; 63; 71; 80	Конус 7:24
с цилиндрическим хвостовиком для обработки легких сплавов	16225–81 (в ред. 1988 г.)	1,5; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12	Диаметр хвостовика 2...12
с коническим хвостовиком для обработки легких сплавов		(12); 14; 16; 18; 20; 22; (24); 25; 28; (30); 32; 36; 40; 45; 50	Конус Морзе 2 – 4
с резьбовым хвостовиком двузубые для обработки легких сплавов	16226–81 (в ред. 1988 г.)	8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 24; 25; 28; 30; 32; 36; 40	Резьбовая часть М14 – М27
с коническим хвостовиком радиусные для обработки легких сплавов	16231–81 (в ред. 1988 г.)	12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 32; 36; 40; 50	Конус Морзе 2 – 4
Обдирочные с коническими хвостовиками (с торцовыми зубьями или без них)	15086–69 (в ред. 1990 г.)	25; 32; 40; 50; 63; 80	Конус Морзе 3 – 6
Оснащенные твердосплавными коронками: с цилиндрическим хвостовиком	20533–75 (в ред. 1987 г.)	10; 12; (14)	Диаметр хвостовика 10...14
с коническим хвостовиком	20534–75 (в ред. 1987 г.)	10; 12; (14); 16; (18); 20; (22)	Конус Морзе 3
с резьбовым хвостовиком	20535–75 (в ред. 1987 г.)	10; 12; (14); 16; (18); 20; (22)	Резьбовая часть хвостовика М16; М20

Продолжение табл. 1.2

Фрезы	ГОСТ	Наружный диаметр	Размеры присоединительной части инструмента
Оснащенные винтовыми твердосплавными пластинками: с цилиндрическим хвостовиком	20536–75 (в ред. 1987 г.)	10; 12,5; 16; 20	Диаметр хвостовика 10...20
	20537–75 (в ред. 1987 г.)	12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50	Конус Морзе 2 – 5
	20538–75 (в ред. 1987 г.)	20; 25; 32; 40; 50	3 – 5
Твердосплавные (праворежущие и леворежущие): цельные	18372–73 (в ред. 1989 г.)	3; (3,5); 4; (4,5); 5; (5,5); 6; (6,5); (7); (7,5); 8; (8,5); (9); (9,5); 10; (10,5); (11); (11,5); 12	Диаметр хвостовика 3...12
		От 5 до 12 те же размеры, что и у цельных фрез	5...12
Цельные твердосплавные с цилиндрическим хвостовиком для труднообрабатываемых сталей и сплавов: сферические грушевидные сферические эллипсоидные сфероцилиндрические цилиндрические конические	18934–73 18935–73 18936–73 18937–73 18938–73	4; 6; 8	Диаметр хвостовика 4; 6; 8
Твердосплавные удлиненные с цилиндрической оправкой для труднообрабатываемых сталей и сплавов: сферические грушевидные	18939–73 (в ред. 1980 г.)	4; 6; 8	6; 8; 10

Продолжение табл. 1.2

Фрезы	ГОСТ	Наружный диаметр	Размеры присоединительной части инструмента
сферические эллипсоидные сфероцилиндрические цилиндрические конические	18940–73 18941–73 18942–73 18943–73	4; 6; 8	Диаметр хвостовика 6; 8; 10
С цилиндрическим хвостовиком, оснащенные пластинами из твердого сплава, для трудно- обрабатываемых сталей и сплавов:	 18944–73 (в ред. 1980 г.) 18945–73 (в ред. 1980 г.) 18946–73 (в ред. 1980 г.) 18947–73 (в ред. 1985 г.) 18948–73 (в ред. 1980 г.)	10; 12,5; (14); 16; (18); 20; (22)	8; 10
С удлиненной рабочей частью и винтовыми зубьями со сменными твердосплавными пластинами	28709–90	32	Конус Морзе 4
		40	Конус 40
		50; 63; 80; 100	Конус 50
С механическим креплением многогранных твердосплавных пластин	28436–90	12; 16; 20; 25; 32; 40; 50	Конус Морзе 2 – 4
<b>Шпоночные фрезы</b>			
Цельные: с цилиндрическим хвостови- ком  с коническим хвостовиком	53003–2008	2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 24; 25; 28; 32; 36; 40; 45; 50; 56; 63; 70	Диаметр хвостовика 4...63
		6; 7; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 24; 25; 28; 32; 36; 40; 45; 50; 56; 63; 70	Конус Морзе 1 – 5
		24; 25; 28; 32; 36; 40; 45; 50; 56; 63; 70; 80	Конус 7:24
твердосплавные с цилиндри- ческим хвостовиком	16463–80 (в ред. 1992 г.)	2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12	Диаметр хвостовика 3...12



Продолжение табл. 1.2

Фрезы	ГОСТ	Наружный диаметр	Размеры присоединительной части инструмента
Оснащенные твердосплавными пластинами: с цилиндрическим хвостовиком	6396–78 (в ред. 1992 г.)	10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25	Диаметр хвостовика 10...25
		12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 32; 36; 40	Конус Морзе 1 – 4
с коническим хвостовиком			
для пазов шпонок сегментных	ОСТ 2 И41-13–87	4,3; 7,5; 10,8; 14; 17,3; 20,5; 23,8; 27; 30,2; 34,6	Диаметр хвостовика 6...12

#### Фрезы с механическим креплением твердосплавных пластин

Торцовые с механическим креплением многогранных пластин	26595–85 (в ред. 1991 г.)	50; 63; 80; 100; 125; 160; 200	Диаметр посадочного отверстия: 22; 27; 32; 40; 50; 60
Торцовые концевые с механическим креплением твердосплавных пластин: пятигранных	22087–76 (в ред. 1982 г.)	63; 80	Конус Морзе 4; 5
	22088–76 (в ред. 1982 г.)	50; 63; 80	
круглых			
Насадные торцово-цилиндрические с винтовыми зубьями со сменными многогранными твердосплавными пластинами	28719–90	50; 63; 80; 100; 125	Диаметр посадочного отверстия: 22...50

#### Пазовые фрезы

Дисковые цельные: с остроконечным зубом	3964–69 (в ред. 1988 г.)	50; 63; 80; 100; 125; 160; 200	16...40
с затылованным зубом	8543–71 (в ред. 1991 г.)	50; 63; 80; 100	16...32

Продолжение табл. 1.2

Фрезы	ГОСТ	Наружный диаметр	Размеры присоединительной части инструмента
Для обработки Т-образных пазов: с цилиндрическим или коническим хвостовиком (с нормальными или крупными зубьями)	53004–2008	5; 6; 8; 10; 12; 14; 18; 22; 28; 36 для фрез с коническим хвостовиком дополнительно: 6; 8; 10; 12; 14; 18; 22; 28; 36; 42; 48; 54	Для фрез с хвостовиком: цилиндрическим – диаметр 10...32; коническим – конус Морзе 1 – 5
с напаянными твердосплавными пластинками (с коническим хвостовиком)	10673–75 (в ред. 1991 г.)	18; 21; 25; 32; 40; 50; 60; 72; 85; 95	Конус Морзе 1 – 5




**Дисковые фрезы**



Трехсторонние: с разнонаправленными зубьями	28527–90	50; 63; 80; 100; 125; 160; 200	Диаметр посадочного отверстия: 16...40
то же, для обработки легких сплавов	16227–81 (в ред. 1988 г.)	50; 63; 80; 100	19...32
Сборные трехсторонние со вставными ножами из быстрорежущей стали для обработки легких сплавов	16228–81 (в ред. 1988 г.)	80; 100; 125; 160; 180; 200; 224; 250; 315	27...50
То же, из твердого сплава	5348–69 (в ред. 1981 г.)	100; 125; 160; (180); 200; (224); 250; 315	27...60



Продолжение табл. 1.2

Фрезы	ГОСТ	Наружный диаметр	Размеры присоединительной части инструмента
Сборные двусторонние со вставными ножами: из быстрорежущей стали для обработки легких сплавов (правые и левые)	16229–81 (в ред. 1988 г.)	80; 100; 125; 160; 180; 200; 224; 250; 315	Диаметр посадочного отверстия: 27...50
	6469–69 (в ред. 1981 г.)	100; 125; 160; (180); 200; (224); 250; 315	27...60 
Трехсторонние с механическим креплением многогранных твердосплавных пластин	28437–90	80; 100; 125; 160; 200; 250; 315	28...80
Двухсторонние с механическим креплением многогранных твердосплавных пластин (правые и левые)		125; 160; 200; 250; 315	40...80

**Прорезные (шлицевые) и отрезные фрезы**

Цельные насадные: с мелкими, средними или крупными зубьями	2679–93 (ИСО 2296–72)	20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315	Диаметр посадочного отверстия: 5...40	
для обработки легких сплавов (отрезные)	16230–81 (в ред. 1988 г.)	63; 80; 100; 125; 160; 200	16...32	
Дисковые цельные для разрезки пластмасс: типа пистолет: с разведенными зубьями	20317–74 (в ред. 1981 г.) 	100; 125; 160; 200	22; 27; 32	
		315; 400	40; 50	
	типа гетинакс: с разнонаправленными зубьями	20318–74 (в ред. 1981 г.) 	100; 125; 160; 200; 315; 400	22; 27; 32
			315; 400	40; 50
с мелкими зубьями				

Окончание табл. 1.2

Фрезы	ГОСТ	Наружный диаметр	Размеры присоединительной части инструмента
Дисковые: с разнонаправленными зубьями для разрезки листов из винипласта и органического стекла с разведенными зубьями для разрезки листов из органического стекла, полиэтилена и полистирола для разрезки листов и труб из винипласта и органического стекла толщиной до 15 мм для разрезки листов из винипласта и органического стекла и труб из винипласта и полиэтилена для разрезки пластмасс типа текстолита, гетинакса и стеклопластиков: с разнонаправленными зубьями со вставными ножами	20324-74 (в ред. 1981 г.)	100; 125; 160; 200	Диаметр посадочного отверстия: 22; 27; 32
	20326-74 (в ред. 1981 г.)	160; 200; 250	32
	20327-74 (в ред. 1981 г.)	100; 125; 160; 200; 250	22; 27; 32
	20328-74 (в ред. 1981 г.)	315; 400	40; 50
	20320-74 (в ред. 1987 г.)	200; 250; 315; 400	32; 40; 50
	20321-74 (в ред. 1981 г.)	250; 315; 400	32; 40; 50
Сегментные с крупным зубом для разрезки пластмасс типа текстолит и гетинакс	20319-74 (в ред. 1981 г.)	250; (280); 315; (355); 400	32; 40; 50
Дисковые для разрезки листов из термопластичных пластмасс	20325-74 (в ред. 1981 г.)	160; 200; 250	32

**Полукруглые фрезы**

Выпуклые	9305-93	50; 63; 80; 100; 125; 130	16...40
Вогнутые		50; 63; 80; 100; 125; 160	

Примечания: 1. Для применения предпочтительны фрезы с диаметрами первого ряда.

2. В скобках даны диаметры второго или третьего ряда, применять которые не рекомендуется.

3. Вместо ГОСТ 18934-73... ГОСТ 18948-73 с 1 января 2009 г. вводится ГОСТ Р 52780-2007 (ИСО 7755-1:1984... ИСО 7755-12: 1984); более подробно см. с. 54.

### 1.3. Условные обозначения форм пластин

Формы	Обозначение	
	Цифровое	Буквенное
Трехгранные, правильной формы	01	T
Квадратные	03	S
Ромбические с углом 60°	04	G
Ромбические с углом 80°	05	C
Пятигранные	10	P
Шестигранные	11	H
Круглые	12	R

### 1.4. Значения заднего угла пластин

Задний угол, °	Обозначение	
	Цифровое	Буквенное
0	1	N
7	2	C
11	3	P

Размеры пластин квадратной, шестигранной и круглой форм приведены в табл. 1.7 и 1.8.

Как уже отмечалось ранее (см. рис. 1.8), конструкции фрез достаточно разнообразны, однако большинство из них стандартизованы.

Ниже приведены наиболее распространенные конструкции фрез.

**Цилиндрические фрезы** имеют зубья (преимущественно остроконечной формы) только на цилиндрической поверхности (рис. 1.22). Основными параметрами фрез являются: диаметр  $D$ , ширина  $L$ , число зубьев  $z$ , диаметр отверстия  $d$  под оправку. Расположение зубьев только на цилиндрической поверхности определяет назначение этих инструментов – фрезерование плоскостей с шириной  $B < L$  (где  $B$  – ширина фрезерования).

Фрезы изготавливают цельными (из быстрорежущей стали) и со вставными ножами (зубьями) из быстрорежущей стали или твердого сплава. Из быстрорежущей стали выполняют инструменты с мелкими и крупными зубьями. Фрезы с крупными зубьями имеют увеличенное пространство для размещения стружки и повышенную прочность зуба, поэтому их целесообразно применять для предварительной обработки (табл. 1.9).



**1.5. Степень точности изготовления пластин**

Степень точности	Обозначение	
	Цифровое	Буквенное
Нормальная	1	U
Повышенная	2	M
Высокая	3	G
Особо высокая	4	C

**1.6. Конструктивные особенности пластин**

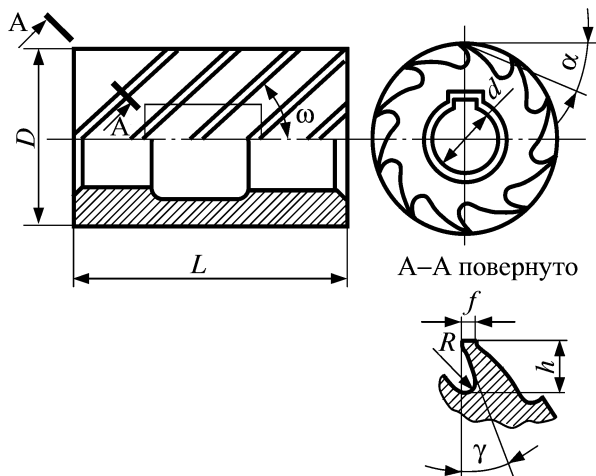
Конструктивные особенности	Обозначение	
	Цифровое	Буквенное
Без отверстия и канавки	1	N
С отверстием без канавки	3	A
С отверстием и канавкой с одной стороны	4	M

**1.7. Пластины квадратной формы, мм (см. рис. 1.21, а)**

$l$	$d$	$S$	$r_b$	$m$			
9,5	9,525	3,18	0,2	0,889			
			0,4	1,808			
			0,8	1,644			
			0,2	2,546			
			0,4	2,465			
12,7	12,7		0,8	2,301			
			1,2	2,137			
15,9	15,875		4,76	1,2	2,793		
				19,0	19,05	0,2	3,861
						1,0	3,452
		1,2		3,288			

**1.8. Размеры пластины шестигранной (ГОСТ 19068–80\*)  
и круглой формы (ГОСТ 19071–80\*), мм (см. рис. 1.21, в)**

$S$	$d$	$d_1$
<b>Шестигранные пластины</b>		
4,76	15,875	6,35
4,76	19,050	7,93
6,35	22,00	7,93
<b>Круглые пластины</b>		
3,18	9,525	3,81
3,18	12700	5,16
4,76	12,700	5,16
4,76	15,875	6,35
6,35	15,875	6,35
4,76	19,050	7,93
6,35	19,050	7,93
6,35	22,225	7,93
6,35	25,400	9,12
7,93	25,400	9,12



**Рис. 1.22. Фреза цилиндрическая**

### 1.9. Основные параметры цилиндрических быстрорежущих фрез по ОСТ 2И41–15–87

$D$ , мм	$d$ , мм	$L$ , мм	$z$	$D$ , мм	$d$ , мм	$L$ , мм	$z$
<b>С мелким зубом</b>				<b>С крупным зубом</b>			
50	22	40	12	50	22	40	6
		63				63	
		80				80	
63	27	50	14	63	27	50	8
		70				70	
80	32	63	16	80	32	63	10
		100				100	
100	40	70	18	100	40	70	12
		125				125	
125	50	125	20	125	50	200	14
160	60	160	24	160	60	250	18

Обозначения:  $D$  – диаметр фрезы;  $d$  – диаметр отверстия под оправку;  $L$  – ширина;  $z$  – число зубьев.

Фрезы диаметром до 80 мм изготавливают цельными, а диаметром более 80 мм – со вставными ножами.

Применяют также сборные цилиндрические фрезы с впаянными в корпус или закрепленными механически пластинами твердого сплава.

При работе цилиндрической фрезы все ее зубья должны принимать равномерное участие в резании. Если это условие не выполняется, то зубья изнашиваются неравномерно и стойкость фрезы уменьшается. Причиной биения зубьев обычно является некачественная заточка фрезы или неудовлетворительная ее установка на оправку. Установку и закрепление цилиндрических фрез на станке осуществляют с помощью оправок, диаметр которых должен соответствовать диаметру отверстия фрезы. Конусный хвостовик оправки должен соответствовать коническому отверстию переднего конца шпинделя станка.

Оправку 2 (рис. 1.23) конусным хвостовиком устанавливают в коническое отверстие шпинделя 13. Контактные поверхности оправки, шпинделя, колец 3 и фрезы 1 предварительно протирают чистой ветошью. Если на поверхностях элементов имеются повреждения (царапины, задиры, забоины и др.), их следует устранить с помощью мелкого абразивного бруска или заменить поврежденный элемент.

При установке оправки необходимо следить за тем, чтобы ее пазы 10 были совмещены с выступами или шпонками на торце шпинделя станка. Эти элемен-

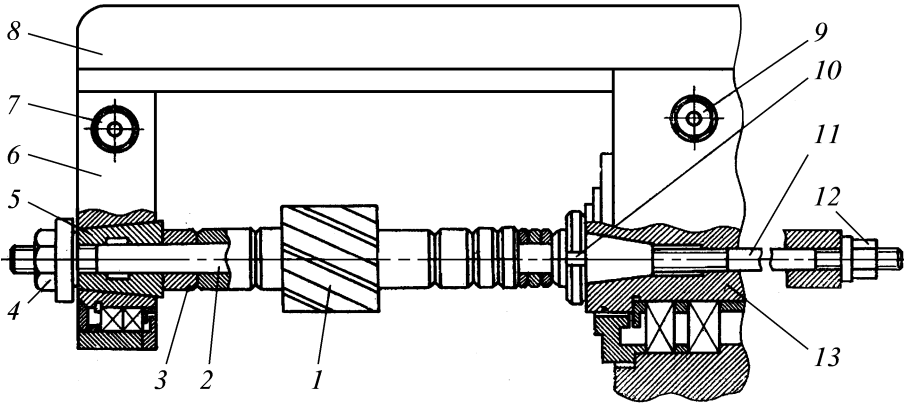


Рис. 1.23. Схема установки и крепления цилиндрической фрезы

ты обеспечивают передачу крутящего момента от шпинделя на оправку. В резьбовое отверстие оправки заворачивают до упора шомпол 11, после чего его крепят гайкой 12. Кольца 3 устанавливают на цилиндрическую часть оправки 2 с двух сторон фрезы, при этом диаметр отверстия кольца должен соответствовать диаметру оправки. Фрезу 1 размещают как можно ближе к шпинделю станка, чтобы уменьшить прогиб оправки в процессе фрезерования.

В шпоночном пазе цилиндрической части оправки располагают шпонку, которая при установке на оправку фрезы и колец совмещается с их шпоночными пазами. Конусная втулка 5 поддерживает цилиндрическую часть оправки. Она введена в серьгу 6 и закреплена на оправке гайкой 4. Серьгу надвигают на втулку и в этом положении крепят гайкой 7 на хоботе 8, закрепленном гайкой 9 на станине станка.

После установки фрезы на станке проверяют радиальное биение ее режущих кромок. Радиальное биение фрез диаметром до 100 мм не должно превышать 0,04 мм, до 125 мм – 0,05 мм; более 125 мм – 0,08 мм.

**Дисковые фрезы.** Основными параметрами дисковых фрез являются: наружный диаметр  $D$ , ширина  $B$ , число зубьев  $z$ , диаметр отверстия  $d$  под оправку (рис. 1.24 и рис. 1.25). Фрезы изготавливают цельными (из быстрорежущей стали), со вставными ножами из быстрорежущей стали и с пластинами из твердого сплава. По характеру расположения режущих зубьев различают дисковые фрезы: трехсторонние – с зубьями на обоих торцах и на цилиндрической части (рис. 1.25, а), двусторонние – с зубьями на цилиндрической части и на одном из торцов (рис. 1.25, б) и односторонние – с зубьями только на цилиндрической части (рис. 1.25, в).

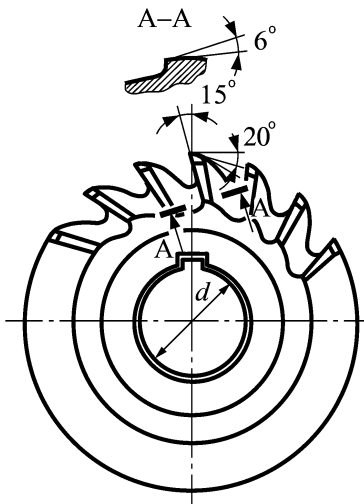


Рис. 1.24. Дисковая фреза

с зубьями на обоих торцах и на цилиндрической части (рис. 1.25, а), двусторонние – с зубьями на цилиндрической части и на одном из торцов (рис. 1.25, б) и односторонние – с зубьями только на цилиндрической части (рис. 1.25, в).

Трехсторонние дисковые фрезы применяют при обработке глубоких пазов. Дисковые трехсторонние фрезы из быстрорежущей стали с прямыми и разнонаправленными зубьями диаметром от 50 до 200 мм предназначены для обработки пазов общего назначения и шпоночных пазов с предельными отклонениями по Н9, Р9, Н9 в изделиях из конструкционных сталей и чугунов.

Фрезы изготовляют типов: 1 – с прямыми зубьями; 2 – с разнонаправленными зубьями исполнений: с мелким зубом; с нормальным зубом.

Фрезы с разнонаправленными зубьями более сложны в изготовлении, однако обеспечивают высокую производительность труда за счет хорошего удаления стружки из зоны резания. Основные размеры фрез типа 1 приведены в табл. 1.10. Одним из недостатков дисковых трехсторонних фрез является уменьшение размера  $B$  по мере переточек. Использование составных дисковых фрез исключает этот недостаток.

Дисковые трехсторонние фрезы с наружным диаметром от 80 до 315 мм и шириной 12...50 мм выпускаются также со вставными ножами из быстрорежущей стали или с пластинами из твердого сплава. Вставные ножи закрепляют в корпусе клиньями, что позволяет регулировать размер  $B$  фрезы.

*Односторонние дисковые фрезы* – прямозубые. Для уменьшения трения инструмента о стенки обрабатываемого паза торцовые поверхности этих фрез шлифуют, обеспечивая угол поднутрения, равный 30'. Фрезы диаметром от 50 до 100 мм и шириной от 3 до 16 мм выпускаются с остrokонечными (ГОСТ 3964–69\*) и затyлованными (ГОСТ 8541–94\*) зубьями.

**Отрезные и прорезные дисковые фрезы** характеризуются прежде всего малой толщиной (шириной)  $B$ . Эти фрезы предназначены для работы в трудных условиях, обусловленных сложностью размещения стружки во впадине зуба. Зубья у этого инструмента расположены только на цилиндрической части. Фрезы предназначены для прорезки прямых шлицев, пазов и отрезных работ в изделиях из стали и черных металлов.

Основные размеры отрезных дисковых фрез приведены на рис. 1.26 и в табл. 1.11.

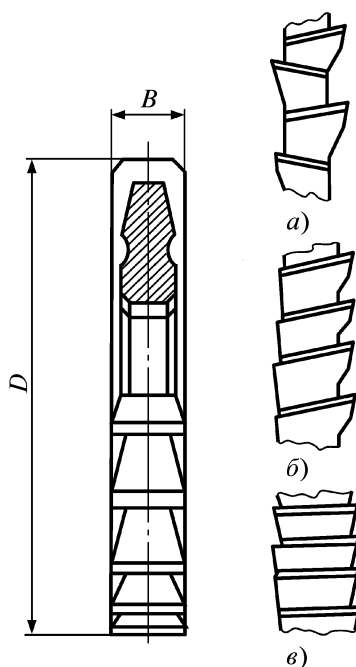


Рис. 1.25. Схемы расположения зубьев дисковых фрез

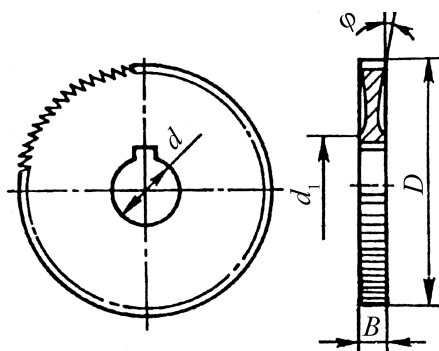


Рис. 1.26. Отрезная фреза

### 1.10. Основные параметры трехсторонних дисковых фрез типа 1 (ГОСТ 28527–90)

$D$ , мм	$d$ , мм	$B$ , мм	$z$
50	16	4; 5; 6; 7; 8; 10	14
63	22	4; 5; 6; 7; 8; 10; 12; 14	16
80	27	5; 6; 7; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20	18
100	32	6; 7; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25	20
125	32	8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28	22
160	40	10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 32	24
200	40	12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 32; 36; 40	26

Обозначения:  $D$  – диаметр фрезы;  $d$  – диаметр отверстия под оправку;  $B$  – ширина;  $z$  – число зубьев.

Фрезы изготавливают трех типов: 1 – фрезы с мелким зубом; 2 – фрезы со средним зубом; 3 – фрезы с крупным зубом.

Дисковые фрезы устанавливают и закрепляют на станке так же, как и цилиндрические.

**Торцовые фрезы** применяются для скоростного фрезерования плоскостей. Фреза (рис. 1.27, а) состоит из корпуса, по краям которого размещены резцы с достаточно сложной геометрией заточки. Большинство конструкций торцовых фрез выполнено со вставными ножами.

**1.11. Основные параметры отрезных и прорезных быстрорежущих фрез по ГОСТ 2679–93 (ИСО 2296–72)**

Размеры, мм

<i>D</i>	<i>B</i>	<i>d</i>	<i>d</i> <sub>1</sub> не менее	Число зубьев для фрез типа			Шаг для фрез типа		
				1	2	3	1	2	3
20	0,20	5	10	80	—	—	0,80	—	—
	0,25			64			1,00		
	0,30								
	0,40								
	0,50			48			1,25		
	0,60								
	0,80			40			1,60		
	1,00								
	1,20								
	1,40*								
	1,60								
	2,00			32			2,00		
	2,50								
25	0,20	8	12	80	—	—	1,00	—	—
	0,25			64			1,25		
	0,30								
	0,40								
	0,50			48			1,60		
	0,60								
	0,80			48			1,60		
	1,00								
	1,20								
	1,40*			40			2,00		
	1,60								
	2,00								
	2,50								
	2,80*			32			2,50		
3,00*									



Продолжение табл. 1.11

D	B	d	d <sub>1</sub> не менее	Число зубьев для фрез типа			Шаг для фрез типа		
				1	2	3	1	2	3
32	0,20	8	14	100	—	—	1,00	—	—
	0,25				—			—	
	0,30			80	40		1,25	2,5	
	0,40								
	0,50			64	32		1,60	3,2	
	0,60								
	0,80			48	24		2,00	4,0	
	1,00				—			—	
	1,40*				—			—	
	1,60				24			4,0	
	2,00			40	20		2,50	5,0	
	2,50				—			—	
	2,80*				20			5,0	
	3,00				—			—	
	4,00*			—	—		—	—	
	40			0,20	10		18	128	
0,25		—	—						
0,30		100	48	1,25		2,5			
0,40									
0,50		80	40	1,60		3,2			
0,60									
0,80		64	32	2,00		4,0			
1,00			—			—			
1,40*			—			—			
1,60			32			4,0			
2,00		48	24	2,50		5,0			
2,50			—			—			
2,80*			—			—			
3,00			24			5,0			
4,00		40	20	3,20		6,3			
5,00*			—			—			



Продолжение табл. 1.11

D	B	d	d <sub>1</sub> не менее	Число зубьев для фрез типа			Шаг для фрез типа					
				1	2	3	1	2	3			
50	0,25	13	25	128	—	—	1,25	—	—			
	0,30				64			2,5				
	0,40			100	48	—	1,60	3,2	—			
	0,50											
	0,60			80	40	20	2,00	4,0	8,0			
	0,80											
	1,00			64	32	16	2,50	5,0	10			
	1,20											
	1,40*			48	24	—	3,20	6,3	—			
	1,60											
	2,00			40	—	—	4,00	—	—			
	2,50											
	2,80*			63	16	32	128	64	—	1,60	3,2	—
	3,00											
	4,00			100	48	24	2,00	4,0	8,0			
5,00												
6,00*	80	40	20	2,50	5,0	10,0						
0,30												
0,40	64	32	16	—	—	—						
0,50												
0,60	80	40	20	2,50	5,0	10,0						
0,80												
1,00	48	24	—	3,20	6,3	—						
1,20												
1,40*	40	—	—	4,00	—	—						
1,60												
2,00	64	32	16	—	—	—						
2,50												
2,80*	48	24	—	4,00	8,0	—						
3,00												
4,00	63	16	32	128	64	—	1,60	3,2	—			
5,00												
6,00	100	48	24	2,00	4,0	8,0						
0,30												
0,40	80	40	20	2,50	5,0	10,0						
0,50												
0,60	48	24	—	3,20	6,3	—						
0,80												
1,00	40	—	—	4,00	—	—						
1,20												
1,40*	64	32	16	—	—	—						
1,60												
2,00	48	24	—	4,00	8,0	—						
2,50												
2,80*	63	16	32	128	64	—	1,60	3,2	—			
3,00												
4,00	100	48	24	2,00	4,0	8,0						
5,00												
6,00	80	40	20	2,50	5,0	10,0						
0,30												
0,40	64	32	16	—	—	—						
0,50												
0,60	80	40	20	2,50	5,0	10,0						
0,80												
1,00	48	24	—	3,20	6,3	—						
1,20												
1,40*	40	—	—	4,00	—	—						
1,60												
2,00	64	32	16	—	—	—						
2,50												
2,80*	48	24	—	4,00	8,0	—						
3,00												
4,00	63	16	32	128	64	—	1,60	3,2	—			
5,00												
6,00	100	48	24	2,00	4,0	8,0						
0,30												
0,40	80	40	20	2,50	5,0	10,0						
0,50												
0,60	48	24	—	3,20	6,3	—						
0,80												
1,00	40	—	—	4,00	—	—						
1,20												
1,40*	64	32	16	—	—	—						
1,60												
2,00	48	24	—	4,00	8,0	—						
2,50												
2,80*	63	16	32	128	64	—	1,60	3,2	—			
3,00												
4,00	100	48	24	2,00	4,0	8,0						
5,00												
6,00	80	40	20	2,50	5,0	10,0						
0,30												
0,40	64	32	16	—	—	—						
0,50												
0,60	80	40	20	2,50	5,0	10,0						
0,80												
1,00	48	24	—	3,20	6,3	—						
1,20												
1,40*	40	—	—	4,00	—	—						
1,60												
2,00	64	32	16	—	—	—						
2,50												
2,80*	48	24	—	4,00	8,0	—						
3,00												
4,00	63	16	32	128	64	—	1,60	3,2	—			
5,00												
6,00	100	48	24	2,00	4,0	8,0						
0,30												
0,40	80	40	20	2,50	5,0	10,0						
0,50												
0,60	48	24	—	3,20	6,3	—						
0,80												
1,00	40	—	—	4,00	—	—						
1,20												
1,40*	64	32	16	—	—	—						
1,60												
2,00	48	24	—	4,00	8,0	—						
2,50												
2,80*	63	16	32	128	64	—	1,60	3,2	—			
3,00												
4,00	100	48	24	2,00	4,0	8,0						
5,00												
6,00	80	40	20	2,50	5,0	10,0						
0,30												
0,40	64	32	16	—	—	—						
0,50												
0,60	80	40	20	2,50	5,0	10,0						
0,80												
1,00	48	24	—	3,20	6,3	—						
1,20												
1,40*	40	—	—	4,00	—	—						
1,60												
2,00	64	32	16	—	—	—						
2,50												
2,80*	48	24	—	4,00	8,0	—						
3,00												
4,00	63	16	32	128	64	—	1,60	3,2	—			
5,00												
6,00	100	48	24	2,00	4,0	8,0						
0,30												
0,40	80	40	20	2,50	5,0	10,0						
0,50												
0,60	48	24	—	3,20	6,3	—						
0,80												
1,00	40	—	—	4,00	—	—						
1,20												
1,40*	64	32	16	—	—	—						
1,60												
2,00	48	24	—	4,00	8,0	—						
2,50												
2,80*	63	16	32	128	64	—	1,60	3,2	—			
3,00												
4,00	100	48	24	2,00	4,0	8,0						
5,00												
6,00	80	40	20	2,50	5,0	10,0						
0,30												
0,40	64	32	16	—	—	—						
0,50												
0,60	80	40	20	2,50	5,0	10,0						
0,80												
1,00	48	24	—	3,20	6,3	—						
1,20												
1,40*	40	—	—	4,00	—	—						
1,60												
2,00	64	32	16	—	—	—						
2,50												
2,80*	48	24	—	4,00	8,0	—						
3,00												
4,00	63	16	32	128	64	—	1,60	3,2	—			
5,00												
6,00	100	48	24	2,00	4,0	8,0						
0,30												
0,40	80	40	20	2,50	5,0	10,0						
0,50												
0,60	48	24	—	3,20	6,3	—						
0,80												
1,00	40	—	—	4,00	—	—						
1,20												
1,40*	64	32	16	—	—	—						
1,60												
2,00	48	24	—	4,00	8,0	—						
2,50												
2,80*	63	16	32	128	64	—	1,60	3,2	—			
3,00												
4,00	100	48	24	2,00	4,0	8,0						
5,00												
6,00	80	40	20	2,50	5,0	10,0						
0,30												
0,40	64	32	16	—	—	—						
0,50												
0,60	80	40	20	2,50	5,0	10,0						
0,80												
1,00	48	24	—	3,20	6,3	—						
1,20												
1,40*	40	—	—	4,00	—	—						
1,60												
2,00	64	32	16	—	—	—						
2,50												
2,80*	48	24	—	4,00	8,0	—						
3,00												
4,00	63	16	32	128	64	—	1,60	3,2	—			
5,00												
6,00	100	48	24	2,00	4,0	8,0						
0,30												
0,40	80	40	20	2,50	5,0	10,0						
0,50												
0,60	48	24	—	3,20	6,3	—						
0,80												
1,00	40	—	—	4,00	—	—						
1,20												
1,40*	64	32	16	—	—	—						
1,60												
2,00	48	24	—	4,00	8,0	—						
2,50												
2,80*	63	16	32	128	64	—	1,60	3,2	—			
3,00												
4,00	100	48	24	2,00	4,0	8,0						
5,00												
6,00	80	40	20	2,50	5,0	10,0						
0,30												
0,40	64	32	16	—	—	—						
0,50												
0,60	80	40	20	2,50	5,0	10,0						
0,80												
1,00	48	24	—	3,20	6,3	—						
1,20												
1,40*	40	—	—	4,00	—	—						
1,60												
2,00	64	32	16	—	—	—						
2,50												
2,80*	48	24	—	4,00	8,0	—						
3,00												
4,00	63	16	32	128	64	—	1,60	3,2	—			
5,00												
6,00	100	48	24	2,00	4,0	8,0						
0,30												
0,40	80	40	20	2,50	5,0	10,0						
0,50												
0,60	48											

Продолжение табл. 1.11

D	B	d	d <sub>1</sub> не менее	Число зубьев для фрез типа			Шаг для фрез типа		
				1	2	3	1	2	3
80	0,50	22	34	128	—	—	2,00	—	—
	0,60				64			4,0	
	0,80								
	1,00			100	48	2,50	5,0	24	10,0
								20	12,5
	1,20							24	10,0
								18	14,0
	1,40*							—	—
								24	10,0
	1,60							18	14,0
	2,00			80	40	3,20	6,3	20	12,5
								16	16,0
	2,50							20	15,5
								16	16,0
2,80*	—	—							
	20	12,5							
3,00		14	18,0						
3,50*	—	—	—	—					
4,00	64	32	—	4,00	8,0	—			
5,00									
6,00									
100	0,50*	22	34	160	—	2,00	—		
	0,60								
	0,80								
	1,00			128	64	2,50	5,0	32	10,0
								22	14,0
	1,20							32	10,0
								20	16,0
	1,40*			—	—	—			
	1,60			100	48	3,20	6,3	24	12,5
								20	16,0
	2,00							24	12,5
								18	17,0
	2,50							24	12,5
	18	17,0							
2,80*	—	—	—						
3,00	80	40	—	4,00	8,0	20	16,0		
						16	20,0		
3,50*	—	—	—	—	—	—			

Продолжение табл. 1.11

D	B	d	d <sub>1</sub> не менее	Число зубьев для фрез типа			Шаг для фрез типа																	
				1	2	3	1	2	3															
100	4,00	22	34	80	40	-	4,00	8,0	-															
	5,00																							
	6,00																							
125	8,00	22	34	160	-	-	2,50	-	-															
	1,00																							
	1,20																							
	1,40*																							
	1,60									128	64	32	3,20	6,3	12,5									
	2,00																							
	2,50																							
	2,80*																							
	3,00									100	48	24	4,00	8,0	16,0									
	3,50*																							
	4,00																							
	5,00																							
	6,00																							
	6,00																							
	160									1,20	32	47	160	80	-	3,20	6,3	12,5						
										1,40*														
										1,60									128	64	40	4,00	8,0	20,0
										2,00														
2,50		128	64	32	4,00	8,0	16,0																	
2,80*																								
3,00																								
3,50																								
4,00		100	48	24	5,00	10,0	20,0																	
4,50																								
5,00		100	48	24	-	10,0	26,0																	
5,00																								

Продолжение табл. 1.11

D	B	d	d <sub>1</sub> не менее	Число зубьев для фрез типа			Шаг для фрез типа		
				1	2	3	1	2	3
160	5,50	32	47	—	48	—	—	10,0	—
	6,00			100			5,00		
200	1,60	32	64	160	80	—	4,00	8,0	—
	2,00					40			16,0
	2,50					26			24,0
						40			16,0
	2,80*			26	24,0				
	3,00			—	—	5,00	10,0	20,0	
				128	32			28,0	
	3,50*			—	—	32	20,0		
				—	22	—	28,0		
	4,00			128	64	32	5,00	10,0	20,0
				—		22			28,0
	4,50*			—	64	32	—	10,0	20,0
				—		22			28,0
	5,00			128	64	32	5,00	10,0	20,0
—		20	28,0						
5,50*	—	64	—	6,30	12,5	—			
6,00	100		48			—			
250	2,00	32	63	160	80	200	5,00	10,0	—
	2,50					40			20,0
						28			28,0
	2,80*					—			—
	3,00			40	20,0				
				26	30,0				
	3,50*			—	80	40	6,30	12,5	20,0
				—		26			30,0
	4,00			160	80	40	—	12,5	20,0
				—		26			30,0
	4,50*			—	80	40	6,30	12,5	20,0
—		26	30,0						
5,00	128	64	32	—	12,5	25,0			
	—		22			36,0			
5,50*	—	64	32	6,30	12,5	25,0			
6,00	128		—			—			

Окончание табл. 1.11

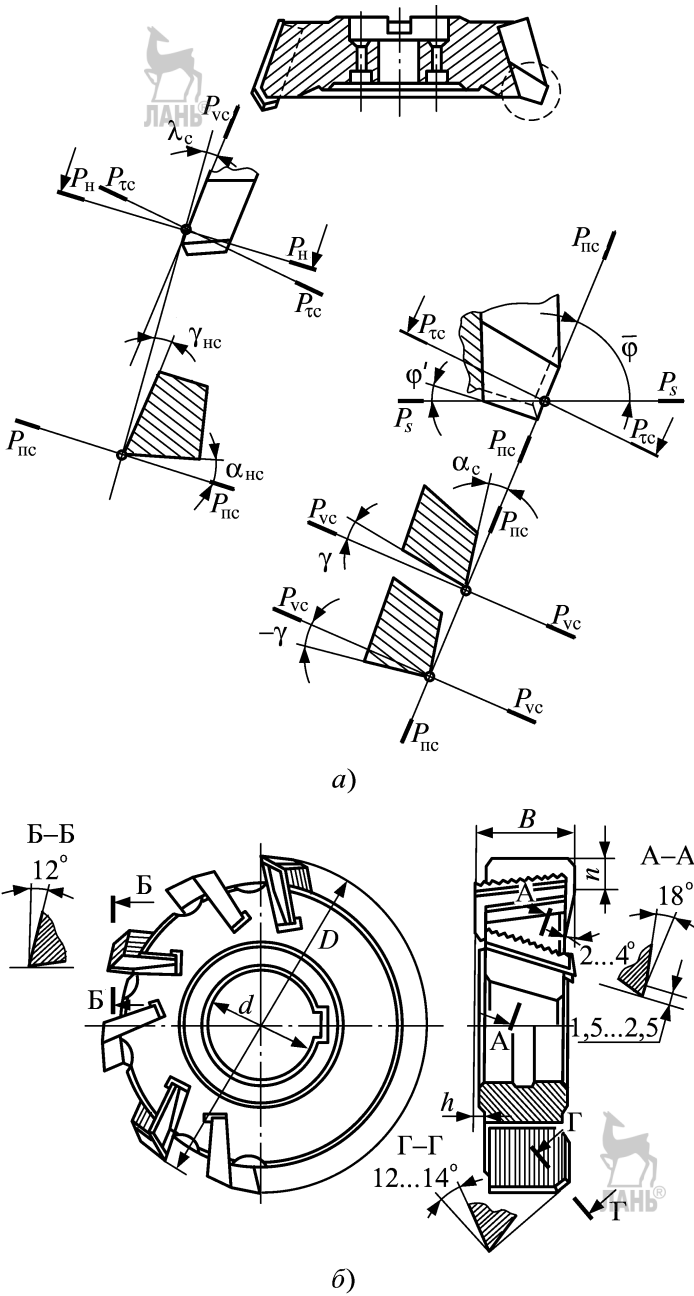
D	B	d	d <sub>1</sub> не менее	Число зубьев для фрез типа			Шаг для фрез типа			
				1	2	3	1	2	3	
315	2,50	40	80	200	100	48	5,00	10,0	20,0	
	2,80*					–			–	
	3,00					48			20,0	
	3,50*			–	–	–	–	–	–	–
	4,00			160	80	40	6,30	12,5	25,0	
	4,50*			–		–			–	
	5,00			160		40			6,30	25,0
	5,50*			–	–	–				
	6,00			160	40	6,30				

\* Размеры, отсутствующие в ИСО 2296–72.

В типовой конструкции (рис. 1.27, б) крепление рифленых ножей осуществлено клиновым соединением.

Торцовые фрезы по сравнению с цилиндрическими обладают рядом преимуществ. У них одновременно работает большее число зубьев, благодаря чему резание происходит с меньшими вибрациями. Зуб торцовой фрезы также имеет значительно меньшую длину главной режущей кромки, что уменьшает образование сколов и выкрашиваний. При работе торцовой фрезой обрабатываемая поверхность формируется не главной режущей кромкой фрезы, а малыми участками переходной кромки, чем обеспечивается лучшее качество поверхности. Применение торцовых фрез позволяет добиваться высокой производительности труда при рациональном расходе инструментального материала.

В зависимости от характера расположения зубьев фрезерование можно осуществлять методом деления толщины срезаемого слоя или деления его ширины. При первом методе вершины зубьев фрезы (рис. 1.28, а) расположены в одной плоскости и на одинаковом радиусе, и каждый зуб последовательно срезает металл равного сечения. При втором методе вершины зубьев фрезы (рис. 1.28, б) расположены не только на разной высоте, но и на разных радиусах. Такие фрезы называют *торцовыми со ступенчатым расположением зубьев*. Наиболее удаленный от оси фрезы зуб срезает верхний слой металла заготовки ( $B_3$ , рис. 1.28, б), а расположенный ближе – ее нижний слой ( $B_1$ ). Фрезы со ступенчатым расположением зубьев более экономичны, чем фрезы с равномерно размещенными зубьями, однако из-за сложности заточки они не находят широкого распространения.



**Рис. 1.27. Торцовая фреза:**

*a* – геометрические параметры в статической системе координат;  
*б* – конструкция со вставными рифлеными ножами

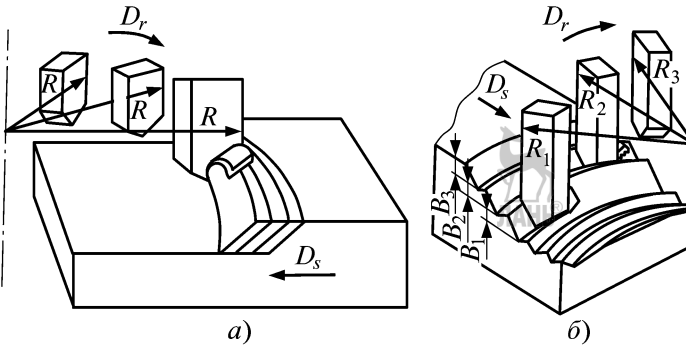


Рис. 1.28. Схемы расположения зубьев у торцовых фрез

Торцовые фрезы изготавливаются со вставными зубьями, крепление которых осуществляют различными способами. Надежное крепление зубьев обеспечивается, например, посредством клинового соединения (рис. 1.29).

В корпусе 1 фрезы предусмотрены пазы, одна сторона которых выполнена под углом 4...6°. Зуб 2 фрезы, изготовленный как резец с напайной пластиной, устанавливают в паз и планкой 3 (одна сторона планки имеет скос) плотно прижимают к корпусу винтами 4. Для регулирования положения зубьев по высоте предусмотрен винт 5. Фрезы такой конструкции обычно затачивают в собранном виде. Однако наличие винтов 5 и 6 позволяет осуществлять и отдельную заточку ножей с последующей сборкой и их регулировкой.

В ряде конструкций торцовых фрез используют неперетачиваемые пластины. У торцовой фрезы с круглыми пластинами в корпусе 1 имеются канавки, профиль которых по форме и размерам соответствует пластинам 2 (рис. 1.30, а). Пластина отверстием установлена на штифте державки 3, которая винтом 4 поджимает пластину к корпусу. При поломке пластины державка под воздействием пружины 5 перемещается вверх, предохраняя фрезу от поломки и сигнализируя о необходимости прекращения обработки. По мере износа пластины открепляют и поворачивают, а после износа всей режущей кромки заменяют новыми.

Торцовая фреза с механическим креплением пятигранных пластин (см. рис. 1.30, б) по конструкции аналогична рассмотренной выше. Отличие состоит в том, что резание осуществляется здесь двумя гранями пластин, образующих углы  $\phi$  и  $\phi_1$ . Замену изношенных пластин достаточно просто выполнять непосредственно на станке. Для замены пластины или поворота ее на одну грань отворачивают на нес-

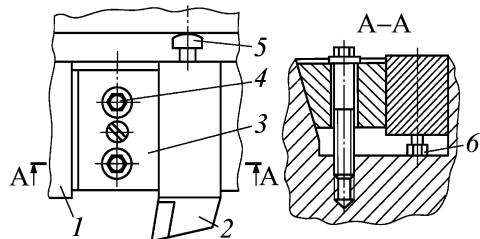
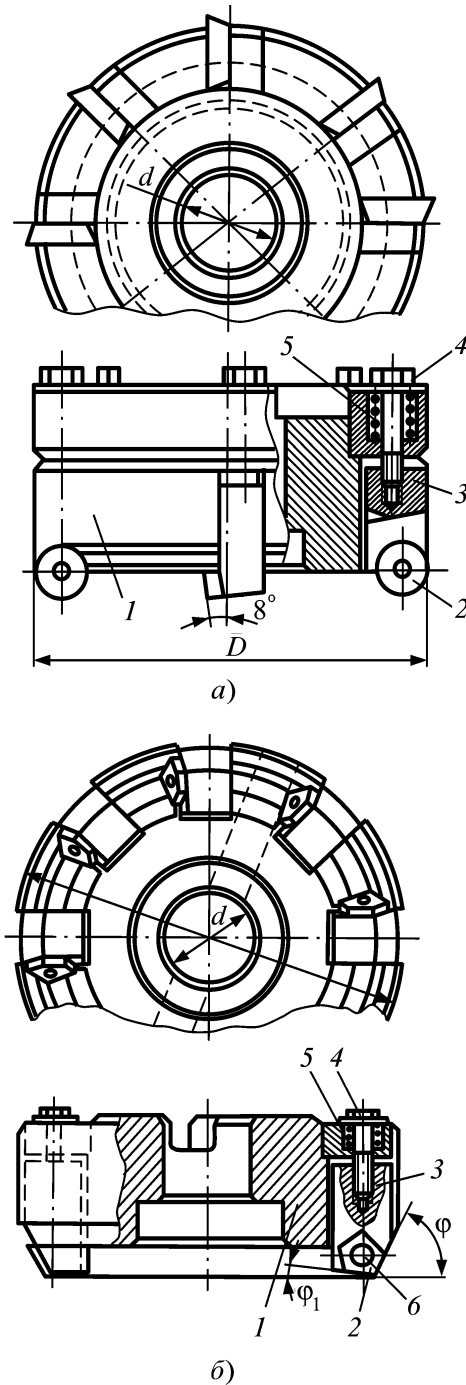


Рис. 1.29. Клиновое крепление зубьев торцовой фрезы



**Рис. 1.30. Торцевые фрезы:**  
*a* – с круглыми пластинами;  
*б* – с пятигранными

колко оборотов винт 4. Одной рукой нажимают на винт, сжимая пружину 5, и опускают вниз державку 3 со штифтом 6. При таком положении державки другой рукой снимают пластину или поворачивают ее другими гранями. Крепление установленной пластины осуществляют обратным поворотом болта 4. Комплект из 10...12 пластин можно заменить за 5...6 мин.

Большинство конструкций торцевых фрез стандартизовано. Основные размеры элементов торцевых насадных фрез по ГОСТ 24359–80 в ред. 1991 г. приведены в табл. 1.11а. Установка и закрепление торцевых фрез на станке зависят от их конструкции. Торцевые фрезы с центральным отверстием (цилиндрическим или коническим) устанавливают на оправку. Базовый торец фрезы 3 (рис. 1.31, *a*) должен плотно прилетать к торцу оправки, а ее выступ Б совмещаться с пазом фрезы. Оправку коническим хвостовиком помещают в коническое отверстие шпинделя и закрепляют шомполом 1 и гайкой 2. Выступы шпонок А шпинделя необходимо совместить с пазами оправки.

Торцевые фрезы, у которых хвостовая часть и корпус составляют единое целое, закрепляют в коническом отверстии шпинделя станка шомполом 1 и гайкой 2 (рис. 1.31, *б*). Фрезы с центральным отверстием базируют непосредственно на торец и цилиндрическую поверхность шпинделя (рис. 1.31, *в*) и затем закрепляют четырьмя винтами. Выступы шпонок шпинделя должны быть совмещены с пазами фрез, а сопрягаемые торцевые поверхности шпинделя и инструмента плотно прилегать друг к другу.



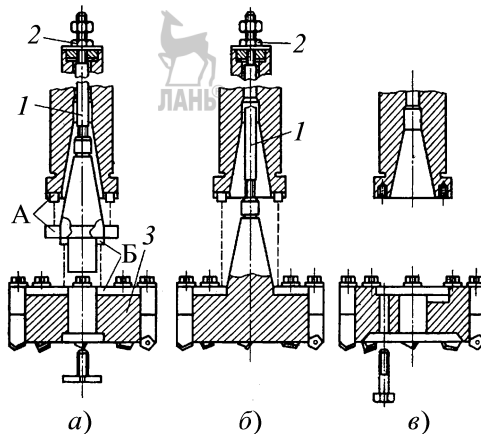
**1.11а. Основные размеры элементов торцовых насадных фрез**

Диаметр фрезы $D$ , мм	Число зубьев $z$	Вылет ножа $l$ , мм	Ширина фрезы $B$ , мм	Угол в плане $\varphi$ , °	Передний угол $\gamma$ , °	Угол наклона режущей кромки $\lambda$ , °
100	8	10	50	45	3	9
125	8	12	55			
160	10	12	60	60	5	8
200	12	12	60			
250	14	15	75	75	7	7
315	18	15	75			
400	20	17	85	90	8	5
500	26	17	85			
630	30	17	85			

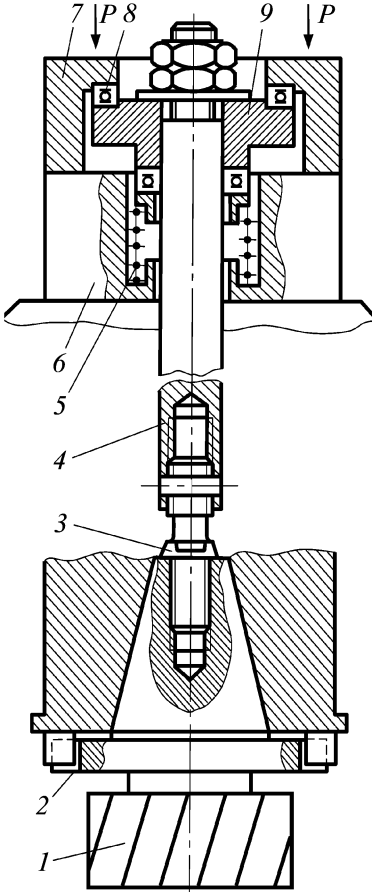
Закрепление фрез шомполами и гайкой требует определенного времени. Разработаны устройства, позволяющие механизировать и ускорить этот процесс.

Устройство, показанное на рис. 1.32, обеспечивает крепление оправки 2 с фрезой 1 через шомпол 4 блоком тарельчатых пружин 5, установленных в корпусе 6.

Для снятия фрезы от специального силового механизма (на рисунке не показан) смещают вниз чашку 7, прикладывая к ней определенную силу  $P$ . Чашка



**Рис. 1.31. Схемы установки и крепления торцовых фрез**

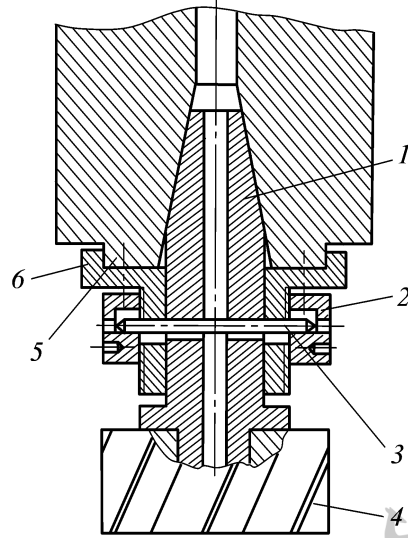


**Рис. 1.32. Схема устройства для механизированного крепления фрез**

через упорный подшипник 8 и фланец 9 сжимает тарельчатые пружины 5, что позволяет опуститься вниз шомполу 4 с инструментом. Оправку свинчивают с переходника 3, а новую оправку с фрезой навинчивают на переходник. При этом необходимо следить за тем, чтобы пазы во фланце хвостовика инструмента совпадали с выступами шпонок на торце шпинделя. После этого снимают давление силового механизма с чашки 7, и тяга под воздействием тарельчатых пружин перемещается вверх, затягивая фрезу в коническое отверстие шпинделя. Количество и размер тарельчатых пружин подбирают так, чтобы сила закрепления фрезы была не менее 8 кН.

Для крепления фрез рассмотренным способом используют различные силовые механизмы: пневматические, гидравлические, электрические, магнитные и др. Механизм устанавливают и закрепляют на верхнем торце шпиндельной бабки станка.

Закрепление фрезы с помощью штифта показано на рис. 1.33. Оправку с фрезой устанавливают в коническое отверстие шпинделя 5. Через отверстия втулки 6 и оправки 1 пропускают штифт 3. Поворачивая специальным ключом кольцо 2, оправку с фрезой через штифт перемещают вверх, что и обеспечивает ее закрепление. При откреплении инструмента кольцо отворачивают и, удалив штифт, вынимают оправку.



**Рис. 1.33. Схема крепления фрезы с помощью штифта**



**Концевая фреза** состоит из рабочей части (рис. 1.34, а), шейки и хвостовика. Основными параметрами концевых фрез являются: диаметр  $d$ , длина рабочей части  $l$  и число зубьев  $z$ . Зубья некоторых концевых фрез имеют три режущие кромки: главную 1, расположенную на цилиндрической поверхности, вспомогательную 2, на торцевой поверхности и переходную 3. Некоторые концевые фрезы зубьев на торце не имеют.

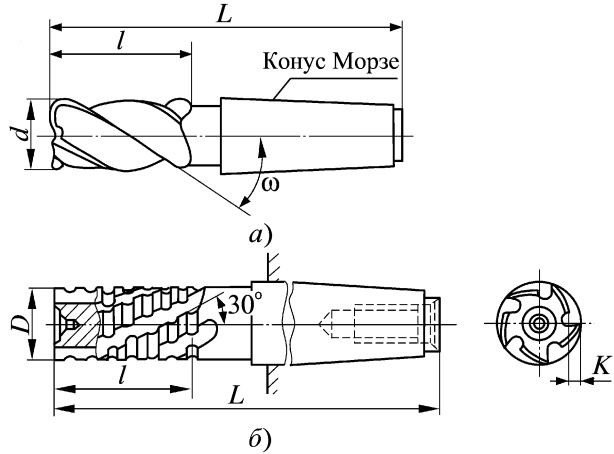


Рис. 1.34. Концевые фрезы

Угол наклона концевых фрез  $\omega$  равен углу между проекцией главной режущей кромки (цилиндрической части фрезы) на основную плоскость и осью фрезы. Различают правое и левое направления угла наклона винтовых зубьев. Данный параметр фрезы оказывает влияние на изменение направления схода стружки, величину и направление осевой силы, равномерность фрезерования, значения переднего и заднего углов.

Материал режущей части фрез – быстрорежущая сталь или твердый сплав. Назначение фрез – обработка плоскостей, пазов, уступов, поверхностей по контуру и т.п.

Концевые фрезы изготавливают праворежущими с правой и леворежущими с левой винтовыми канавками, а также праворежущие с левой и леворежущие с правой винтовыми канавками.

Концевые фрезы выпускаются двух типов: 1 – с нормальными и 2 – с крупными зубьями, с цилиндрическими и коническими хвостовиками. Фрезы каждого типа изготавливают в двух исполнениях: А – с цилиндрической ленточкой; Б – заточенные наостро. Большинство концевых фрез стандартизировано. Параметры фрез с коническими хвостовиками даны в табл. 1.12.

Для улучшения условий работы у некоторых концевых фрез угол между зубьями  $\phi$  выполняется неравномерным. Концевые фрезы с неравномерным окружным шагом, измененным профилем стружечной канавки и увеличенным углом наклона винтовых зубьев обеспечивают повышение производительности труда и улучшение качества обработанной поверхности.

Для предварительного фрезерования применяют обдирочные концевые фрезы с затылованными зубьями на цилиндрической части. На зубьях (см. рис. 1.34, б) выполнены стружкоразделительные канавки. Благодаря хорошему разделению стружки и отводу ее из зоны резания эти фрезы позволяют работать с увеличенными подачами.



**1.12. Параметры концевых фрез с коническими хвостовиками  
(тип 1 с нормальными зубьями) по ГОСТ 17026–71  
в ред. 1996 г. (рис. 1.34)**

$d$ , мм	$l$ , мм	$L$ , мм	Конус Морзе	$z$
10	22	92	1	4
11	22	92	1	4
12	26	96	1	4
12	26	111	2	4
14	26	96	1	4
14	26	111	2	4
16	32	117	2	4
18	32	117	2	4
20	38	123	2	5
20	38	140	3	5
22	38	123	2	5
22	38	140	3	5
25	45	147	3	5
28	45	147	3	5
28	45	170	4	5
32	53	155	3	6
32	53	178	4	6
36	53	155	3	6
36	53	178	4	6
40	63	188	4	6
40	63	221	5	6
45	63	188	4	6
45	63	221	5	6
50	75	200	4	6
50	75	233	5	6
56	75	200	4	8
56	75	233	5	8
63	90	248	5	8

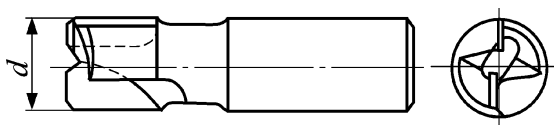


Рис. 1.35. Шпоночная фреза

**Шпоночные фрезы** (рис. 1.35) имеют два винтовых зуба на цилиндрической части и два торцовых. Эти инструменты применяют для фрезерования пазов под шпонки. При подаче вдоль оси фрезы резание осуществляется торцовыми зубьями, а перпендикулярно оси фрезы – цилиндрическими. Режущую часть фрез выполняют или из быстрорежущей стали или из твердого сплава. Шпоночные фрезы также стандартизованы.

**Схема крепления концевых фрез** зависит от формы хвостовой части.

Концевые фрезы с коническим хвостовиком крепят в коническом отверстии шпинделя непосредственно или через переходные втулки, используя шомпол.

Фрезы с цилиндрическим хвостовиком обычно закрепляют в цанговых патронах. Патрон (рис. 1.36) хвостовиком 1 устанавливают в коническом отверстии шпинделя станка и закрепляют шомполом 2. Крепление фрезы 5 в цанге 4 осуществляется при вращении гайки 3, торец которой воздействует на цангу.

**Твердосплавные борфрезы** цельные и с припаянными хвостовиками предназначены для обработки труднообрабатываемых материалов, в том числе для обработки сложных криволинейных поверхностей, зачистки швов сварных соединений и других работ.

Борфрезы следует изготавливать следующих типов:

А – цилиндрические; С – сфероцилиндрические; D – сферические; E – овалы; F – сфероконические; D – сфероконические с заостренным концом; H – пламевидные; J – конические с конусностью 60°; K – конические с конусностью 90°; L – конические с закругленным концом; M – конические с заостренным концом; N – конические в форме обратного конуса.

Обозначение борфрезы включает шесть символов (шестой символ является факультативным);

1 – тип борфрезы;

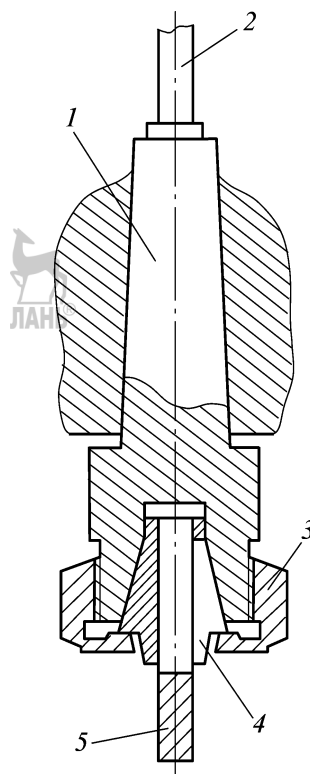


Рис. 1.36. Схема крепления концевой фрезы в цанговом патроне

- 2 – диаметр борфрезы;
- 3 – длина режущей части;
- 4 – тип зуба;
- 5 – диаметр хвостовика;
- 6 – длина хвостовика.

Цифровые символы диаметров борфрезы и хвостовика борфрезы обозначают величину этих диаметров. Если диаметры борфрезы и хвостовика борфрезы обозначены одной цифрой, то в символе перед ней ставят 0 (ноль).

**Примеры:**

1. Диаметр фрезы 6 мм – символ 06;
2. Диаметр фрезы 12 мм – символ 12.
3. Диаметр хвостовика 3 мм – символ 03.

Цифровые символы длины режущей части борфрезы и длины хвостовика обозначают без учета числа после запятой. Если длина режущей части обозначена только одной цифрой, в символе перед ней ставят 0 (ноль).

**Примеры:**

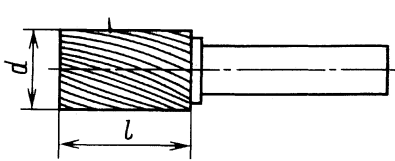
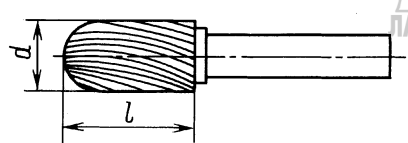
1. Длина режущей части 5,2 мм – символ 05;
2. Длина режущей части 10 мм – символ 10.

*Символ типа зуба:*

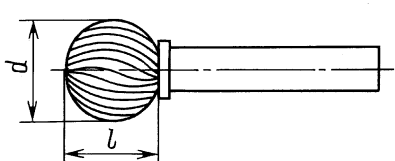
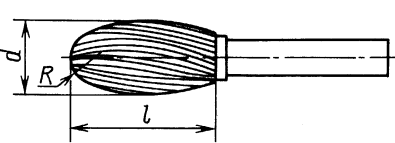
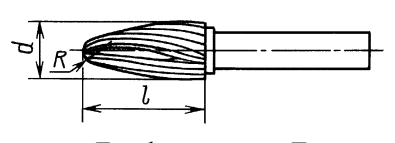
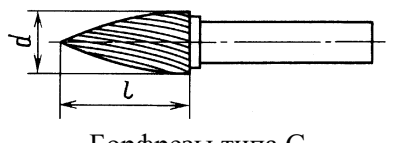
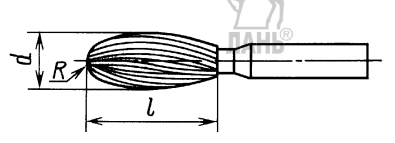
F – мелкий зуб; M – средний зуб; C – крупный зуб.

*Основные размеры борфрез должны соответствовать указанным в табл. 1.12а.*

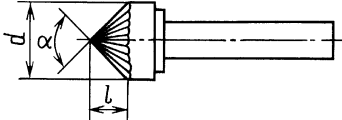
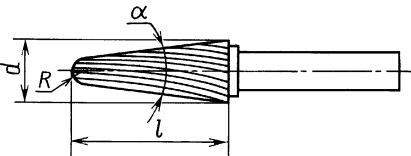
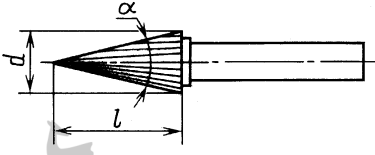
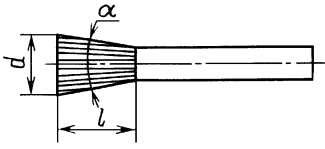
**1.12а. Основные размеры борфрез по ГОСТ Р 52780–2007**

Размеры, мм		
Эскиз борфрез, тип	$d$	$l$
 <p>Борфрезы типа А</p>	2	10
	3	13
	4	16
	6	
	 <p>Борфрезы типа С</p>	8
10		
12		25
16		

Продолжение табл. 1.12а

Эскиз борфрез, тип	$d$	$l$	
 <p>Борфрезы типа D</p>	2	1,8	
	3	2,7	
	4	3,6	
	6	5,4	
	8	7,2	
	10	9,0	
	12	10,8	
	16	14,4	
 <p>Борфрезы типа E</p>	$d$	$l$	$R$
	3	7	1,2
	6	10	2,5
	8	13	3,7
	10	16	4,0
	12	20	5,0
	16	25	6,5
 <p>Борфрезы типа F</p>	3	13*	0,8
	6	18*	1,5
	10	20	2,5
	12	25	3,0
	*Длина режущей части может включать длину цилиндрической части.		
 <p>Борфрезы типа G</p>	3	13*	
	6	18*	
	10	20	
	12	25	
	*Длина режущей части может включать длину цилиндрической части.		
 <p>Борфрезы типа H</p>	$d$	$l$	$R$
	3	7	0,8*
	6	18	1,0*
	8	20	1,5
	10	25	2,0
	12	32	2,5
	16	36	
*Допускается изготовление этих борфрез с плоским или заостренным концом.			

Окончание табл. 1.12а

 <p>Борфрезы типа J и K</p>	$d$	$l^*$ при $\alpha$		
		60°	90°	
	3	2,6	1,5	
	6	5,2	3,0	
	10	8,7	5,0	
	16	13,8	8,0	
*Расчетные значения.				
 <p>Борфрезы типа L <math>\alpha = 14^\circ</math></p>	$d$	$l$	$R$	
	6	16	1,2	
	8	22	1,4	
	10	25	2,2	
	12	28	3,0	
	16	33	4,5	
 <p>Борфрезы типа M</p>	$d$	$l$	$\alpha$	
	3	11	14°	
	6	18		
	8	20	25°	
	10	25		
	12			
16	30°			
 <p>Борфрезы типа N</p>	$D$	$l$ при $\alpha$		
		10°	20°	30°
	3	7	–	–
	6	7	–	–
	12	–	13	13
16	–	16	13	

Диаметр рабочей части и диаметр хвостовиков борфрез указаны в табл. 1.12б.



**1.126. Диаметры рабочей части и хвостовиков борфрез, мм**

Диаметр рабочей части	Диаметр хвостовика	Примечание
2; 3	3	Диапазоны длин хвостовиков (от 20 до 35 мм и 25 до 50 мм) позволяют изготавливать борфрезу с постоянной общей длиной и переменной длиной хвостовика или с постоянной длиной хвостовика и переменной общей длиной
3	6	
4	3; 6	
6	6	
8	6	
10	6	
12	6	
16	6	

Борфрезы должны иметь правосторонние винтовые канавки и правостороннее резание, если нет других указаний. Борфрезы типов J и K могут иметь также прямые канавки.

Борфрезы нормальной точности могут иметь левосторонние винтовые канавки.

Точность борфрез оговаривается при заказе.

Пример условного обозначения борфрезы типа С диаметром режущей части 12 мм, длиной режущей части 25 мм, со средним зубом, диаметром хвостовика 6 мм и длиной хвостовика 30 мм:

***Борфреза С 12 25 М 06 30 ГОСТ Р 52780–2007******Характеристики***

Борфрезы изготавливать из твердого сплава марки ВК8 по ГОСТ 3882. По заказу потребителя допускается изготовление борфрез из других марок твердого сплава, не уступающих по своим физико-механическим свойствам марке ВК8.

Материал припаянного хвостовика борфрез – сталь марки 35ХГСА по ГОСТ 4543. Допускается изготовление хвостовиков борфрез из сталей других марок с механическими свойствами не ниже, чем у сталей 35ХГСА.

Твердость припаянного хвостовика 32...51 HRC. Длина незакаленной части хвостовика со стороны рабочей части должна быть не более 15 мм.

Рабочая часть борфрезы должна быть припаяна к хвостовику припоем, обеспечивающим необходимую прочность соединения. Паяный шов должен быть сплошным. Допустимый разрыв слоя припоя должен быть не более 5 % общей длины.

Борфрезы следует изготавливать *двух точностей*: нормальной и повышенной.

Профиль зуба борфрезы нормальной точности обрабатывается до окончательного спекания и заточке не подвергается.

Радиус округления режущих кромок зубьев для борфрез должен быть, мм, не более:

0,04 – для нормальной точности;

0,007 – для повышенной точности.

Для борфрез нормальной точности допускается не более двух выкрашиваний на каждом зубе, расположенных в шахматном порядке, и не более трех выкрашиваний на всей борфрезе.

*Параметры шероховатостей* поверхностей борфрез по ГОСТ 2789 должны быть, мкм, не более:

Ra 0,4 – передних и задних поверхностей зубьев борфрез повышенной точности;

Ra 1,25 – хвостовиков борфрез нормальной точности;

Ra 0,8 » » повышенной точности.

*Предельные отклонения размеров* должны быть, мм, не более:

– наружного диаметра борфрез:

$\pm 0,5$  – нормальной точности диаметром до 8 мм вкл.,

$\pm 1,0$  » » » св. 8 мм,

$\pm 0,1$  – повышенной точности диаметром 2 мм,

$\pm 0,2$  » » » св. 2 до 10 мм вкл.,

$\pm 0,3$  » » » » 10 мм вкл.;

– диаметра хвостовика борфрез:

минус 0,05 – нормальной точности диаметром до 8 мм вкл.,

минус 0,07 – » » » св. 8 мм,

h9 – повышенной точности;

– общей длины –  $2J_s16$ .

*Допуск радиального биения* режущих кромок зубьев относительно оси хвостовика должен быть, мм, не более:

0,2 – для борфрез нормальной точности;

0,06 » » повышенной точности.

Средний  $\bar{T}$  и установленный  $\Gamma_y$  *периоды стойкости* при условиях испытаний, которые приведены ниже, должны соответствовать указанным в табл. 1.12в.

**1.12в. Периоды стойкости борфрез, мин**

Точность борфрезы	$\bar{T}$	$\Gamma_y$
Нормальная	90	36
Повышенная	120	48

Критерием затупления является допустимый износ по задней поверхности зубьев борфрез, равный 0,5мм.

*Маркировка.* На хвостовиках борфрез должны быть четко нанесены:

– товарный знак предприятия-изготовителя;

– диаметр борфрезы;

– буквенный символ типа зуба.

Маркировку цельных борфрез указывают на этикетке.

**1.12г. Режимы испытания борфрез**

Обрабатываемый материал	Точность борфрезы	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Подача, м/мин	Прижимная сила, Н (кгс)
Сталь марки 12Х18Н9Т по ГОСТ 5632	Повышенная	15000	2...3	14,7...58,8 (1,5...6)
	Нормальная	12000		49...107,8 (5...11)

Примечание. Допускается в качестве обрабатываемого материала применение других марок сталей по ГОСТ 5632, по механическим свойствам не уступающим свойствам стали марки 12Х18Н9Т.

*Периодические испытания* на средний период стойкости проводят один раз в три года, на установленный период стойкости – один раз в год. Испытания проводят не менее чем на пяти борфрезях любого типоразмера.

Внешний вид борфрез контролируют визуально с помощью лупы ЛП-1-5× по ГОСТ 25706. Допускается внешний вид борфрез контролировать визуально сравнением с образцами.

При контроле размерных параметров борфрез применяются методы и средства измерения, погрешность которых должна быть не более:

- значений, указанных в ГОСТ 8.051 – для линейных размеров;
- 35 % допуска на проверяемый угол – для угловых размеров;
- 25 % допуска на проверяемый параметр – для отклонения формы и расположения поверхностей.

Шероховатость поверхностей борфрез проверяют путем сравнения с эталонными образцами по ГОСТ 9378.

Биение режущих кромок следует проверять на специальном приборе для измерения биения борфрез или на инструментальном микроскопе.

Испытания борфрез на работоспособность, средний и установленный периоды стойкости проводят на оборудовании с пневматическим или электрическим приводами с установленными для них нормами точности и жесткости на режимах испытаний, указанных в табл. 1.12г.

При испытании борфрез на работоспособность суммарная длина фрезерования должна быть, мм, не менее:

- 3000 – для борфрез диаметрами до 10 мм;
- 10 000 – для борфрез диаметрами св. 10 мм.

После испытания борфрез на работоспособность на режущих кромках не должно быть следов притупления, и борфрезы должны быть пригодны к дальнейшей работе.

### 1.3. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

При резании инструмент работает в очень сложных условиях. Давление на рабочих поверхностях здесь иногда достигает 4000 МПа ( $\approx 400 \text{ кгс/мм}^2$ ), а температура превышает 1300 К ( $\approx 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ ). При резании также происходит адгезионное схватывание материала инструмента с обрабатываемым материалом, наблюдается диффузия легирующих элементов инструмента в стружку, контакт элементов инструмента с обрабатываемой поверхностью и стружкой сопровождается значительными силами трения и т.д. Эти обстоятельства и определяют требования, предъявляемые к инструментальному материалу. Главные из них:

1. Высокая износостойкость в зоне повышенных температур. Чем лучше инструментальный материал сопротивляется изнашиванию, тем большее время он сохраняет работоспособность или тем выше уровень максимально допустимой скорости резания. Износостойкость материала в первом приближении определяется его твердостью.

2. Достаточная прочность при повышенных температурах.

3. Теплостойкость. Применительно к режущему инструменту под теплостойкостью (иногда употребляют термины «температуростойкость», «красностойкость» и др.) понимают способность инструментального материала сохранять прочность и износостойкость в зоне повышенных температур.

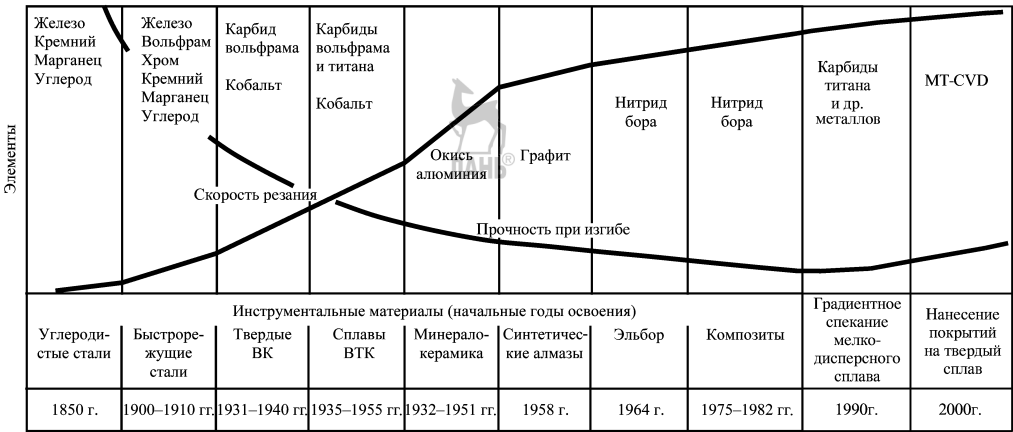
4. Сопротивление механическому и тепловому удару. Это требование особенно важно для инструмента, работающего в условиях прерывистого резания.

5. Хорошие технологические свойства. Это значит, что при обработке резанием, термической обработке и затачивании режущих элементов инструмента (при его изготовлении) не должно возникать технологических затруднений.

Совершенствование процессов механической обработки металлов во многом связано с появлением и использованием инструментальных материалов (рис. 1.37).

До 1900-х гг. основным инструментальным материалом в механообработке являлись *углеродистые стали* с содержанием 0,8...1,4 % углерода, позволяющие обрабатывать заготовки со скоростью резания 6...8 м/мин. Инструментальный материал, включающий вольфрам 17...18 % и хром 5 % получил название *быстрорежущей стали* и позволил поднять скорости резания до 20...30 м/мин. *Металлокерамические твердые сплавы*, на базе карбидов, вольфрама и титана, *сцементированные кобальтом*, сохраняют режущие свойства при температуре до 1100 К. Скорость резания при точении чугуновых и стальных заготовок может достигать 100 м/мин и более.

Поиск более дешевых и более теплостойких инструментальных материалов привел к использованию в качестве режущей части инструментов *минералокерамики*. Созданные на основе окиси алюминия минералокерамические сплавы (например, ЦМ-322) обладают более высокими режущими свойствами, чем твердые сплавы, и сохраняют эти свойства при нагреве до 1500 К. Недостатком минералокерамики является низкая прочность этих сплавов при изгибе: она в 4...5 раз меньше, чем у твердых сплавов, и в 10...12 раз меньше, чем у быстро-



**Рис. 1.37. Этапы начала применения инструментальных материалов для обработки металлов резанием**

режущей стали. Однако при точении стали и чугуна инструментом с минералокерамическими непоротачиваемыми пластинами может быть достигнута скорость резания 400...600 м/мин и более.

Большое значение для совершенствования обработки резанием имело создание *синтетических (искусственных) алмазов*. Алмазы обладают большей твердостью, низким коэффициентом трения, высокой износостойкостью. Однако теплостойкость их сравнительно невысока, она не превышает 950 К. Алмазные резцы и фрезы применяют в основном при резании цветных металлов, сплавов и неметаллических материалов.

В настоящее время кубический нитрид бора является одним из перспективных *синтетических сверхтвердых материалов (СТМ)* для изготовления режущего инструмента. Этот материал почти не уступает алмазу по твердости, но значительно превосходит его по теплостойкости, которая достигает 1400 К. Для оснащения фрез перспективным инструментальным материалом являются поликристаллы кубического нитрида бора, известные под названиями: композит 01 (эльбор-Р), композит 05, композит 10 (гексанит-Р) и др. Спеченные пластины из этих материалов толщиной от 4 до 8 мм и диаметром до 8 мм уже широко применяются в торцовых фрезях.

Режущие элементы фрез в настоящее время в основном изготавливаются или из быстрорежущих сталей различных марок, либо из твердых сплавов (табл. 1.13).

*Твердые сплавы* допускают обработку со скоростями резания, превышающими в 5...10 раз скорости обработки быстрорежущими инструментальными сталями. При этом они не теряют режущих свойств при нагреве до температуры

### 1.13. Назначение марок твердых сплавов

Марки твердых сплавов	Область применения
T30K4	Чистовое фрезерование углеродистых, легированных и нержавеющей сталей
T15K6	Чистовое и получистовое фрезерование тех же материалов
T14K8	Получистовое и черновое фрезерование тех же материалов
T5K10 TT10K8Б	Черновое фрезерование тех же материалов
TT7K12 T5K12Б	Черновое фрезерование углеродистых сталей и стального литья с большой глубиной резания и подачей на зуб
BK10-OM	Черновое и чистовое фрезерование отливок из аустенитной нержавеющей стали
BK3, BK3M	Чистовое фрезерование чугуна, цветных металлов и сплавов, неметаллических материалов
BK6M	Чистовое фрезерование высоко- и низколегированных чугунов, отбеленного чугуна, закаленной стали, жаропрочных сплавов
BK6-OM	Фрезерование вольфрама и молибдена, закаленных сталей, алюминиевых сплавов
BK6, BK8	Черновое фрезерование чугуна, жаропрочных сплавов, меди, бронзы, цветных сплавов

1100 К и выше. Металлокерамические твердые сплавы состоят из карбидов вольфрама, титана или тантала и кобальта, связывающего эти вещества. Различают вольфрамокобальтовые металлокерамические сплавы (BK2, BK3, BK3M, BK6, BK6M, BK5H, BK10, BK10M, BK15M, BK8, BK6-OM, BK8-OM, BK10-OM и др.) и титано-вольфрамокобальтовые (T5K10, T14K8, T15K6, T30K4, T60K6 и др.). В этих обозначениях цифры после букв указывают на процентное содержание кобальта и титана в сплаве. Например, сплав T14K8 состоит из 14 % карбида титана, 8 % кобальта и 78 % карбида вольфрама.

Существуют трехкарбидные твердые сплавы, состоящие из кобальта (связки) и карбидов вольфрама, титана, тантала. Эти сплавы характеризуются высокой прочностью. Твердый сплав марки TT7K12 допускает работу в 1,5...2 раза с большими подачами на зуб, чем сплав T5K10. Твердые сплавы выпускаются в виде пластинок стандартизованных форм и размеров.

Вольфрамкобальтовые сплавы применяют для обработки хрупких материалов: чугуна, бронзы, закаленной стали, пластмасс, фарфора и т.п. Твердые сплавы титановольфрамовой группы используют главным образом для обработки жаропрочных сталей. Сплав ТТ20К9 предназначен специально для фрезерования глубоких пазов. Он отличается повышенным сопротивлением тепловым и механическим циклическим нагрузкам.

С уменьшением размеров зерен карбидов вольфрама износостойкость и твердость сплава увеличиваются. Эту закономерность используют при создании сплавов различного назначения с требуемыми свойствами. Первыми мелкозернистыми сплавами были сплавы марок ВКЗМ и ВК6М. В последнее время разработаны твердые сплавы с особой мелкозернистой (ОМ) структурой – ВК6-ОМ, ВК10-ОМ и ВК15-ОМ. При выборе марок твердого сплава можно руководствоваться данными табл. 1.13.

Стойкость твердосплавного инструмента повышается при нанесении на его поверхность износостойких слоев толщиной 5...15 мкм карбидов (титана, ниобия), боридов, нитридов и др. Благодаря применению покрытия в получаемых твердых сплавах удается оптимально сочетать их износостойкость, прочность и вязкость. Работоспособность комбинированного материала определяется соответствующим сочетанием параметров твердосплавной основы, твердого поверхностного слоя и переходной зоны.

Опыт эксплуатации твердосплавного инструмента с покрытиями показывает, что стойкость инструмента с покрытием повышается в 1,5...3 раза по сравнению с инструментом без покрытия.

Безвольфрамовые твердые сплавы создаются на основе карбидов титана с добавлением молибдена, никеля и других металлов. К безвольфрамовым относятся марки твердых сплавов ТМ1, ТМ3, ТН30, КНТ16 и др.

В оснащении фрез быстрорежущие стали занимают значительное место. Это объясняется не только их повышенной вязкостью по сравнению с твердыми сплавами, но и большей однородностью и надежностью.

*Быстрорежущие стали* (ГОСТ 19265–73\*) подразделяют на стали нормальной производительности и стали повышенной производительности. К первой группе относят стали марок Р18, Р12, Р9, Р6М5.

Приняты следующие обозначения быстрорежущих сталей: буква Р на первом месте показывает, что сталь быстрорежущая. Число, которое следует за буквой Р, указывает на содержание вольфрама в процентах. Например, Р18 – быстрорежущая сталь с содержанием вольфрама 18%; Р0 – безвольфрамовая сталь.

Другие буквы характеризуют наличие легирующего элемента: К – кобальт, М – молибден, Ф – ванадий, а число, проставленное после буквы, указывает на содержание данного элемента в стали (в процентах).

Фрезы из стали Р18 находят применение при фрезеровании труднообрабатываемых материалов на чистовых операциях и при профильном фрезеровании. Фрезы из стали Р9, вследствие трудной их шлифуемости, применяют при предварительной обработке. Сталь Р12 занимает промежуточное положение.

К группе сталей повышенной производительности относят быстрорежущие стали, легированные кобальтом, благодаря ему на 15...25 К повышается их теплостойкость, а также легированные ванадием, наличие которого увеличивает износостойкость. Фрезы из сталей этой группы P18Ф2, P12Ф5, P10К5Ф5, P12К5Ф4 и других целесообразно применять при фрезеровании труднообрабатываемых материалов.

Безвольфрамовые быстрорежущие стали содержат большой процент молибдена, ванадия, хрома и других износостойких элементов, имеют меньшую стоимость по сравнению с быстрорежущими и незначительно уступают им в стойкости.

#### 1.4. РЕЖИМ РЕЗАНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

**Режим резания** – совокупность значений скорости резания, подачи и глубины. Чтобы в каждом конкретном случае правильно установить заданный режим резания, необходимо определить составляющие его параметры.

Скорость главного движения резания  $v$  – скорость перемещения рассматриваемой точки режущей кромки или заготовки при главном движении. При фрезеровании – это скорость перемещения точки режущей кромки, наиболее удаленной от оси вращения. Рассматриваемый параметр зависит от диаметра фрезы и частоты ее вращения. За один оборот инструмента точка  $A$  режущей кромки (рис. 1.38, б) пройдет путь, равный длине окружности  $c = \pi D_{\max}$ , а за 1 мин она пройдет путь, равный произведению  $\pi D$  на частоту вращения фрезы.

Скорость главного движения определяют по формуле, м/мин,

$$v = \pi D n / 1000 ,$$

или в системе СИ, м/с,

$$v = \pi D n / 60000 ,$$

где  $D$  – наибольший диаметр фрезы, мм;  $n$  – частота вращения, об/мин.

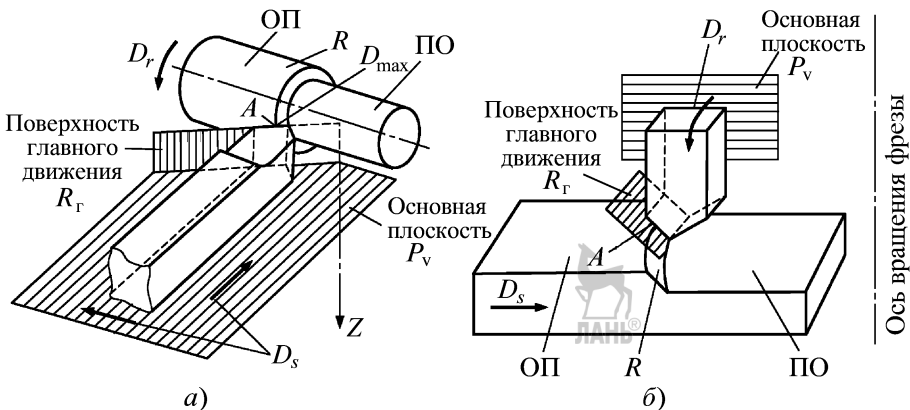


Рис. 1.38. Поверхности и плоскости при точении (а) и фрезеровании (б):

ОП – обрабатываемая поверхность; ПО – обработанная поверхность



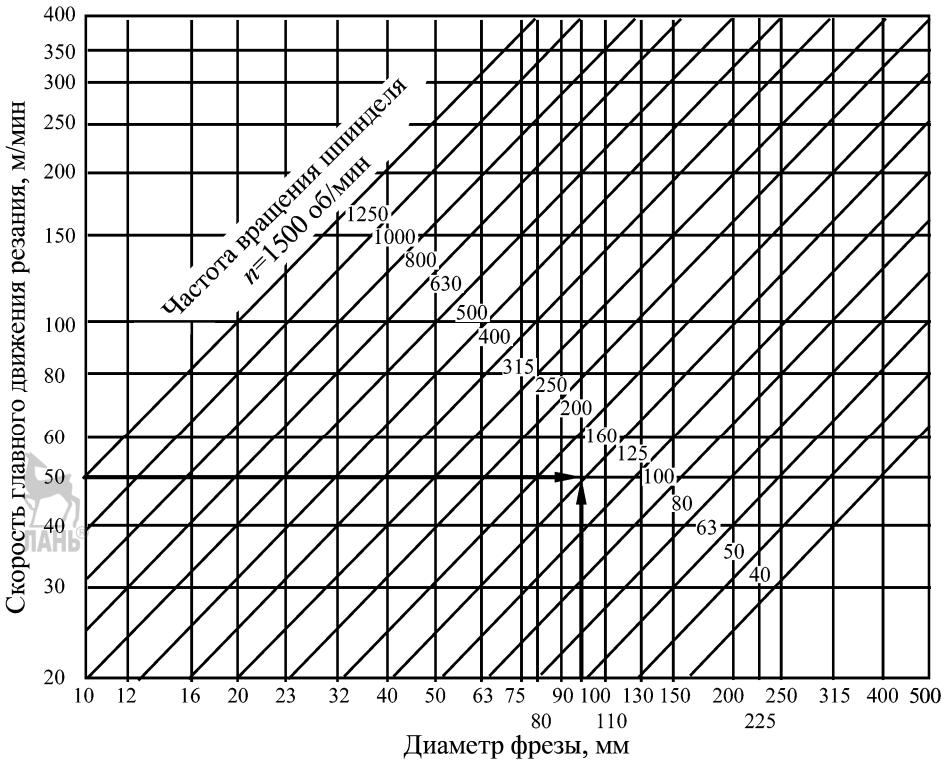


Рис. 1.39. Номограмма для определения скорости резания

По значению скорости главного движения резания можно определить частоту вращения фрезы (шпинделя станка), об/мин:

$$n = 1000v / (\pi D) .$$

Если, например, скорость главного движения резания принята по нормативам равной 55 м/мин, а диаметр фрезы 100 мм, то частота вращения шпинделя, об/мин,

$$n = \frac{1000 \cdot 55}{3.14 \cdot 100} \approx 175 .$$

При отсутствии на станке такого значения частоты принимают ближайшее меньшее значение  $n$  (например, 160 об/мин). Тогда действительная скорость главного движения резания, м/мин, будет равна:

$$v = \frac{3.14 \cdot 100 \cdot 160}{1000} \approx 50 .$$

Если же принять ближайшее большее значение частоты вращения шпинделя, то скорость главного движения резания превысит расчетную, что повлечет за собой снижение стойкости инструмента.

Определить частоту вращения шпинделя (фрезы) по скорости резания и диаметру фрезы особенно просто по номограмме (рис. 1.39). Для этого из точки, соответствующей заданной скорости главного движения резания, проводят горизонтальную линию, а из точки, соответствующей диаметру фрезы, вертикальную. Точка пересечения этих линий и определяет частоту вращения шпинделя (фрезы).

**Подача  $S$**  – величина перемещения стола с заготовкой относительно режущего инструмента в единицу времени. При фрезеровании (рис. 1.40) различают три вида подачи: минутная подача  $S_M$  (мм/мин) – величина перемещения стола с заготовкой за 1 мин; подача на оборот  $S_0$  (мм/об) – величина перемещения стола с заготовкой за один оборот фрезы; подача на зуб  $S_z$  (мм/зуб), которая равна перемещению стола с заготовкой за время поворота фрезы на угловой шаг зубьев. Последний вид подачи является исходным для расчета  $S_0$  и  $S_M$ :

$$S_0 = S_z z,$$

$$S_M = S_z z n = S_0 n.$$

Подача оказывает влияние на многие показатели: производительность, шероховатость обработанной поверхности, характер стружкообразования, силу резания, мощность фрезерования и др.

Если по нормативам подача на зуб принята равной 0,04 мм/зуб, то величины подач на оборот и минутной подачи для фрезы с числом зубьев  $z = 5$  при частоте ее вращения 160 об/мин определяются:  $S_0 = 0,04 \cdot 5 = 0,20$  мм/об;  $S_M = 0,2 \cdot 160 = 32$  мм/мин.

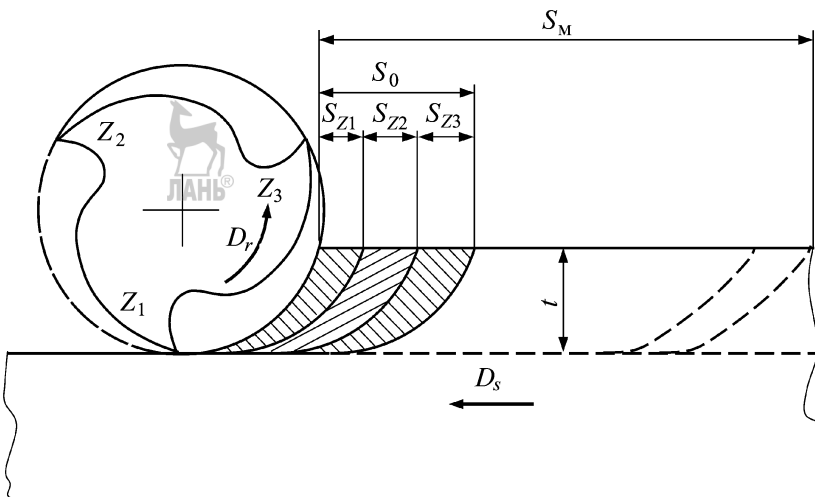


Рис. 1.40. Подача при фрезеровании

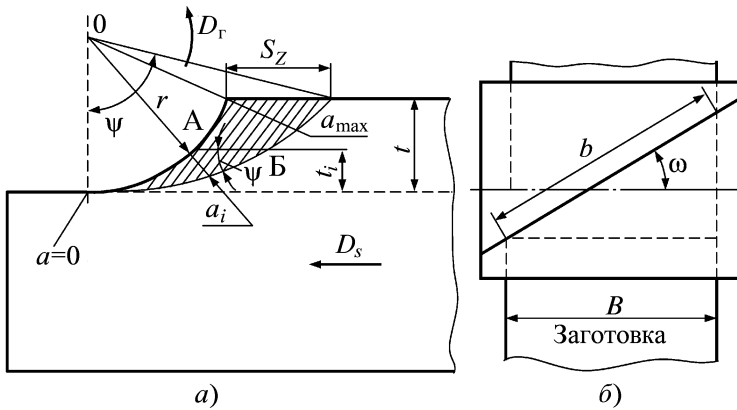


Рис. 1.41. Элементы срезаемого слоя при фрезеровании

На лимбе привода подач станка следует установить ближайшее меньшее значение минутной подачи.

**Глубина фрезерования**  $t$  – это расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностям, измеренное в направлении, перпендикулярном оси фрезы, а ширина  $B$  – расстояние между ними, измеренное в направлении, параллельном оси инструмента (см. рис. 1.8).

**Элементы срезаемого слоя.** При цилиндрическом фрезеровании зуб фрезы снимает стружку переменной толщины от 0 до  $a_{max}$ . Толщина срезаемого слоя  $a_i$  определяется разностью между нормалью  $0B$  (рис. 1.41, а) и радиусом фрезы  $r$ .

Наибольшая толщина среза  $a_{max}$  определится по формуле, мм,

$$a_{max} = 2S_z \sqrt{\frac{t}{D} - \left(\frac{t}{D}\right)^2},$$

где  $D$  – диаметр фрезы, мм.

Среднее значение толщины срезаемого слоя, мм,

$$a_{cp} = S_z \sqrt{t/D}.$$

Ширина срезаемого слоя  $b$  (рис. 1.41, б) равна длине соприкосновения главной режущей кромки инструмента с обрабатываемой заготовкой:  $b = B \cos \omega$ . При фрезеровании прямозубой цилиндрической фрезой ( $\omega = 0$ )  $b = B$ .

Площадь  $f$  (мм<sup>2</sup>) срезаемого одним зубом слоя равна:

$$f = ab.$$



Толщина срезаемого слоя зависит от положения зуба на участке контакта, следовательно, его площадь – величина переменная.

Максимальное значение  $f_{\max}$  (мм<sup>2</sup>) для одного зуба:

$$f_{\max} = a_{\max} b,$$

а некоторое среднее

$$f_{\text{ср}} = a_{\text{ср}} b.$$

При фрезеровании резание часто осуществляется одновременно несколькими зубьями. Число одновременно работающих зубьев  $i$  прямозубых фрез можно определить по формуле:

$$i = \psi / \alpha,$$

где  $\psi$  – угол контакта фрезы;  $\alpha$  – угол между двумя соседними зубьями ( $\alpha = 360/z$ , где  $z$  – количество зубьев фрезы).

Если угол контакта для каждого зуба фрезы в данный момент времени соответственно равен  $\psi_1$ ;  $\psi_2$ ;  $\psi_3$  и т.д., то площадь срезаемого слоя будет составлять:

$$\text{для первого зуба } f_1 = bS_z \sin \psi_1,$$

$$\text{для второго зуба } f_2 = bS_z \sin \psi_2 \text{ и т.д.}$$

Суммарная площадь срезаемого слоя, снимаемая всеми зубьями в данный момент времени, будет соответствовать:

$$f_{\Sigma} = f_1 + f_2 + \dots + f_n = bS_z (\sin \psi_1 + \sin \psi_2 + \dots + \sin \psi_n).$$

Рассмотренные параметры  $a$ ,  $b$ ,  $f$  могут быть определены для торцовых фрез, а также для других видов фрез и условий их работы. В итоге это позволяет устанавливать объем срезаемого слоя материала за одну минуту (объемную производительность) и по этому показателю сравнивать эффективность работы фрез различных конструктивных решений.

Процесс резания при фрезеровании является прерывистым, так как рабочий ход зуба инструмента чередуется с холостым ходом. Это обуславливает определенный подход к назначению режимов резания, углов заточки зубьев фрез, выбору инструментального материала. При фрезеровании периодически повторяется нагревание и охлаждение рабочих поверхностей зубьев фрезы, происходит активное взаимодействие нагретых элементов фрезы с охлаждающей средой, механические напряжения циклически воздействуют на материал инструмента, наблюдаются интенсивные вибрации элементов технологической системы.

Процесс фрезерования можно представить следующей схемой (рис. 1.42, а). Врезание режущего клина 1 в заготовку 2 начинается в точке А с некоторым ударом. С этого момента рабочие поверхности клина (зуб фрезы) находятся под воздействием силовой и тепловой нагрузок. В инструменте и в заготовке возникают механические и температурные напряжения. Величина этих напряжений зависит от изменения толщины срезаемого слоя  $t$ , характера воздействия стружки на переднюю поверхность ( $l_k \times B$ ) и трения клина (участок  $h$ ) задней поверхностью и т.д.

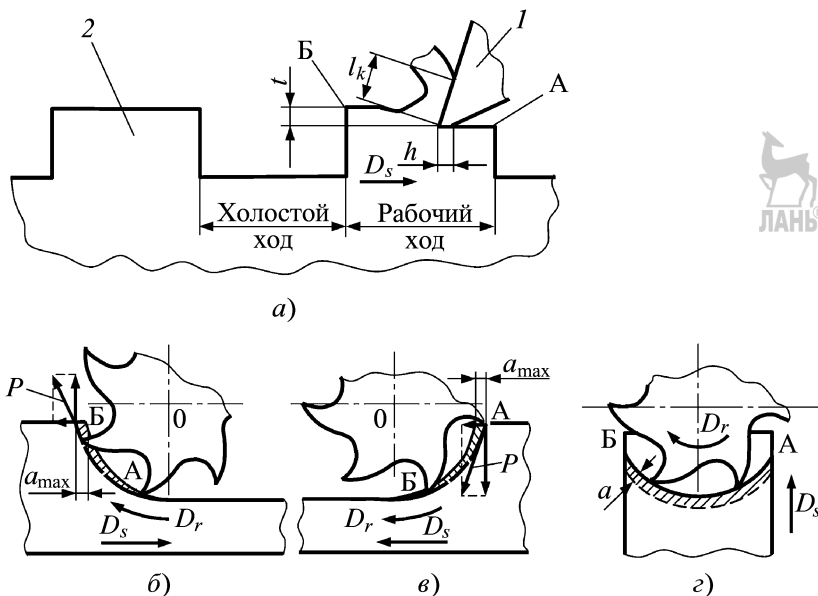


Рис. 1.42. Схема резания при фрезеровании

При холостом ходе после перехода инструментом точки Б резание прекращается, силовые нагрузки на клин становятся равными нулю.

При фрезеровании закономерность изменения толщины снимаемого слоя (а следовательно, и нагрузки на зуб) может быть различной. При встречном фрезеровании толщина может изменяться от 0 до  $a_{\max}$  (см. рис. 1.42, б), при попутном – от  $a_{\max}$  до 0 (см. рис. 1.42, в), при симметричном – равномерно (см. рис. 1.42, г).

Указанное явление носит название неравномерности фрезерования. Оно определяет неравномерную нагрузку на станок, инструмент, обрабатываемую заготовку, приспособление, что является крайне нежелательным как в отношении точности обработки, так и в отношении стойкости инструмента, долговечности и надежности работы систем станка и т.д.

Кроме того, периодически повторяющиеся циклы нагрев-охлаждение инструмента ведут к появлению трещин на зубьях фрез, выкрашиванию кромок и т.п. Поэтому при работах на фрезерных станках стремятся обеспечивать максимально возможную равномерность фрезерования. Это достаточно просто достигается использованием фрез с винтовыми канавками при ширине фрезерования, равной осевому шагу фрезы.

## 1.5. СОСТАВЛЯЮЩИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ И МОЩНОСТЬ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Равнодействующую силу  $R$ , действующую на инструмент при обработке резанием, можно разложить на три взаимно-перпендикулярные составляющие силы резания (рис. 1.43).

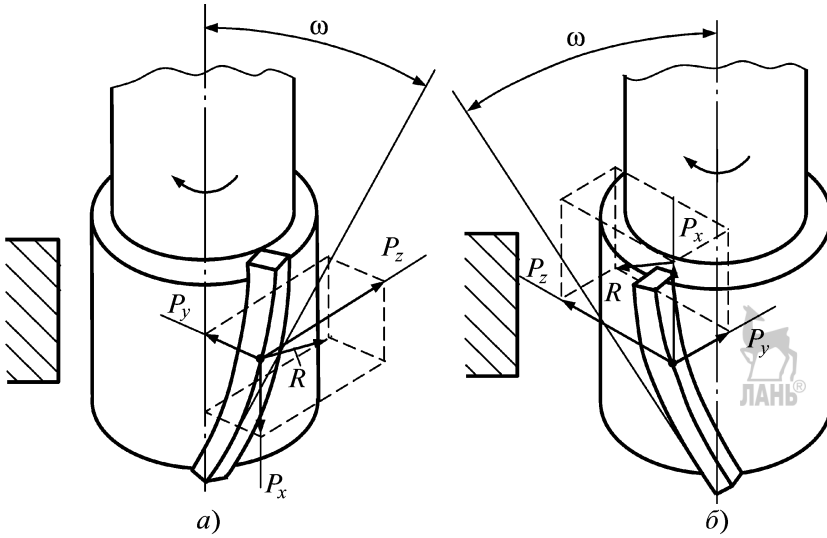


Рис. 1.43. Схема сил, действующих на зуб фрезы при резании

Главная составляющая силы резания  $P_z$  – составляющая силы резания, совпадающая по направлению со скоростью главного движения в вершине лезвия. При фрезеровании ее называют касательной составляющей силы резания. С учетом величины этой силы производят расчет звеньев механизма главного движения на прочность.

Радиальная составляющая силы резания  $P_y$  направлена по радиусу главного вращательного движения резания. Эта сила оказывает наибольшее влияние на степень и глубину наклепа обработанной поверхности. С учетом максимального значения силы  $P_y$  рассчитывают звенья механизма подачи станка и узлы крепления заготовки в приспособлении.

Осевая составляющая силы резания  $P_x$  направлена параллельно оси главного вращательного движения. В зависимости от угла наклона зубьев и направления винтовой канавки составляющая  $P_x$  может быть направлена вниз (рис. 1.43, а) или вверх (рис. 1.43, б). Более благоприятным является положение, когда составляющая  $P_x$  направлена вниз и способствует прижиму заготовки к столу станка (к опорам приспособления).

Формулы для определения составляющих силы резания можно найти в справочниках по режимам фрезерования и в справочниках технолога.

Действующая мощность  $N_e$  – мощность, необходимая для осуществления процесса резания (без учета КПД станка). Она равна произведению главной касательной составляющей силы резания  $P_z$  (Н) на скорость резания  $v$  (м/мин).

Действующая мощность резания, выраженная в киловаттах, будет иметь вид,

$$N_e = \frac{P_z v}{6120}$$

По величине  $P_z$  подсчитывают необходимый для осуществления процесса резания крутящий момент  $M$ ,

$$M = \frac{P_z D}{2}, \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где  $D$  – диаметр фрезы, мм.

Давление  $p$  (Па) представляет собой отношение силы резания  $P_z$  к площади поперечного сечения среза  $F$ .

Если известно значение давления, то можно приблизительно определить окружную силу резания  $P_z$  по формуле:

$$P_z = pF.$$

Величина давления зависит главным образом от физико-механических свойств обрабатываемого материала, толщины среза и геометрических параметров инструмента.

При работе станка действующая мощность  $N_e$  не должна превышать эффективную мощность  $N_3$  электродвигателя привода станка ( $N_e < N_3$ ). Эффективная мощность  $N_3$  (кВт), которая может быть использована на резание, определяется с учетом КПД станка  $\eta_{ст}$ , равного для фрезерных станков 0,75...0,85:

$$N_3 = N\eta_{ст},$$

где  $N$  – мощность электродвигателя привода станка главного движения, кВт.

## 1.6. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

В процессе резания работа сил, затрачиваемая на деформирование и разрушение срезаемого слоя, а также на трение стружки по передней поверхности инструмента и материала заготовки по задней, практически вся (> 99 %) переходит в теплоту. Больше половины всей выделяемой теплоты отводится со стружкой, остальная переходит в деталь, инструмент, станок, рассеивается в атмосферу. В результате нагрева стружки на ее поверхности образуется окисная пленка, цвет которой зависит от температуры нагрева.

Фрезеровщик по цвету стружки может ориентировочно определить температуру в зоне резания. При фрезеровании конструкционных сталей (к примеру, сталь 40) стружка принимает желтый цвет при температуре 500 К, светло-синий соответствует температуре 700...800 К, а темно-синий свидетельствует, что температура нагрева превышает 1000...1100 К. Если обрабатывают жаропрочные сплавы, то желтый цвет стружки указывает на температуру 700...800 К, а синий – на 1000...1100 К.

Количество теплоты, выделяющейся при резании, и ее распределение влияют на стойкость режущего инструмента, качество обработанной поверхности, температурную деформацию обрабатываемой заготовки, фрезы, узлов станка и приспособлений.

Распределение теплоты между заготовкой, инструментом и стружкой зависит от многих факторов. Характер ее распределения является важной информацией для выбора рациональных условий резания. Наибольшее значение имеет температура нагрева режущей части инструмента.

В настоящее время известно несколько методов измерения температуры нагрева режущего инструмента в процессе резания: калориметрический, радиационный с помощью термопар, термокрасок и др.

При фрезеровании наибольшее влияние на температуру в зоне резания оказывает скорость главного движения резания и несколько меньшее – подача. Например, при фрезеровании стали марки 20Х13 двойное увеличение скорости главного движения резания способствует повышению температуры на 70%, а аналогичное изменение подачи вызывает рост температуры только на 25%. Увеличение глубины фрезерования приводит к повышению температуры в зоне резания, а увеличение ширины фрезерования практически не сказывается на изменении температуры.

Из геометрических параметров зуба фрезы наибольшее влияние на температуру резания оказывает передний угол. С уменьшением переднего угла возрастает деформация срезаемого слоя, что вызывает повышение температуры в зоне резания. При увеличении переднего угла уменьшается как деформация срезаемого слоя, так и масса режущего клина, влияющая на отвод тепла. Поэтому чрезмерное увеличение переднего угла также может вызывать повышение температуры в зоне резания.

Температура в зоне резания возрастает с увеличением износа зуба фрезы и особенно при достижении определенной степени затупления.

## 1.7. ИЗНОС И СТОЙКОСТЬ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

При фрезеровании время работы между переточками (стойкость режущего инструмента) состоит из трех периодов (рис. 1.44). Каждый период характеризуется продолжительностью времени работы ( $t_p$ , мин), величиной износа – ленточкой ( $h$ , мм) по задней поверхности зуба и интенсивностью роста этого износа  $\text{tg } \beta$ .

Первый период работы фрезы называют приработочным или начальным. Большие удельные нагрузки, характерные для начального периода, вызывают интенсивный износ, а иногда и выкрашивания зуба. За короткий отрезок времени, измеряемый несколькими минутами или секундами, режущий инструмент изнашивается на величину  $h_n$ , которая может быть относительно большой.

Например, при фрезеровании стали 45Г17Ю3 концевыми быстрорежущими из Р18 фрезами со скоростью резания 14,2 м/мин, подачей 0,15 мм/зуб, начальный износ составляет 0,1 мм. Продолжительность работы первого периода 1 мин. Таким образом, за 1 мин работы (4% от всего периода стойкости) фреза изнашивается на 20 %. Интенсивность износа  $\text{tg } \beta = 2,54$ . Величина приработочного износа обусловлена во многом шероховатостью заточенных поверхностей



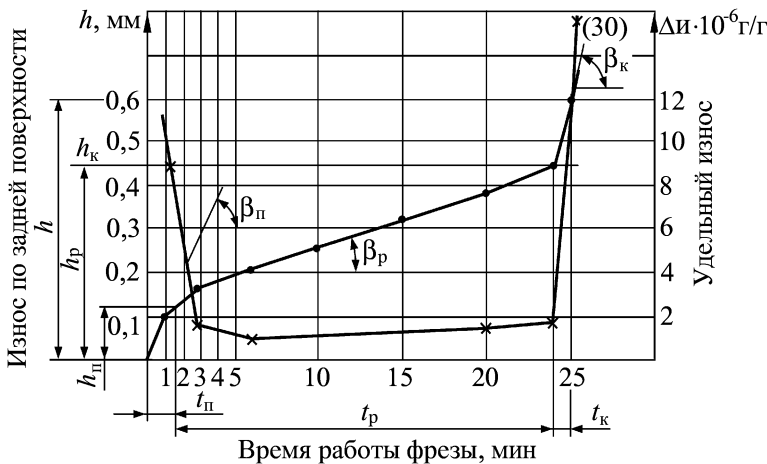


Рис. 1.44. График, характеризующий износ зубьев фрезы

инструмента. Качественной заточкой можно увеличить начальную стойкость режущего инструмента для доведенного инструмента или инструмента с твердым покрытием, величина приработочного износа которого имеет минимальные значения.

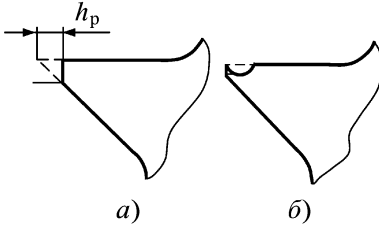
Удельный износ  $\Delta_i$  режущего инструмента в начальный период достигает значительной величины. Под удельным износом понимают отношение массы изношенного инструментального материала к массе срезанного обрабатываемого материала. В рассматриваемом примере он составляет  $2 \cdot 10^{-6}$  г/г.

После окончания первого периода износа наступает второй, который называют рабочим, он составляет 80...95 % всего времени работы инструмента между переточками. Интенсивность износа, характеризуемая углом наклона кривой износа, зависит от свойств обрабатываемого и инструментального материалов, параметров режима резания, качества поверхностного слоя режущего инструмента и др.

Величина удельного износа в рабочий период имеет минимальное значение, оно примерно одинаковое в продолжение всего периода.

Допустимая величина износа (критерий затупления) определяется характером технологической операции. На предварительной операции нельзя допускать наступления периода усиленного износа. Если не прекратить работу фрез, то за короткий отрезок времени усиленного износа (3...5% от общего периода стойкости инструмента) зубья фрез изнашиваются на значительную величину ( $h$  до 1,5...2,5 мм) или вообще придут в негодность. В качестве критерия затупления принимают износ по задней поверхности в пределах 0,45...0,55; 0,8...1,00; 0,4...0,5 мм соответственно для концевых, торцовых, дисковых фрез.

Наступлению затупления практически всегда соответствуют изменения в технологической системе – усиление вибраций, изменение характера и цвета стружки и др.



**Рис. 1.45. Износ зуба фрезы по задней (а) и передней (б) поверхностям**

Для чистовых (финишных) технологических операций в качестве критерия затупления принимают величину размерного износа  $h_p$  (рис. 1.45, а), которая определяется допуском на заданный размер. При фрезеровании следует стремиться к такому режиму резания, при котором инструмент работал бы в условиях нормального износа.

Если в начале эксплуатации инструмента происходят сколы и выкрашивания зубьев фрез, то это свидетельствует о большой нагрузке, действующей на фрезу. Следовательно, необходимо уменьшить подачу. Сколы и выкрашивания зубьев, появляющиеся после некоторого времени работы, указывают на то, что происходит усталостное разрушение инструмента вследствие суммарного воздействия механических и температурных напряжений.

Пластическое разрушение (оплавление) режущих кромок инструмента говорит о том, что либо значительно завышена скорость резания, либо износ эксплуатируемой фрезы превышает допустимый. Нагрев фрез, изготовленных из быстрорежущих сталей, не должен превышать 850 К. Превышение данной температуры даже на 30...50 К будет способствовать интенсивному снижению твердости инструментального материала: произойдет температурный отпуск и разрушение зуба фрезы.

При температуре в зоне резания 800...850 К стружка темно-синего цвета при фрезеровании углеродистых сталей и золотистого цвета – в случае резания жаропрочных материалов. Если при обработке быстрорежущими фрезами сходящая стружка имеет (в зависимости от обрабатываемого материала) темно-синий или золотистый цвет, то необходимо откорректировать режимы фрезерования, снизив скорость резания, подачу или (быть может) заменить инструмент.

## 1.8. ПРИМЕНЕНИЕ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД

При фрезеровании смазочно-охлаждающие технологические среды (СОТС) снижают температуру в зоне обработки и тем самым повышают стойкость режущего инструмента, улучшают качество обработанной поверхности, предохраняют от коррозии режущий инструмент и обрабатываемую заготовку.

К смазочно-охлаждающим технологическим средам предъявляются следующие требования: высокая охлаждающая и смазывающая способность, антикоррозионная стойкость, обеспечение хороших санитарно-гигиенических условий труда. Кроме того, они не должны оказывать вредного воздействия на лакокрасочные покрытия станка.

В зону резания СОТС подводится различными способами: под давлением со стороны задней поверхности инструмента, распылением (аэрозольное, туманом), поливом и др. Рациональное применение СОТС позволяет в ряде случаев повысить стойкость режущего инструмента от 1,5 до 4 раз. Смазочно-охлаждающие технологические среды и способы их применения, эффективные для одной группы обрабатываемых материалов и видов обработки, могут быть малоэффективными для других материалов и видов обработки и даже оказывать вредное влияние. Каждой комбинации «обрабатываемый материал–вид обработки–инструментальный материал–режим резания» должна соответствовать определенная, оптимальная для данных условий, СОТС.

Смазочно-охлаждающие технологические среды делятся на водно-эмульсионные (Укринол-1, РЗ-СОЖ-8) и масляные (МР-1, МР-4, ОСМ-3). В табл. 1.14 приведены рекомендации по применению СОТС при фрезеровании. Обработка, например, серого чугуна на универсальных фрезерных станках обычно производится без охлаждения, а ковкого чугуна – с охлаждением эмульсией. Рекомендуется применять СОТС и при обработке серого чугуна. В этом случае желательно иметь защитные устройства в виде экранов, в особенности при работе торцовыми фрезами, оснащенными пластинками твердого сплава. Необходимость применения СОТС при обработке чугунных корпусных деталей, например станин и кареток металлорежущих станков, иногда вызывается тем, что при фрезеровании без охлаждения эти детали могут нагреваться до 70 °С.

### 1.14. Рекомендации по применению СОТС на операциях фрезерования

Обрабатываемые материалы	Рекомендуемые СОТС	
	Водные	Масляные
Чугуны	Авитол -2 марок А и Б, 3...5%-ная эмульсия; Автокат Ф-78, 1,5...7%-ная эмульсия; Аминил-М марки Д, 2...5%-ная микроэмульсия; Аминил-ОР; Вексанол 5, 3...10%-ная эмульсия; Виктория -1,-2 1,5...10%-ная микроэмульсия; ВИПОЛ-311; -321,-351, 3...7%-ная микроэмульсия; Волгол-300, 3...10%-ная микроэмульсия; ВПК, 5%-ный водный раствор; Гретирол, 2...5%-ный раствор, Ивкат, 2...4%-ная микроэмульсия; ОМ (АМАЗОЛ ОМ),ОСД, 1...2%-ная микроэмульсия; Сувар-3М, 1...3%-ный раствор; Эмульсол ЕРМ, 5...10%-ная эмульсия; Эмульсол Тариан, 5...10%-ная эмульсия; ЯЗ-1, 5%-ная эмульсия	ОСМ-3; В-3 марка А, М; ЛЗН-СОЖ-11; МР-17; МР-17Б, В; Ольвит МОР-У; РЖ-8



Продолжение табл. 1.14

Обрабатываемые материалы	Рекомендуемые СОТС	
	Водные	Масляные
Конструкционные углеродистые и легированные стали	<p>Авитол-2 марок А и Б, 3...5%-ная эмульсия;  Акванол АЗМОЛ, 5...8% -ная микроэмульсия;  Аквол-6, 5...20%-ная эмульсия;  Аминил-М марки Д, 2...5%-ная микроэмульсия, Аминил-ОР,  АТМ-СОЖ -1, 3...5%-ная эмульсия;  Вексанол -3, 5%-ная эмульсия;  Ивкат, 2...4%-ная микроэмульсия;  ИНКАМ-3, 3%-ная эмульсия;  Инкомет-1, 3...15%-ная микроэмульсия;  Линнол-1, 5...7%-ная эмульсия,  ОМ (АМАЗОЛ ОМ),  ТУВ-95, 3...5%-ная эмульсия;  ЯЗ-1, 5%-ная эмульсия</p>	<p>АЗМОЛ МР-3;  АРИАН МР-7;  АРИАН МР-И;  ОСМ-3;  АЗМОЛ МР-3;  Лубрисол М-92;  5...50%-ный раствор в индустриальных маслах;  МР-6; МР-11 марок А и Б;  МР-17; МСВ-22;  МЭП-1;  ОСМ-5М;  Полиэд-1;  Росойл-320;  Росойл-МР-1;  Росойл-МР-4;  Росойл-МР-11;  Росойл-ОСМ-5;  СП-44 10...50%-ный раствор в минеральном масле</p>
Инструментальные стали и сплавы	<p>Аквол-2, 3...10%-ная эмульсия;  Аквол-6, 5...20%-ная эмульсия;  Вексанол 5, 3...10%-ная эмульсия,  Пермол (Ровел Пермол-6), 3...10%-ная эмульсия; Прогресс-13К, 3...5%-ный раствор; Укринол-1М, 2...3%-ная эмульсия;  Укринол-1М, АЗМОЛ, Эфтол, 2...5%-ный раствор</p>	<p>Амзол МР-6;  АЗМОЛ МР-7В;  АРИАН МР-7;  ОСМ-3, В-3 марка А; М;  МР-4; МР-17;  МСВ-15;  Росойл-101,  Росойл-МР-1;  Росойл-МР-3,  Росойл-МР-7;  Росойл-МР-99</p>

Продолжение табл. 1.14

Обрабатываемые материалы	Рекомендуемые СОТС	
	Водные	Масляные
Коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы	Аквол-2, 3...10%-ная эмульсия; Аквол-6, 5...20%-ная эмульсия; Вексанол 5, 3...10%-ная эмульсия; ВИПОЛ-311, -321, -351, 3...7%-ная микроэмульсия, Пермол (Ровел Пермол-6); 3...10%-ная эмульсия; Росойл-50, 3...10%-ная эмульсия; Росойл-503, 3...10%-ная эмульсия; Укринол-1М, 2...3%-ная эмульсия; Укринол-1М, АЗМОЛ; Универсал-1 СОЖ марки Б, 3...10%-ная эмульсия; Эфтол, 2...5%-ный раствор	Амзол МР-6; АЗМОЛ МР-7В; АРИАН МР-7; ОСМ-3; В-3 марка А; М; МР-4; МСВ-15; Росойл-101; Росойл-МР-3; Росойл-МР-4; Росойл-МР-7
Высокопрочные стали	Аквол-2, 3...10%-ная эмульсия; Аквол-6, 5...20%-ная эмульсия; Вексанол 5, 3...10%-ная эмульсия; ВИПОЛ-311, -321,-351, 3...7%-ная микроэмульсия, Карбол С-1П, 2...5%-ный раствор; Купрол, 1...3%-ный раствор; Пермол (Ровел Пермол-6), 3...10%-ная эмульсия; Укринол-1М, 2...3%-ная эмульсия; Универсал-1 СОЖ; Универсал-1 СОЖ марки Б, 3...10%-ная эмульсия; Универсал-1 СОЖ марки ПС; 2...10%-ная микроэмульсия	АЗМОЛ МР-7В; АРИАН МР-7; ОСМ-3, В-3 марка А; М; МР-1У; МР-4; Росойл-101, Росойл-МР-1; Росойл-МР-4; Росойл-МР-7; Росойл-МР-11; Росойл-МР-99; СТП-13В, концентрат или 20...50%-ный раствор в минеральном масле
Титановые сплавы	Аквол-2, 3...10%-ная эмульсия; Аквол-6, 5...20%-ная эмульсия; ВИПОЛ-311, -321,-351, 3...7%-ная микроэмульсия, Пермол (Ровел Пермол-6); 3...10%-ная эмульсия, РАТ АК 62 ЮР; 1...10%-ная эмульсия, Техмол-1, 2...7%-ный раствор, Укринол-1М, 2...3%-ная эмульсия; Укринол-1М, АЗМОЛ, Эфтол, 2...5%-ный раствор	Амзол МР-6; ОСМ-3; МР-4; МР-6; МР-17; Росойл-МР-4; Росойл-МР-99

Окончание табл. 1.14

Обрабатываемые материалы	Рекомендуемые СОТС	
	Водные	Масляные
Медные сплавы	Авитол-2 марок А и Б, 3...5%-ная эмульсия; Аквол-6, 5...20%-ная эмульсия; НГЛ-205, НГЛ-205Р, 3...10%-ная эмульсия; ОМД-1, 1...2%-ный раствор; Техмол-1, 2...7%-ный раствор; ТУВ-95, 3...5%-ная эмульсия	ОСМ-3, Асфол-1; МР-2У, МР-17А; ОСМ-3, Росойл-МР-2; Росойл-МР-99; Росойл-ОСМ-5
Алюминиевые сплавы	Авитол-2 марок А и Б, 3...5%-ная эмульсия; Автокат Ф-78, 1,5...7%-ная эмульсия; Виктория-1,2 1,5...10%-ная микроэмульсия; ВИПОЛ-311, -321, -351, 3...7%-ная микроэмульсия; Волгол-300, 3...10%-ная микроэмульсия; ВПК, 5%-ный водный раствор; Гретиrol, 2... 5%-ный раствор; Ивкат, 2...4%-ная микроэмульсия; ИНКАМ-3, 3%-ная эмульсия; Инкомет-1, 3...15%-ная микроэмульсия; Купрол, 1...3%-ный раствор; Линнол-1, 5...7%-ная эмульсия; ОМД-1, 1...2%-ный раствор; Пермол (Ровел Пермол-6), 3...10%-ная эмульсия; Прогресс-13К, 3...5%-ный раствор, Росойл -50, 3...10%-ная эмульсия; Синтезор-3ЭТ, 3...10%-ная эмульсия; Сувар-3М, 1...3%-ный раствор; Техмол-1, 2...7%-ный раствор; ТУВ-95, 3...5%-ная эмульсия; Эмульсол ЕРМ, 5...10%-ная эмульсия	ОСМ-3, В-3 марка А, М; МР-4, МР-4П; МР-17, Ольвит МОР-У; Полиэд-1, Росойл-305; АНЬ® Росойл-МР-4, СП-4

Применение СОТС при фрезеровании отличается некоторыми особенностями, которые не всегда учитывают в практике фрезерных работ. Как уже было отмечено ранее, в большинстве случаев для работы фрез характерна прерывистость не только механических, но и тепловых нагрузок на режущие зубья. При использовании СОТС перепад температур цикла «нагрев (работа зуба) – охлаждение (холостой ход)» резко возрастает. Такие периодически повторяющиеся температурные скачки в определенных условиях могут вызвать появление трещин на поверхности инструмента и, соответственно, образование сколов и выкрашивание зубьев.

**Общие рекомендации по применению СОТС при фрезеровании**

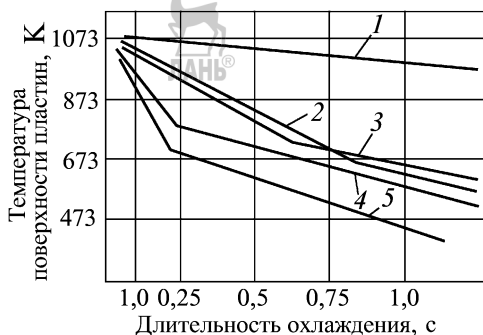
<i>Обрабатываемый материал</i>	<i>Марка СОТС</i>
Конструкционные углеродистые стали	3 % Укринол-1, 5 – 8 % РЗ-СОЖ-8
Легированные стали	5 % Укринол-1
Инструментальные быстрорежущие стали	ОСМ-3
Нержавеющие стали	5 % Укринол-1 5...8 % РЗ-СОЖ-8
Высокопрочные и жаропрочные стали	МР-1
Титановые сплавы	5 % Укринол-1 5...8 % РЗ-СОЖ-8
Чугуны	3 % Укринол-1
Алюминий и алюминиевые сплавы	3...5% Укринол-1
Медь и медные сплавы	МР-4

Различные СОТС обладают разной способностью отводить тепло от нагретого инструмента. Эта способность может быть охарактеризована как интенсивность (скорость) охлаждения. Для конкретного вида и метода подвода СОТС и соответствующего типа инструментального материала интенсивность охлаждения можно определить величиной снижения температуры нагретого элемента (например, пластины твердого сплава) в единицу времени.

Так, для воздуха (рис. 1.46) интенсивность охлаждения пластин твердого сплава марок Т1К6 и ВК8 с температурой поверхности около 1070 К составляет 40...50 К/с. Таким образом, если охлаждать такую пластину на воздухе, то ее температура за 10 с понизится на 400...500 К. Более интенсивное охлаждение обеспечивают СОТС на водной основе. При охлаждении водной эмульсией (линии 4, 5) можно выделить три зоны значений интенсивности охлаждения. При температуре нагрева инструментальных (Т15К6, ВК8) пластин менее 373 К интенсивность охлаждения составляет 120...160 К/с; для интервала температур 373...673° К она составляет 560 К/с; наибольшего значения в 1500 К/с интенсивность охлаждения достигает при нагреве свыше 700 К.

Для масляных СОТС (типа МР-1) интенсивность охлаждения (линии 2, 3) составит примерно 360 К/с при нагреве до 700 К и достигнет 500 К/с при температуре свыше 700 К.

Данные графиков на рис. 1.46 носят, естественно, условный и приближенный характер. В действительности на интенсивность охлаждения влияют множество различных факторов, учет которых в практике затруднен. В частности, на интенсивность охлаждения нагретого элемента большое влияние оказывают скорость подвода–отвода охлаждающей СОТС, температура СОТС в момент подвода, масса охлаждаемой пластины, характер и конструкция ее крепления, равномерность нагрева пластины, площадь контакта пластины с охлаждающей СОТС и т.д.



**Рис. 1.46. Характер изменения интенсивности охлаждения пластин твердого сплава различными СОТС:**

1 – воздух (Т15К6, ВК8); 2 – масляная СОЖ МР-1 (Т15К6); 3 – масляная СОЖ МР-1 (ВК8); 4 – 5%-ная эмульсия (Т15К6); 5 – 5%-ная эмульсия (ВК8)

Определение значения интенсивности охлаждающего действия СОТС необходимо для правильного их назначения при фрезеровании. Следует устанавливать допустимую интенсивность охлаждения для используемого материала, так как при ее превышении может произойти разрушение инструмента.

Наиболее чувствительны к изменению температуры твердые сплавы. Так, например, стандартная пластина твердого сплава Т15К6 толщиной 10 мм, нагретая до температуры 800...1100 К, допускает скорость снижения температуры (интенсивность охлаждения) не более чем 100...150 К/с. Если охладить такую пластину водным раствором эмульсола (охлаждаемая интенсивность 1500 К/с), то на пластине из-за температурных деформаций возникнут трещины. Поэтому в практике фрезерных работ при использовании твердосплавного инструмента водные растворы эмульсолов применяют сравнительно редко.

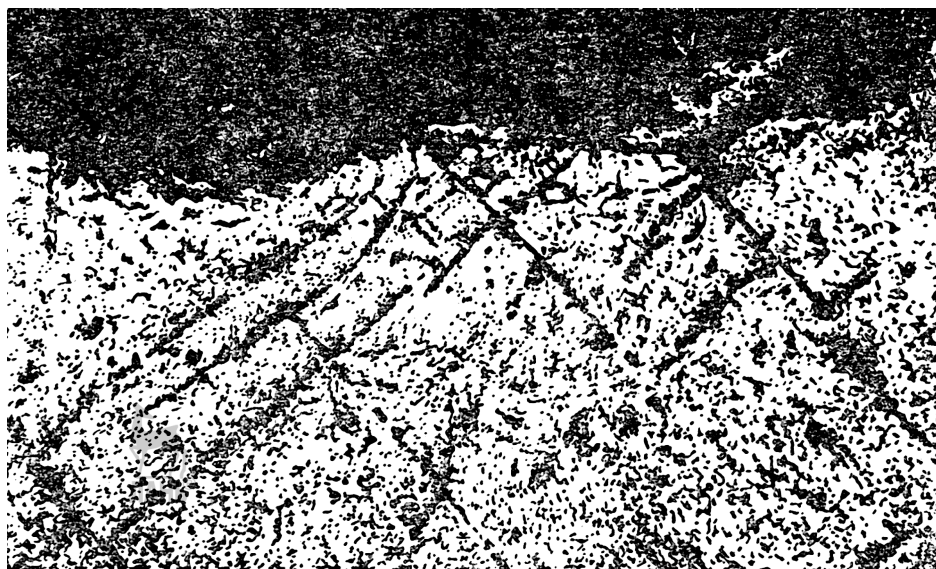
Инструменты из быстрорежущих сталей менее чувствительны к изменениям температуры. Так, фрезы из стали Р18 допускают использование СОТС, т.е. водных растворов различных эмульсолов, обеспечивающих интенсивность охлаждения 900...1000 К/с.

Для облегчения выбора СОТС с целью создания оптимальных условий работы инструмента разработаны специальные методики.

## 1.9. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Качество обработанной поверхности определяется двумя группами параметров, одна из которых отражает физико-механические свойства материала поверхностного слоя обработанной поверхности, а другая характеризует геометрию реальной поверхности.





**Рис. 1.47. Поверхностный слой фрезерованной поверхности (увеличенное фото шлифа)**

При фрезеровании качество поверхностного слоя зависит от ряда факторов, основными из которых являются силы и температура в зоне резания.

При снятии стружки зубом фрезы (рис. 1.47) под действием силы резания обрабатываемая поверхность пластически деформируется, что иногда приводит к ее упрочнению (наклепу).

Глубина и степень наклепа зависят прежде всего от свойств обрабатываемого материала, от углов заточки режущего инструмента, подачи и скорости резания, степени затупления зубьев фрезы.

На формирование поверхностного слоя обработанной поверхности оказывает влияние теплота, образующаяся при резании. В процессе резания поверхностный слой заготовки резко нагревается и расширяется. Нижние слои металла (менее нагретые) препятствуют расширению и в поверхностном слое заготовки возникают сжимающие напряжения.

Охлаждение участка поверхностного слоя после обработки приводит к сжатию, чему препятствуют нижние и соседние слои металла, имеющие пока еще высокую температуру. На поверхности возникают растягивающие напряжения. Необходимо отметить, что чрезмерный нагрев поверхности может привести к разупрочнению поверхностного слоя или даже его разрушению (рис. 1.47). В ряде случаев наличие на поверхности наклепанного слоя является полезным, так как повышается ее износостойкость.

Вторая группа параметров, определяющих качество обработанной поверхности, характеризует геометрию реальной поверхности и прежде всего ее шероховатость и форму (табл. 1.15). Эти параметры обусловлены рядом факторов,

### 1.15. Параметры поверхности и точность обработки при различных видах фрезерования

Фреза	Вид фрезерования	Параметр режима резания		Параметр шероховатости, мкм		Квалитет
		$t$ , мм	$S_0$ , мм/об	$Ra$	$Rz$	
Цилиндрическая	Черновое	Св.2	0,02...0,2	25...50	100...200	12–14, (11)
	Чистовое	До 2	0,04...0,3	3,2*...6,3	12,5...25	11, (10)
	Отделочное	До 0,5	0,04...0,05	0,63...1,6	–	8, (7); 9
Торцовая	Черновое	Св.2	0,15...0,2	6,3...12,5	25...50	12–14(11)
	Чистовое	До 2	0,2...0,3	3,2* (1,6)...6,3	12,5...25	11, (10)
	Отделочное	До 0,5	0,04...0,05	(0,8)...1,6	–	8, (7); 9
Концевая	Черновое	Св.2	0,02...0,2	1,25...25	50...1000	12–14
	Чистовое	До 2	0,04...0,15	3,2...6,3	12,5...25	11, (10)
	Отделочное	До 0,5	0,02...0,04	(0,8)...1,6	–	8, (7); 9

Примечания: 1. Параметры шероховатости указаны для сталей; заготовки из сплавов на медной основе после фрезерования имеют такие же шероховатости; при обработке чугунов, алюминия и алюминиевых сплавов параметры шероховатости соответствуют меньшим значениям, приведенным в таблице; в круглых скобках указаны предельно достижимые значения параметра  $Ra$  и квалитета.

2. Звездочкой отмечены средние значения параметра  $Ra$  для данного вида обработки.

таких как износ режущего инструмента, погрешности элементов технологической системы, дефекты рабочих поверхностей режущего инструмента, неравномерность припуска и т.д. Геометрия реальной поверхности, как и физико-механические свойства поверхностного слоя, оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства деталей.

Таким образом, очевидна необходимость обоснованного выбора, как общей последовательности обработки деталей в целом, так и четкой регламентации отдельных операций. На практике такая регламентация осуществляется заданием определенных технологических процессов обработки деталей, устанавливаемых обычно технологическими службами предприятий – изготовителей изделий. Технологические процессы оформляются документально с учетом стандартов и действующих правил.



## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

---

### 2.1. ЭЛЕМЕНТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

*Производственный процесс* представляет собой совокупность всех действий людей и орудий производства, направленных на изготовление или ремонт выпускаемых изделий (ГОСТ 3.1109–89). Таким образом, производственный процесс включает техническую подготовку производства, процессы, непосредственно связанные с изготовлением деталей, контролем и их сборкой, а также вспомогательные операции, например, обслуживание рабочих мест, ремонт оборудования, хранение, доставка заготовок или готовых изделий и т.п.

*Техническая подготовка* состоит из конструкторской (конструирования изделий) и технологической подготовки. Технологическая подготовка производства (ГОСТ 14.004–83\*) определяется как совокупность взаимосвязанных процессов, обеспечивающих технологическую готовность предприятий (или предприятия) к выпуску изделий заданного уровня качества при установленных сроках, объеме выпуска и затратах.

*Технологический процесс механической обработки* – часть производственного процесса, непосредственно связанная с изменением размеров, формы или свойств материала обрабатываемой заготовки. Технологический процесс состоит из ряда операций, осуществляемых в определенной последовательности.

*Технологическая операция* – законченная часть технологического процесса обработки заготовки (или нескольких заготовок), выполняемая на одном рабочем месте одним работником или бригадой. Операция является основной единицей планирования, трудоемкости и учета. С учетом трудоемкости каждой операции рассчитывают общую трудоемкость изготовления детали и изделия в целом, необходимое количество станочного оборудования, режущего инструмента, сроки выполнения работ и другие данные. Операция включает ознакомление с чертежом (или операционным эскизом) изготавливаемой детали, получение режущего, вспомогательного и мерительного инструментов и приспособлений, установку заготовки на станке, обработку всех элементов заготовки, снятие ее со станка и возвращение на склад оснастки.

*Установ* представляет собой часть технологической операции, выполняемой при неизменном закреплении обрабатываемой заготовки или собираемой сборочной единицы. Например, операция предусматривает фрезерование на заготовке уступов с двух сторон. При отсутствии поворотного приспособления первоначально обрабатывают один уступ, затем заготовку открепляют, поворачивают на 180°, снова закрепляют и фрезеруют второй уступ. Следовательно, эту операцию выполняют за два установка.

*Позиция* – фиксированное положение закрепленной заготовки или собираемой сборочной единицы относительно инструмента или неподвижной части оборудования для выполнения определенной части операции. Если для выполнения операции предусмотрено поворотное приспособление, позволяющее изменять и фиксировать положение обрабатываемой заготовки без ее открепления и повторного закрепления, то операция состоит из одного установа и осуществляется позиционно – на двух позициях.

*Технологический переход* – законченная часть технологической операции, характеризующаяся постоянством режущего инструмента, режима работы и обрабатываемых поверхностей. Следующий переход начинается при изменении какого-либо из параметров. Если производится одновременная обработка нескольких поверхностей (например, фрезерование набором фрез), то такой переход называется сложным переходом.

*Вспомогательный переход* – законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека (или оборудования), которые не сопровождаются изменением формы, размеров и шероховатости поверхностей. Примеры вспомогательного перехода: установка и крепление заготовки, перемещение ее к режущему инструменту, настройка на размер.

*Рабочий ход* – законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, которое сопровождается изменением формы, размеров, шероховатости поверхности или свойств заготовки. Например, фрезерование поверхности с большим припуском может быть выполнено за несколько последовательных рабочих ходов. Для каждого рабочего хода при этом остаются неизменными обрабатываемая поверхность, режущий инструмент и режим резания.

*Вспомогательный ход* – переход, состоящий из однократного перемещения режущего инструмента относительно заготовки, который не сопровождается изменением формы, шероховатости поверхности или свойств заготовки. Например, при фрезеровании перемещение стола с заготовкой к фрезе в вертикальном направлении является вспомогательным ходом.

Степень детализации технологического процесса, характер его построения в основном определяются видом производства.

## 2.2. БАЗИРОВАНИЕ ЗАГОТОВОК

Для того чтобы в процессе обработки обеспечить заданные чертежом размеры и форму обрабатываемой заготовки, необходимо придать ей определенное положение относительно выбранной системы координат, т.е. осуществить базирование (ГОСТ 21495–76\*). *Базой* называют поверхность (или совокупность поверхностей), линии или точки заготовки, используемые для базирования.

Главную роль при базировании играют опорные точки. Под *опорной точкой* понимается идеальная точка контакта поверхности заготовки и приспособления, лишаящая заготовку одной степени свободы. Твердое тело (обрабатываемая заготовка) в пространстве имеет шесть степеней свободы, т.е. его можно пере-

мещать в трех взаимно перпендикулярных направлениях  $ox$ ,  $oy$ ,  $oz$  и вращать относительно этих осей (рис. 2.1, *a*).

Следовательно, чтобы ориентировать определенным образом обрабатываемую заготовку в приспособлении для ее базирования, необходимо иметь шесть опорных точек. Это правило в технологии машиностроения называют *правилом шести точек*.

В зависимости от числа опорных точек, определяющих базирование, различают: установочную базу (рис. 2.1, *б*) направляющую базу (рис. 2.1, *в*) и упорную базу (рис. 2.1, *г*). Установочная база, задаваемая тремя опорными точками, лишает призматическую заготовку трех степеней свободы, а именно: перемещения вдоль оси  $oz$  и поворота относительно осей  $ox$  и  $oy$ .

Направляющая база определяется опорными точками и лишает заготовку двух степеней свободы: перемещения вдоль оси  $ox$  и вращения относительно оси  $oz$ . Упорная база создается одной опорной точкой, лишая заготовку одной степени свободы – перемещения вдоль оси  $oy$ .

Таким образом, в качестве установочной базы необходимо выбирать поверхность с наибольшими размерами, что позволит расположить три опорные точки на значительном расстоянии друг от друга и не на одной прямой. За направляющую базу следует принимать наиболее длинную поверхность, а самая малая поверхность может быть использована как упорная база.

В ряде случаев нет необходимости в ориентировании заготовки с использованием всех шести опорных точек. Например, при фрезеровании плоскости заготовки (рис. 2.2) необходимо выдержать один размер  $20_{-0,1}$ . Для обработки детали настроенным инструментом достаточно ориентировать заготовку только относительно установочной базы приспособления.

На технологических чертежах обычно принято обозначать не опорные точки, а реальные опоры, материально реализующие эти точки. Обозначение базо-

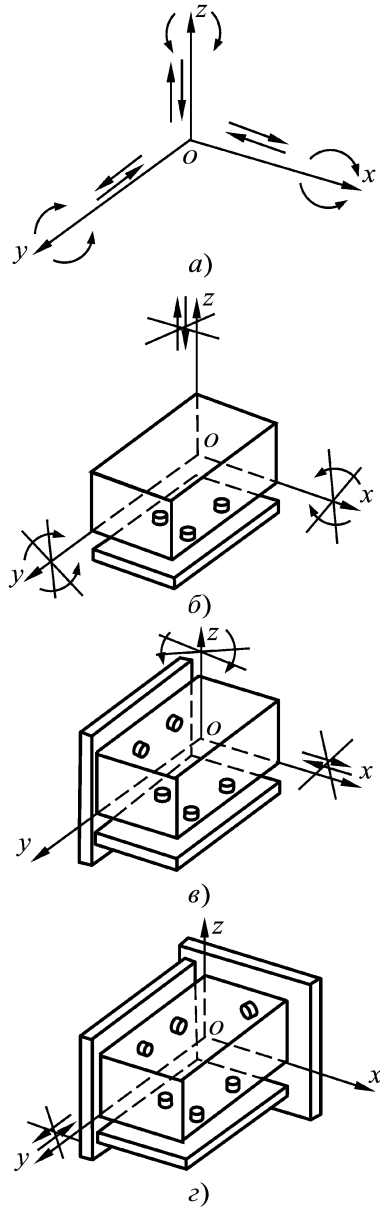
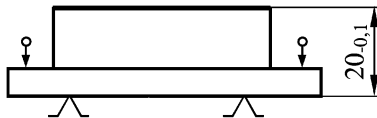


Рис. 2.1. Общая схема базирования заготовки



**Рис. 2.2. Схема базирования заготовки при фрезеровании плоскости**

вых элементов осуществляется принятыми по ГОСТ 21495–76\* условными обозначениями.

База, используемая для определения относительного положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта, называется *технологической*. Существуют также конструкторские, измерительные базы.

Для получения наименьших погрешностей при обработке деталей следует стремиться к соблюдению так называемого принципа единства баз. Несоблюдение этого принципа приводит к появлению погрешностей при обработке. Как правило, вопросы базирования заготовок решаются инженерами-технологами при проектировании приспособлений.

### 2.3. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Одним из основных принципов построения технологического процесса является принцип совмещения технических, экономических и организационных задач, решаемых в данных производственных условиях. Технологический процесс должен безусловно обеспечить выполнение всех требований к точности и качеству деталей и изделия в целом, предусмотренных чертежами и техническими условиями, при наименьших затратах труда и минимальной себестоимости. Существует несколько вариантов обработки деталей, одинаково удовлетворяющих требованиям чертежа и техническим условиям, однако предполагающих различную стоимость обработки. Для заданных условий и масштаба производства следует выбрать тот вариант, который наилучшим образом удовлетворяет указанным выше требованиям. Выбор оптимального варианта технологического процесса требует в ряде случаев расчета экономической эффективности и сравнения себестоимости вариантов обработки.

При проектировании технологических процессов механической обработки исходными являются следующие данные: программное задание; чертежи и технические условия на изготовление и приемку изделия; вид заготовки, зависящий от размера партии, материала, геометрической формы и размера детали, и др.

В общем случае разработка *технологических процессов* ведется по следующему алгоритму:

1. Изучение чертежей деталей и технических условий на их изготовление.
2. Выбор способа получения заготовки для деталей в зависимости от размера партии и материала; определение размеров припусков на обработку.

3. Определение по чертежам деталей базирующих поверхностей (черновых и чистовых). Назначение первой исходной операции на основе правила черновых баз.

4. Определение последовательности и характера операции в соответствии с конфигурацией, точностью и шероховатостью обрабатываемых поверхностей, заданных по чертежу детали.

В большинстве случаев обработку заготовки целесообразно производить в следующей последовательности:

а) черновая обработка, при которой снимают основную часть общего припуска;

б) получистовая и чистовая обработка, при которой обеспечивается в основном заданная точность;

в) отделочная обработка, при которой достигается требуемая шероховатость поверхности, точность формы и размеров детали.

5. Выбор для каждой операции станка, приспособлений, режущего, вспомогательного и измерительного инструмента, способов закрепления с учетом количества одновременно обрабатываемых заготовок.

6. Определение для каждого перехода расчетных размеров обрабатываемых поверхностей, числа проходов и режима резания.

7. Нормирование для каждого перехода основного технологического (машинного) и вспомогательного времени.

Разработка технологических процессов механической обработки для массового и крупносерийного производства ведется двумя методами: концентрацией и дифференциацией операций.

*Концентрацией* операций называется соединение нескольких операций в одну, более сложную, а *дифференциацией* – расчленение операций на несколько более простых.

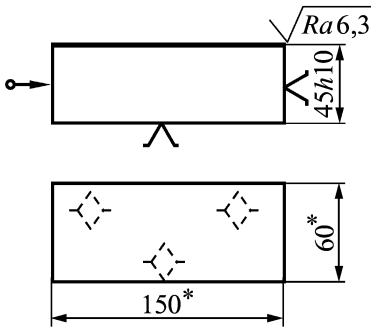
Обработка заготовок набором фрез, обработка на многошпиндельных станках, токарных автоматах и полуавтоматах, агрегатных станках выполняется по методу концентрации операций.

На основанные детали рекомендуется разработать 2–3 варианта технологического процесса, чтобы определить наиболее экономичный при заданных условиях обработки.

## 2.4. ОФОРМЛЕНИЕ МАРШРУТНОЙ И ОПЕРАЦИОННОЙ КАРТ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Технологический процесс механической обработки оформляется в соответствии с правилами, установленными стандартами, составляющими и определяющими комплекс *единой системы технологической документации* (ЕСТД).

По ГОСТ 3.1102–81\* основными документами, регламентирующими технологический процесс обработки заготовок, являются: маршрутная карта, карта эскизов, технологическая инструкция, ведомость оснастки, операционная карта. Маршрутная карта составляется для различных видов производств. Ее назначение может быть различным.



**Рис. 2.3. Операционный эскиз для фрезерной операции**

Для единичного и мелкосерийного производства *маршрутная карта* может содержать не только наименование (перечень) операций, но и сокращенные данные по исполнению некоторых из них. В этом случае обычно маршрутную карту дополняют операционным эскизом или прилагают к ней чертеж изготавливаемой детали.

В маршрутной карте (ГОСТ 3.1105–84\*), состоящей из нескольких граф, занесены: данные, характеризующие материал и заготовку; последовательность и наименование операций (без разделения, на переходы); применяемое оборудование и технологическая оснастка;

нормы подготовительно-заключительного и штучного времени.

Для серийного и массового производства разрабатывают *операционные карты*, которые содержат подробные указания, необходимые для изготовления и контроля деталей.

В операционную карту занесены: описание технологической операции с указанием почти всех ее элементов, режим резания, средства оснащения и другие данные. Некоторые графы операционной карты заполняют аналогично графам маршрутной карты.

Технологические переходы обычно нумеруют арабскими цифрами, отдельно для каждой операции. Запись технологических переходов осуществляют по полной или сокращенной форме при использовании следующих обозначений:  $D$  – диаметр отверстия, мм;  $d$  – диаметр вала, мм;  $l$  – длина, мм;  $b$  – ширина, мм;  $t$  – глубина, мм;  $h$  – высота, мм;  $R$  – радиус поверхности, мм;  $\angle$  – угол, град;  $i$  – число рабочих ходов;  $S$  – подача, при фрезеровании указывается в мм/мин или мм/зуб;  $n$  – частота вращения шпинделя, мм/об;  $v$  – скорость главного движения резания, м/мин.

Размерность при записи в операционной карте не указывают.

Операционная карта дополняется операционным эскизом, который по своему содержанию заменяет чертеж детали. Заготовку изображают на эскизе в положении, которое она занимает (со стороны рабочего) после окончания операции.

На эскизе проставляют только те размеры с предельными отклонениями, выполнение которых осуществляется на данной операции.

На операционном эскизе указываются требуемая шероховатость обрабатываемых поверхностей, опоры (определяющие технологические базы), точки приложения сил зажима заготовки. На эскизе проставляют также справочные размеры.

Обрабатываемые поверхности заготовки изображают утолщенной сплошной линией. При полной записи номер размера обрабатываемой поверхности проставляют в окружности диаметром 6...8 мм, располагая его на продолжении



размерной линии; при сокращенной записи нумеруют не размеры, а обрабатываемые поверхности. На рис. 2.3 показан операционный эскиз для фрезерной операции.

Подробный материал по правилам оформления технологической документации можно найти в соответствующей справочной литературе.

Операционная карта на технологический процесс является документом, требования которого обязательны для всех участвующих в изготовлении детали. Нарушение технологического процесса недопустимо. Вносить поправки в технологический процесс при его изменении могут только сотрудники технологической службы. Свои предложения по совершенствованию элементов технологического процесса рабочий должен передавать мастеру, бригадиру или бюро изобретательства и рационализации цеха.

## 2.5. ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ

Под *техническим нормированием* понимают совокупность мероприятий, направленных на установление технических норм затрат труда. Для рабочего-станочника особенно важной является техническая норма времени на технологическую операцию, которую рабочий выполняет на станке. Эта норма (в мин) указывается в графах операционной технологической карты и определяет расчетное время, отведенное на исполнение данной операции по обработке детали.

В техническом нормировании расчетное время технологической операции принято определять как штучное время  $T_{шт}$ . Основными составляющими этого времени являются основное (машинное) время  $T_0$  и вспомогательное время  $T_в$ . В штучное время также включают время на обслуживание рабочего места  $T_{о.р.м}$  и время отдыха  $T_{от}$ :

$$T_{шт} = T_0 + T_в + T_{о.р.м} + T_{от}.$$

*Основное время*  $T_0$  – время, в течение которого происходит изменение формы и размеров обрабатываемой заготовки, т.е. осуществляется процесс резания. При фрезеровании основное время определяют на рабочий ход по формуле:

$$T_0 = \frac{L}{S_m} = \frac{l + l_1 + l_2}{S_m},$$

где  $L = l + l_1 + l_2$  – расчетная длина обработки, мм; длина  $L$  складывается из  $l$  – длины обрабатываемой поверхности заготовки и  $l_1$  и  $l_2$  – длин врезания и перебега режущего инструмента;  $S_m$  – минутная подача.

Для различных видов фрезерования расчетная длина обработки может быть различной. При обработке цилиндрическими, дисковыми, отрезными и другими фрезами при заданной длине обработки величину врезания можно определить из зависимости, мм:

$$l_1 = \sqrt{t(D-t)} + (0,5...3).$$

Величину перебега  $l_2$  выбирают в зависимости от диаметра фрезы и принимают 2...5 мм.

*Вспомогательное время*  $T_{\text{в}}$  предусмотрено для выполнения вспомогательных переходов: выверки, закрепления и снятия заготовки, пуска и остановки шпинделя станка, подвода заготовки к фрезе и отвода ее, настройки режущего инструмента на заданный размер, установки режима резания и других приемов. Для определения  $T_{\text{в}}$  существуют специальные нормативы.

Время  $T_{\text{о.р.м}}$  – время обслуживания рабочего места – равно сумме времени технического (смазка узлов станка, их регулировка, удаление стружки и др.) и организационного обслуживания (получение инструмента, документов и т.д.). Время  $T_{\text{от}}$  – время перерывов на отдых и естественные надобности, устанавливаемое в зависимости от условий выполнения работы.

Сумма основного и вспомогательного (неперекрываемого) времени характеризует оперативное время  $T_{\text{оп}} = T_{\text{о}} + T_{\text{в}}$ .

При обработке партии деталей различают еще так называемое подготовительно-заключительное время  $T_{\text{п-з}}$ . В общем случае считается, что это время, которое тратится на наладку и настройку станка для обработки партии в  $n$  заготовок. Сумма штучного времени  $T_{\text{шт}}$  и  $1/n$  части подготовительно-заключительного времени определяет *штучно-калькуляционное время*  $T_{\text{ш-к}}$ , мин,

$$T_{\text{ш-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п-з}}}{n}.$$

Величина  $T_{\text{ш-к}}$  является основой для определения нормативной производительности рабочего-станочника. Зная фонд рабочего времени  $\Phi$  (например, длительность рабочей смены), можно определить заданную нормами производительность рабочего на данной операции в штуках ( $K$  изготовленных деталей):

$$K = \Phi / T_{\text{ш-к}}.$$

Знание норм выработки на каждой технологической операции является важным стимулом для совершенствования приемов труда и повышения ее производительности, позволяет оценить вклад каждой составляющей в общий фонд штучного времени и выявить резервы, способствующие снижению фактически затрачиваемого времени.

## 2.6. ДОПУСКИ И ПОСАДКИ. ОТКЛОНЕНИЯ ФОРМЫ И ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Любая операция механической обработки связана с получением из исходной заготовки детали определенной формы, размеров и с заданной шероховатостью поверхностей. В технологических документах требования к обрабатываемой детали указываются в соответствии с установленными правилами и понятиями. Рассмотрим кратко эти понятия применительно к фрезерным операциям.

**Допуски и посадки.** Числовые значения элементов деталей выражаются размерами, которые указывают на чертежах и операционных эскизах как размеры номинальные, заданные. Эти размеры могут быть линейными и угловыми, т.е. определяющими значения углов.

Для обеспечения взаимозаменяемости деталей на все размеры чертежей указывают предельно допустимые отклонения. Действительный размер обработанной детали, т.е. размер, установленный измерением с допустимой погрешностью, не должен выходить за определенные пределы, называемые допуском. *Допуск* – это разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами, которые определяются по номинальному размеру и заданным отклонениям.

Допустимые отклонения на размеры в чертежах обычно задаются конструктором исходя из требования взаимозаменяемости и нормального функционирования детали в проектируемой машине. Принято, что основными сопрягаемыми деталями являются вал с размером  $d$  и отверстие с размером  $D$ . Допускается условно применять термины «отверстие» и «вал» по отношению к другим охватывающим и охватываемым поверхностям. Так, размеры шпонки условно рассматривают как размеры вала, а ширину, глубину, длину паза под шпонку – как размеры отверстия.

Основным документом для назначения допусковых отклонений на линейные размеры является **Единая система допусков и посадок (ЕСДП)**. Основные положения системы определены ГОСТ 25346–89 и ГОСТ 25347–82 в ред. 1992 г.

В системе допусков и посадок рассматривают только предельные размеры. Большой из двух предельных размеров (рис. 2.4) называется наибольшим предельным размером ( $D_{\max}$ ,  $d_{\max}$ ), а меньший – наименьшим предельным размером ( $D_{\min}$ ,  $d_{\min}$ ). Например, конструктор установил, что нормальная работа сопрягаемых деталей (рис. 2.4, а) обеспечивается при следующих предельных размерах (мм):

$$D_{\max} = 25,052; \quad D_{\min} = 25,00;$$

$$d_{\max} = 24,960; \quad d_{\min} = 24,927.$$

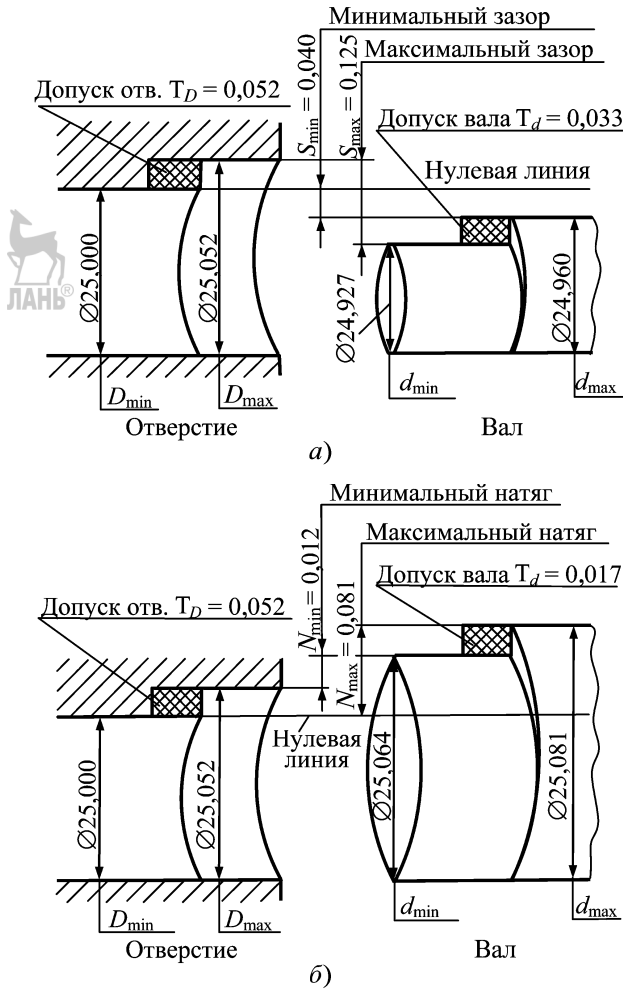
Такое сопряжение определяется как сопряжение с зазором. Если отклонение размеров будет назначено (рис. 2.4, б):

$$D_{\max} = 25,052; \quad D_{\min} = 25,00;$$

$$d_{\max} = 25,081; \quad d_{\min} = 25,064,$$

то сопряжение определится как соединение с натягом.

Но в любых случаях вал и отверстие деталей должны быть изготовлены с действительными размерами в пределах заданных охранении. При расчетах отклонений размеров сопрягаемых элементов обычно за базу берут нулевую линию сопряжения (рис. 2.5): для отверстия  $ES = D_{\max} - D_n$ , для вала  $es = d_{\max} - d_n$ .



**Рис. 2.4. Предельные размеры сопрягаемых деталей:**  
 а – соединение с зазором; б – соединение с натягом

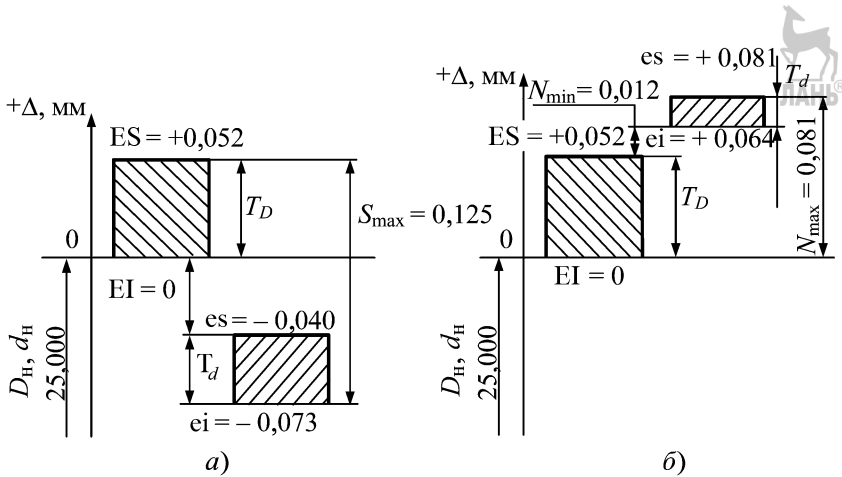
Для рассматриваемого примера (см. рис. 2.5, а):

$$ES = 25,052 - 25,000 = 0,052; es = 24,960 - 25,00 = -0,040.$$

Нижние предельные отклонения для отверстия  $EI = D_{\min} - D_H$ ,

$$\text{для вала } ei = d_{\min} - d_H.$$

Для рассматриваемого примера (см. рис. 2.5, а):  $EI = 25,000 - 25,000 = 0$ ;  
 $ei = 24,927 - 25,000 = -0,073$ .



**Рис. 2.5. Схема поля допуска сопрягаемых деталей:**  
 а – соединение с зазором; б – соединение с натягом

Таким образом, предельные отклонения могут быть положительными, отрицательными и равными нулю.

Допуском размера Т будет разность между наибольшим и наименьшим размерами:

$$T_D = D_{\max} - D_{\min}; T_d = d_{\max} - d_{\min}.$$

Для рассматриваемого примера (см. рис. 2.5, а):

$$T_D = 25,052 - 25,000 = 0,052; T_d = 24,960 - 24,927 = 0,033.$$

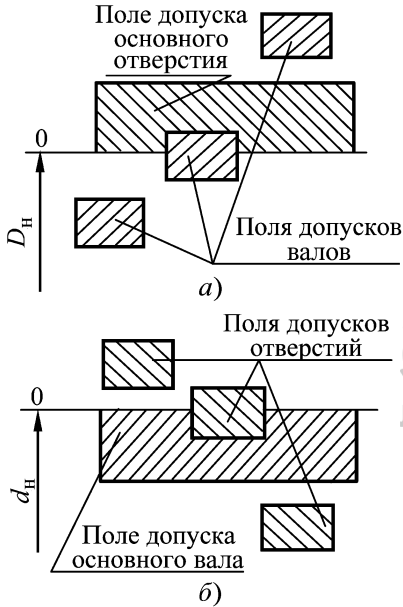
Допуск определится и как абсолютная величина алгебраической разности между верхним и нижним предельными отклонениями.

Допуск – величина всегда положительная. Полем допуска называют зону, ограниченную линиями соответствующих предельных отклонений.

Для простоты обеспечения нужного вида сопряжения деталей принято учитывать либо отклонения отверстия, либо вала. Это и положено в основу образования и применения двух систем посадок – отверстия (СА) и вала (СВ).

В системе отверстия поле допуска на изготовление отверстия для одного и того же размера и качества остается постоянным, а различные посадки достигаются путем изменения размеров вала (рис. 2.6, а). Отверстие в этой системе является основным. На схеме поля допуска нижнее предельное отклонение отверстия совпадает с нулевой линией. Буква Н на чертежах характеризует систему отверстия.

В системе вала поле допуска на изготовление вала для одного и того же размера и качества остается постоянным, а различные посадки достигаются путем изменения размеров отверстия (см. рис. 2.6, б). Вал в этой системе являет-



**Рис. 2.6. Построение посадок:**  
 а – в системе отверстия; б – в системе вала

Обработка могут быть получены точности размеров, соответствующие квалитетам 7...14.

При обозначении размеров на операционных эскизах (см. рис. 2.3) отклонения указывают буквой, а квалитет – числом (например,  $h10$ ).

При указании размеров в сопряжении деталей (например, на сборочных чертежах) рядом с размером указывают заданную посадку в виде дроби. В числителе содержится обозначение отклонения и квалитет отверстия, в знаменателе – аналогичные характеристики вала. Например, в системе отверстия  $\varnothing 45 H9/f8$ , в системе вала  $\varnothing 25 F9/h8$ .

**Отклонения формы обрабатываемых поверхностей.** Отклонением формы называется отклонение формы реальной поверхности (ограничивающей тело и отделяющей его от окружающей среды) от формы номинальной поверхности, заданной чертежом. Отклонение формы рассматривается либо на всей поверхности, либо на ограниченном нормируемом участке. Параметром для количественной оценки отклонения формы является наибольшее расстояние от точек реальной поверхности до прилегающей поверхности в пределах некоторого участка. Это расстояние измеряют по нормали к прилегающей поверхности.

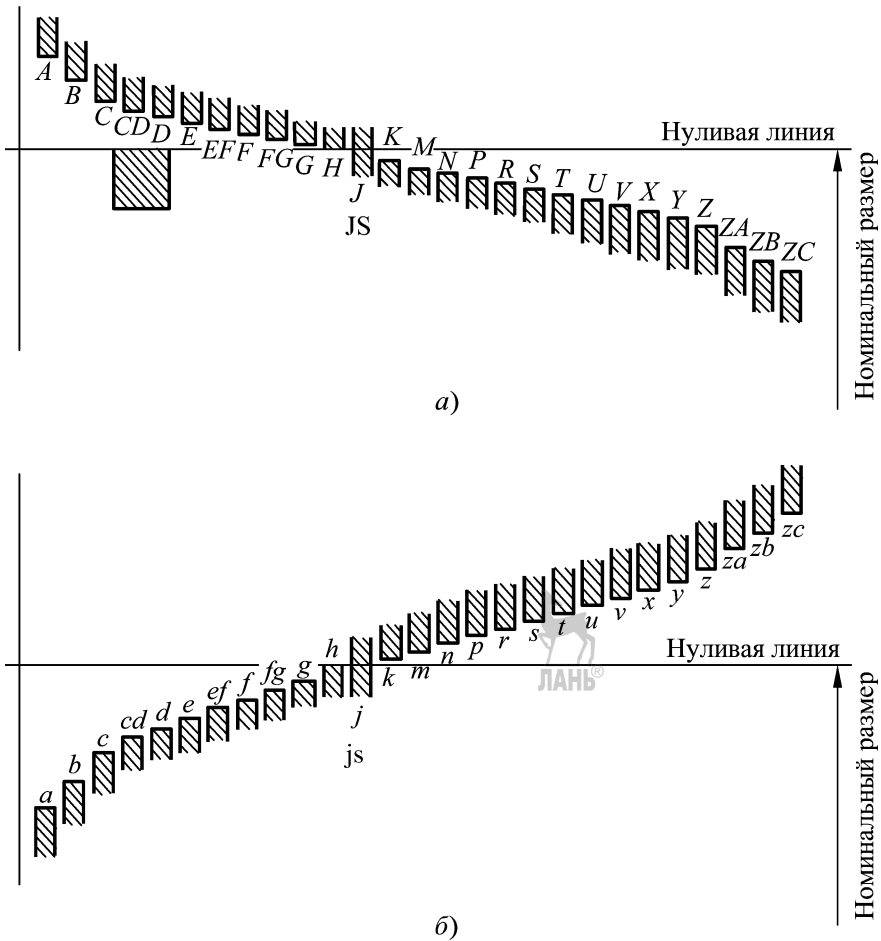
Согласно требованиям ГОСТ 2.308–79\* (СТ СЭВ 368–76) допуски формы поверхностей на чертежах указывают условными обозначениями (рис. 2.8), а в технических требованиях – текстом.

ся основным. На схеме поля допуска верхнее предельное отклонение вала совпадает с нулевой линией. На чертежах буква  $h$  характеризует систему вала.

Положение отклонений относительно нулевой линии в ЕСДП обозначают буквами латинского алфавита, прописными буквами – для отверстий, строчными – для валов (рис. 2.7). При этом за исходное принято положение  $H$  для отверстия (нижнее отклонение находится на нулевой линии) и  $h$  для вала (верхнее отклонение находится на нулевой линии).

Числовые значения отклонений и допусков в ЕСДП нормируются номерами квалитетов, которых насчитывается 19. В зависимости от значения размера и номера квалитета таблицами определены числовые значения верхних и нижних отклонений.

Операциями механической обра-



**Рис. 2.7. Основные отклонения отверстий (а) и валов (б), принятые ЕСДП**



В большинстве фрезерных операций основным обрабатываемым элементом являются плоскости. К плоскостям и их взаимному расположению предъявляются различные требования, которые записываются на операционных эскизах и чертежах. Отклонение от плоскостности на чертеже относится ко всей обрабатываемой плоскости, к ее определенному участку либо к тому и другому. В первом случае допуск указан на всю обрабатываемую плоскость (рис. 2.9, а). Допуск относится к любому участку плоскости, имеющему площадь 300×300 мм, если обозначение соответствует рис. 2.9, б. При варианте, показанном на рис. 2.9, в, допуск 0,1 мм задан ко всей плоскости, а допуск 0,05 мм относится к любому участку плоскости, имеющему площадь 200×200 мм.

Отклонение от прямолинейности на чертеже указывается также либо по отношению ко всей плоскости (рис. 2.9, з), либо к участку заданной длины (рис. 2.9, д), либо на всю плоскость и участок длины (рис. 2.9, е).

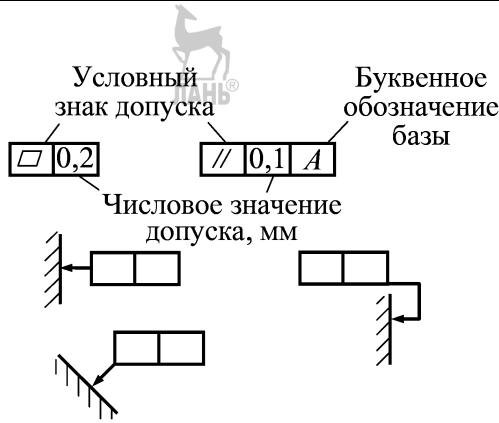


Рис. 2.8. Условные обозначения допуска формы и расположения поверхностей

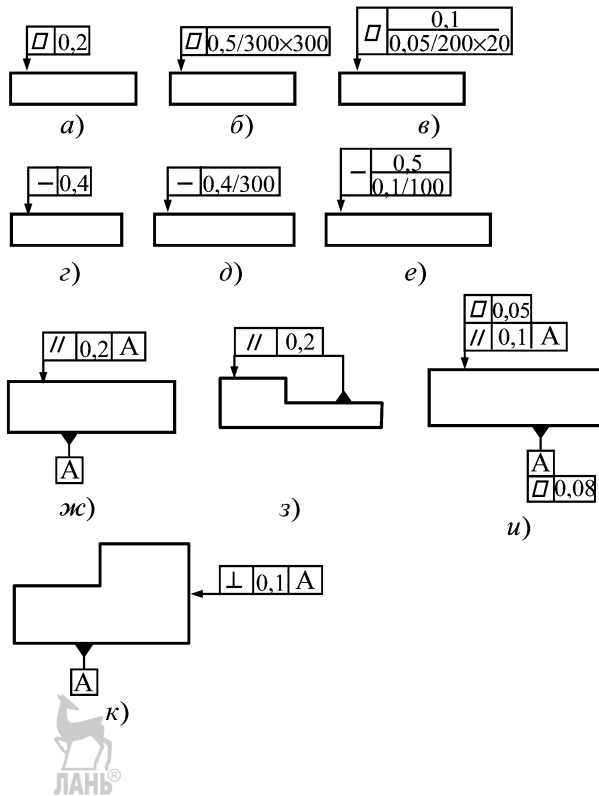


Рис. 2.9. Примеры обозначения допустимых отклонений: от плоскостности (а, б, в), прямолинейности (г, д, е), параллельности (ж, з), перпендикулярности (к) и совместно от плоскостности и параллельности (и)



Отклонение от параллельности обрабатываемой контролируемой плоскости задается относительно базовой плоскости, обозначаемой буквой или зачерненным треугольником (рис. 2.9, ж, з). На чертеже возможно задание совмещенных допусков, например плоскостности и параллельности, в том числе и на базовую плоскость (рис. 2.9, и).

Отклонение от перпендикулярности определяют как неперпендикулярность проекций плоскостей на общую теоретическую плоскость (рис. 2.9, к).

Точность угла между плоскостями может быть задана двумя способами: а) указанием предельных отклонений от номинального угла в угловых единицах (ГОСТ 8908–81 или СТ СЭВ 178–75); б) указанием допуска наклона в линейных (мм) единицах (рис. 2.10).

Нормирование геометрической точности поверхностей сложной формы производят либо допуском формы заданного профиля и поверхности (рис. 2.11, а), либо предельными отклонениями (рис. 2.11, б) и отдельными допусками (рис. 2.11, в).

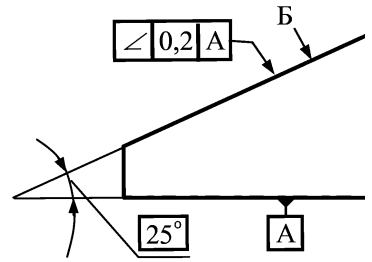


Рис. 2.10. Указание отклонений наклона поверхности (Б) относительно базовой (А)

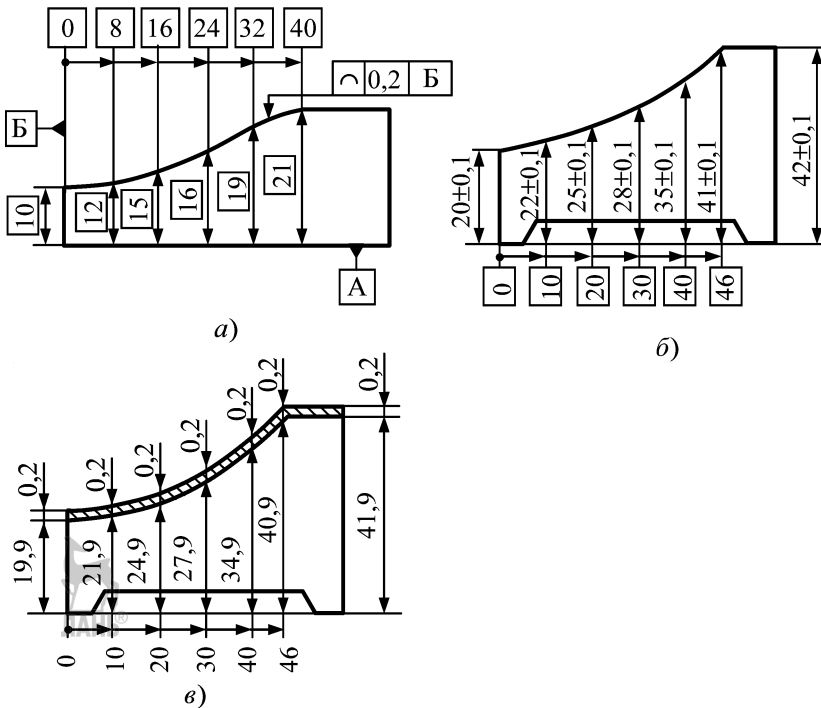


Рис. 2.11. Указание отклонений криволинейных поверхностей

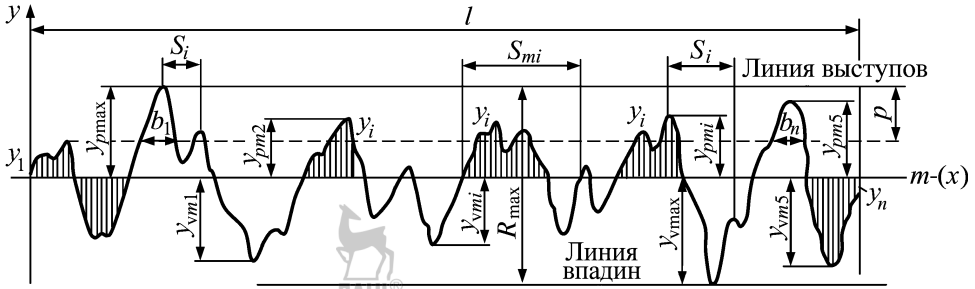


Рис. 2.12. Параметры шероховатости

В первом случае (рис. 2.11, а) значение допуска на профиль (например, 0,2 мм) проставляется в рамке условного обозначения перед рамкой с заданными базовыми поверхностями АБ. В квадратах указывают номинальные размеры вертикальные – 10, 12...21 и горизонтальные – 0, 8, 16...40, определяющие положение точек контроля профиля относительно базовых поверхностей. Поле допуска (0,2 мм) указывает на симметричное ( $\pm 0,1$  мм) расположение точек действительного профиля относительно номинального профиля в заданных точках контроля по нормали к номинальному профилю.

Задание точности профиля предельными отклонениями (см. рис 2.11, б) или отдельными допусками (см. рис. 2.11, в) определяет допустимое положение действительного профиля в контролируемых точках относительно номинальных размеров с отклонениями (см. рис. 2.11, б) или непосредственно допуском (см. рис. 2.11, в).

**Шероховатость поверхности** – совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, образующих рельеф обработанной поверхности. Шероховатость оказывает большое влияние на эксплуатационные характеристики деталей, и на операционных эскизах ее всегда указывают в соответствии с установленными ГОСТ 2789–73 и ГОСТ 2.309–73\* требованиями.

Шероховатость поверхности оценивают по неровностям профиля, получаемого путем сечения реальной поверхности плоскостью в пределах ограниченного участка, длина которого называется базовой длиной  $l$  (рис. 2.12). Отсчет отклонений производят от базы, которой является средняя линия профиля.

Основными параметрами шероховатости, которые указываются на операционных эскизах, являются параметры  $Ra$  и  $Rz$ .

*Параметр  $Ra$*  – среднее арифметическое отклонение профиля. Это отклонение есть среднее арифметическое из абсолютных значений отклонений профиля  $y_i$  от вершин до средней линии в пределах базовой длины. Для определения данной характеристики необходимо просуммировать все значения расстояний  $y_i$  (см. рис. 2.12) от линии профиля до средней линии и разделить эту сумму на количество измеренных расстояний  $n$ , мкм:

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|.$$

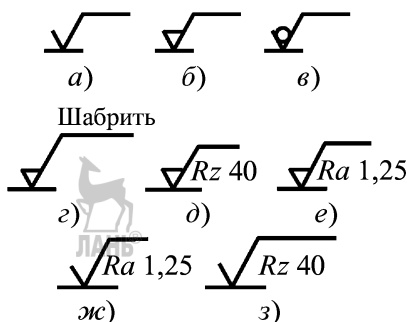


Рис. 2.13. Знаки для указания шероховатости

Параметр  $Rz$  – высота неровностей профиля по десяти точкам. Это отклонение есть сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля  $y_{pmi}$  и глубин  $y_{vmi}$  пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины, мкм:

$$Rz = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pmi}|}{5} + \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{vmi}|}{5}.$$

При нормировании шероховатости различают также наибольшую высоту неровностей профиля  $R_{\max}$ , мкм, средний шаг неровностей  $S_m$ , мм, относительную длину профиля  $t_p$ , %.

Для обозначения шероховатости на чертеже применяют определенные знаки. Основной знак (рис. 2.13, а) обозначает шероховатость поверхности, метод обработки которой на чертеже не устанавливается. Знаком  $\checkmark$  на рис. 2.13, б обозначается шероховатость, образованная обязательным удалением слоя металла. Знак  $\checkmark$  на рис. 2.13, в указывает шероховатость, образованную без удаления слоя материала (литьем, ковкой и др.)

Числа, которые пишутся под знаком (рис. 2.13, ж, з), указывают либо максимально допустимую величину  $Ra$  в мкм, либо допустимую величину  $Rz$ .

Обязательное удаление слоя металла одним из методов механической обработки (точением, фрезерованием, сверлением и т.д.) для достижения задаваемой шероховатости указывается знаком, показанным на рис. 2.13, б и г. Этим знаком указывают допустимую величину  $Rz$  (рис. 2.13, д), пределы величины  $Ra$  (рис. 2.13, е).

Параметры шероховатости поверхности, которые могут быть получены при фрезеровании, указаны в табл. 2.1.

### 2.1. Шероховатость поверхности и точность, достижимые при фрезеровании заготовок

Вид фрезерования	Параметр шероховатости, мкм		Квалитет
	$Ra$	$Rz$	
Торцовой фрезой:			
черновое	25...40	100...160	13...14
чистовое	6...10	25...40	10...11
тонкое	1,6...2,0	6,3...10	8...9
шабрающее	0,63...1,0	2,5...4	7...8
Цилиндрической фрезой:			
черновое	25...50	100...200	13...14
чистовое	6...12,5	40...63	10...11
тонкое	1,6...2,5	6,3...10	9...10
Концевой фрезой:			
черновое	1,25...25	50...100	12...14
чистовое	3,2...6,3	12,5...25	11

*Волнистость поверхности* – это совокупность периодически повторяющихся неровностей, у которых расстояние между смежными возвышенностями или впадинами превышает базовую длину. Волнистость занимает промежуточное положение между шероховатостью и отклонениями формы поверхности.

Параметры волнистости – высота  $W_z$ , средний шаг  $S_w$ , наибольшая высота  $W_{max}$ . При скоростном фрезеровании плоскостей высота волны может достигать 1,4...6,0 мкм с шагом 1,6...5,2 мкм.



# ФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ



### 3.1. КЛАССИФИКАЦИЯ СТАНКОВ ФРЕЗЕРНОЙ ГРУППЫ

В России принята Единая схема классификации и условных обозначений станков отечественного производства, основанная на присвоении каждому из них особого шифра (номера). Первая цифра номера означает группу станка (токарная, сверлильная, фрезерная и т.д.), вторая – его тип, третья (иногда и четвертая) характеризует размер станка. В обозначениях фрезерных станков последняя цифра обычно отражает размер стола (табл. 3.1).

В ряде случаев между первой и второй цифрами вводится прописная буква русского алфавита, указывающая на то, что станок улучшен или модифицирован. Прописная буква в конце шифра указывает на ту или иную область применения данной модификации (например: П – повышенной точности; ПБ – повышенной точности, быстроходный; Ш – широкоуниверсальный; Ф – с числовым программным управлением, и т. д.).

Фрезерные станки в принятой классификации составляют шестую группу, поэтому обозначение (шифр) любого фрезерного станка начинается с цифры 6. **Классификация** предусматривает 8 основных типов станков: 1 – вертикальные консольные; 2 – непрерывного действия; 3 – (резерв); 4 – копировальные и гравировальные; 5 – вертикальные бесконсольные; 6 – продольнофрезерные; 7 – консольные широкоуниверсальные; 8 – горизонтальные консольные; 9 – разные станки, к которым относят резьбофрезерные, шлицефрезерные, шпоночно-фрезерные и др.

В зависимости от вида выполняемых работ, уровня специализации, конструктивных особенностей названия *основных типов станков* могут быть детализированы: горизонтально-фрезерные консольные; горизонтально-фрезерные консольные универсальные; вертикально-фрезерные консольные (с поворотным столом); вертикально-фрезерные консольные; фрезерные широкоуниверсальные высокой и повышенной точности и др.

Как и станки других групп, фрезерные станки могут быть различного *класса точности*: Н – станок нормальной точности, П – повышенной, В – высокой, А – особо высокой, С – особо точный (прецизионный).

Индекс точности (кроме Н) может быть указан в шифре модели станка. Так, например, шифр фрезерного станка модели 6М13ПБ читается так: станок фрезерной группы (цифра 6) модернизирован по сравнению с предыдущей моделью (буква М); тип станка – вертикальный консольный (цифра 1); размеры стола: 400×1600 мм (цифра 3); точность повышенная, быстроходный (индексы П и Б).

### 3.1. Индексация размеров стола фрезерных станков

Цифра в обозначении станка	Примеры обозначений моделей станка	Размеры стола, мм
0	6Н10 : 6Н80Г	200×800
1	6М11 : 6М81Г	250×1000
2	6М12П : 6М82	320×1250
3	6М13П : 6М83	400×1600
4	6Н14 : 6М84Г	500×2000

### 3.2. ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

Несмотря на разнообразие типов и размеров, станки фрезерной группы имеют общие узлы, к которым можно отнести: основание станка, станину, салазки, шпиндель, коробки скоростей и подачи, консоль (для консольных станков).

*Станина* предназначена для крепления всех узлов и механизмов станка. В зависимости от типа станка станины могут иметь горизонтальное или вертикальное исполнение. Горизонтальные станины крупногабаритных, например продольно-фрезерных, станков устанавливают на фундамент всей опорной поверхностью. Вертикальные станины монтируют на основании станка, которое установлено или закреплено на фундаменте. Для большинства станков станины выполняют из серого чугуна.

*Шпиндель фрезерного станка* служит для передачи крутящего момента режущему инструменту от коробки скоростей. От точности вращения шпинделя, его жесткости и виброустойчивости в значительной мере зависит точность обработки. Примерно 50 % всех проверок на точность, выполняемых в процессе изготовления, сборки и ремонта станка, приходится на шпиндельный узел.

*Коробка скоростей* является главным узлом привода главного движения станка и предназначена для передачи шпинделю станка различных частот вращения от электродвигателя привода. Коробку скоростей располагают внутри станины. Управляют коробкой с помощью механизма переключения частот вращения шпинделя.

*Коробка подачи* обеспечивает получение рабочих подач и быстрые перемещения стола, салазок, консоли (у консольных станков).

*Стол станка* монтируется на направляющих и перемещается по ним в продольном направлении. У консольных станков направляющие стола смонтированы на салазках, которые являются промежуточным элементом между столом и консолью. Нижней частью салазки установлены на поперечных направляющих консоли и могут вместе со столом перемещаться в поперечном направлении.

*Консоль* – элемент консольных фрезерных станков коробчатой формы с вертикальными и горизонтальными (поперечными) *направляющими*. Вертикальными направляющими консоль соединена со станиной и может перемещаться по ней. По горизонтальным (поперечным) направляющим перемещаются салазки. Консоль может быть закреплена на направляющих станины по высоте специальными зажимами и является базовым узлом, объединяющим все остальные узлы цепи подачи и распределяющим движение на продольную, поперечную и вертикальную подачу. Консоль поддерживается стойкой, в которой имеется телескопический винт для ее подъема и опускания.

### 3.3. КОНСОЛЬНО-ФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ



Консольно-фрезерные станки наиболее распространены. Стол консольно-фрезерных станков с салазками расположен на консоли и перемещается в трех направлениях: продольном, поперечном и вертикальном.

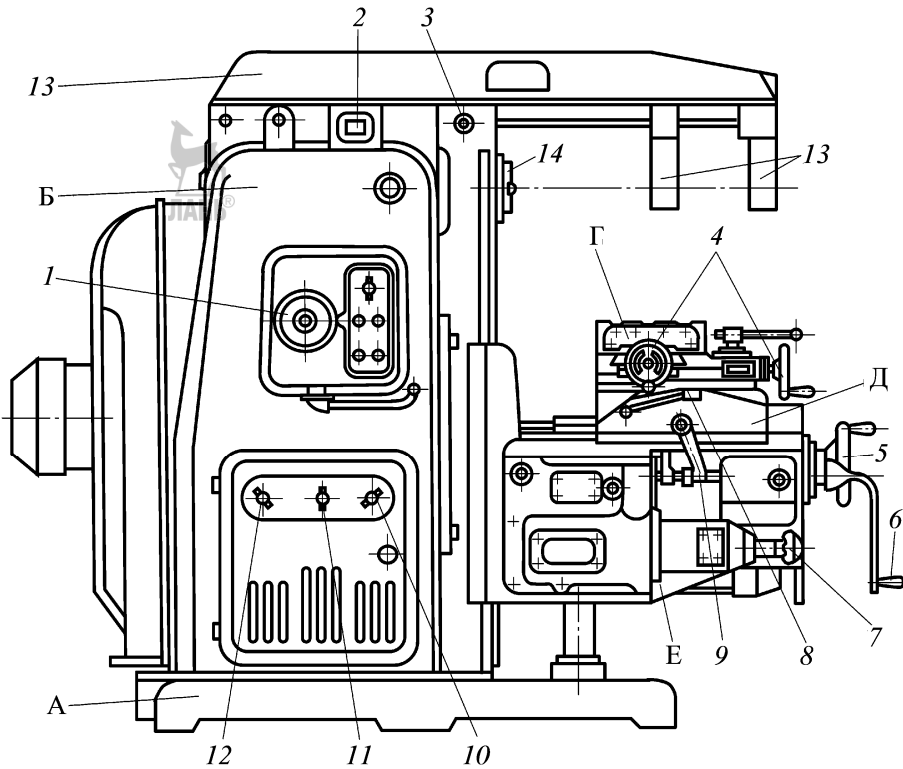
Консольно-фрезерные станки делятся на горизонтально-фрезерные (с неповоротным столом), универсально-фрезерные (с поворотным столом), вертикально-фрезерные и широкоуниверсальные. На базе вертикально-фрезерных станков выпускают копировально-фрезерные станки, станки с программным управлением и др.

Консольно-фрезерные станки предназначены для выполнения различных фрезерных работ цилиндрическими, дисковыми, торцовыми, фасонными и другими фрезами в условиях единичного и серийного производства. На них можно фрезеровать разнообразные заготовки соответствующих размеров (в зависимости от размеров рабочей площади стола) из стали, чугуна, цветных металлов, пластмасс и других материалов.

На универсальных фрезерных станках, имеющих поворотный стол, с помощью делительной головки можно фрезеровать винтовые канавки на режущих инструментах (сверлах, развертках и др.) и других деталях, а также нарезать зубья прямозубых и косозубых цилиндрических зубчатых колес. Широкоуниверсальные станки предназначены для выполнения различных фрезерных, сверлильных и несложных расточных работ главным образом в условиях единичного производства (в экспериментальных, инструментальных, ремонтных цехах и др.).

Консольный горизонтально-фрезерный станок показан на рис. 3.1. Основание станка А – чугунная отливка большой жесткости. В основании размещен резервуар для охлаждающей жидкости, а также установлен электродвигатель с насосом для подачи СОТС. Основание крепят к фундаменту специальными болтами либо устанавливают на виброгасящих опорах.

Внутри станины Б расположены следующие узлы: коробка скоростей, электродвигатель главного движения с ременной передачей, шпиндельный узел. На верхних горизонтальных направляющих станины размещен хобот В. В требуемом положении хобот крепится гайкой З. На хоботе могут быть установлены



**Рис. 3.1. Общий вид консольного горизонтально-фрезерного станка:**

А – основание; Б – станина; В – хобот; Г – стол; Д – салазки; Е – консоль.

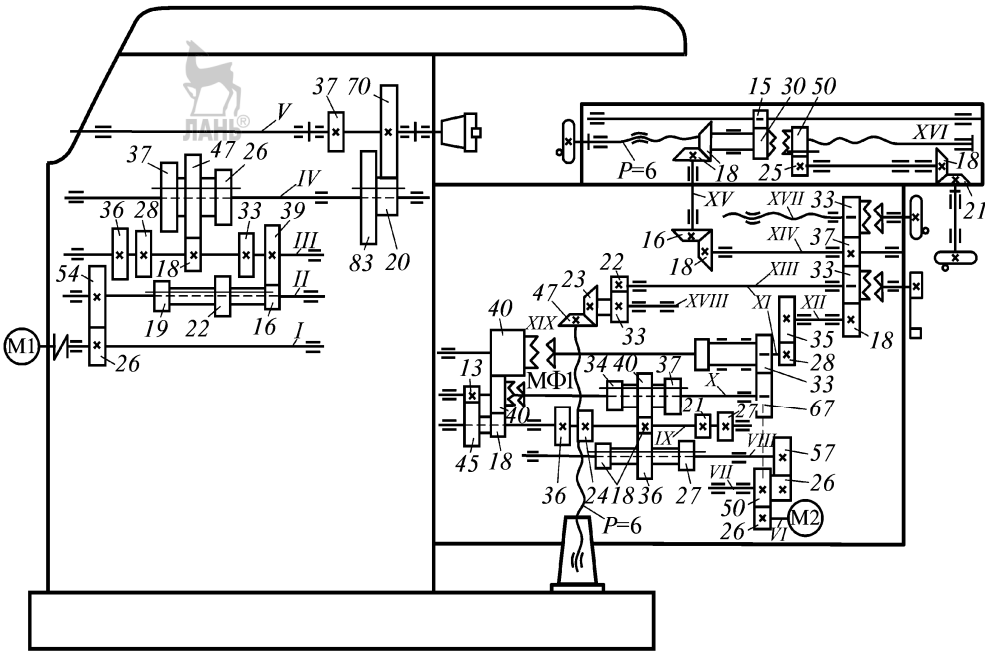
1 – механизм для изменения частоты вращения шпинделя; 2 – винт перемещения хобота; 3 – гайка крепления хобота; маховики для перемещения стола в продольном (4) и в поперечном (5) направлении; 6 – рукоятка подъема консоли; 7 – лимб механизма переключения подач; 8, 9 – рукоятки зажима салазок; 10–12 – элементы включения освещения, подачи СОТС, изменения направления вращения шпинделя; 13 – опоры; 14 – шпиндель

опоры (серьги) 13, в которых находятся подшипники для базирования конца оправки с фрезой. Крепление оправки осуществляется в конусном гнезде шпинделя 14.

На верхней части консоли Е расположены салазки Д, которые могут перемещаться в поперечном направлении. На салазках размещен стол Г, который имеет возможность перемещения в продольном направлении (продольная подача). Внутри консоли смонтирована коробка механизма подач и ускоренного перемещения с электродвигателем и механизмом управления. На передней части консоли и стола расположены органы управления станком.

Кинематическая схема приводов главного движения и подач консольного горизонтально-фрезерного станка показана на рис. 3.2. Привод главного движе-





**Рис 3.2. Кинематическая схема приводов главного движения и подач консольного горизонтально-фрезерного станка**

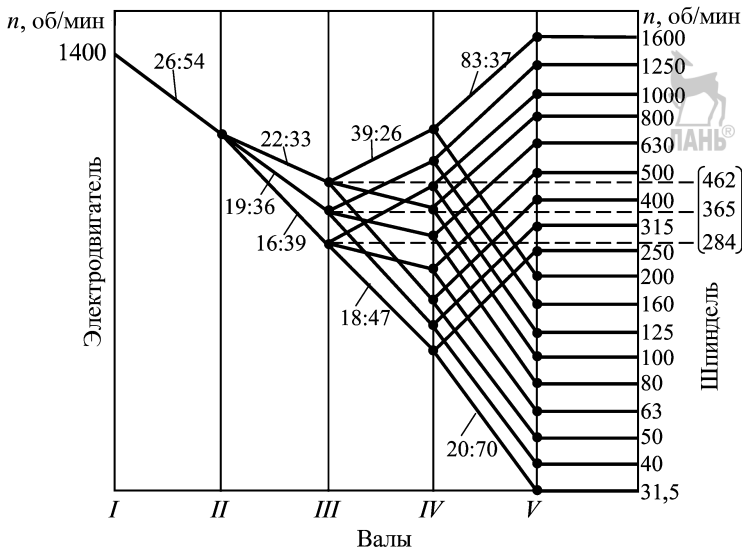
ния обеспечивает вращение шпинделя с заданной частотой, а также передачу на шпиндель заданного крутящего момента от электродвигателя М1. Частоту вращения шпинделя изменяют посредством установки заданного сочетания зубчатых колес.

Кинематическая схема позволяет получить определенное количество частот вращения, которое может быть представлено структурной диаграммой (рис. 3.3).

Вращение от электродвигателя М1 к шпинделю станка передается по следующей цепи (рис. 3.2): электродвигатель М1 (частота вращения 1440 об/мин), муфта, пара зубчатых колес 26:54, вал II. Вращение с вала II на вал III можно передать через одну из зубчатых пар с помощью подвижного блока зубчатых колес с числом зубьев: 19, 22 и 16. В определенном положении блока зубчатые колеса могут быть соединены с зубчатыми колесами вала III в таком сочетании: 16:39, 19:36 и 22:33.

Валу III можно сообщить одну из трех частот вращения: 284, 365 и 462 об/мин (рис. 3.3). С вала III на вал IV вращение передается через пары зубчатых колес 28:37, 18:47 и 39:26. Такое сочетание колес обеспечивается смещением по валу IV тройного блока.

С вала IV на вал V (шпиндель) вращение может быть передано парой зубчатых колес 83:37 или 20:70. Передача обеспечивается при определенном положении за счет подвижных блоков (двух тройных и одного двойного), шпиндель станка



**Рис. 3.3. Структурная диаграмма значений частот вращений шпинделя**

может иметь 18 различных частот вращения в соответствии со структурной диаграммой (рис. 3.3).

Передача вращения от электродвигателя к шпинделю может быть представлена в виде уравнения кинематической цепи:

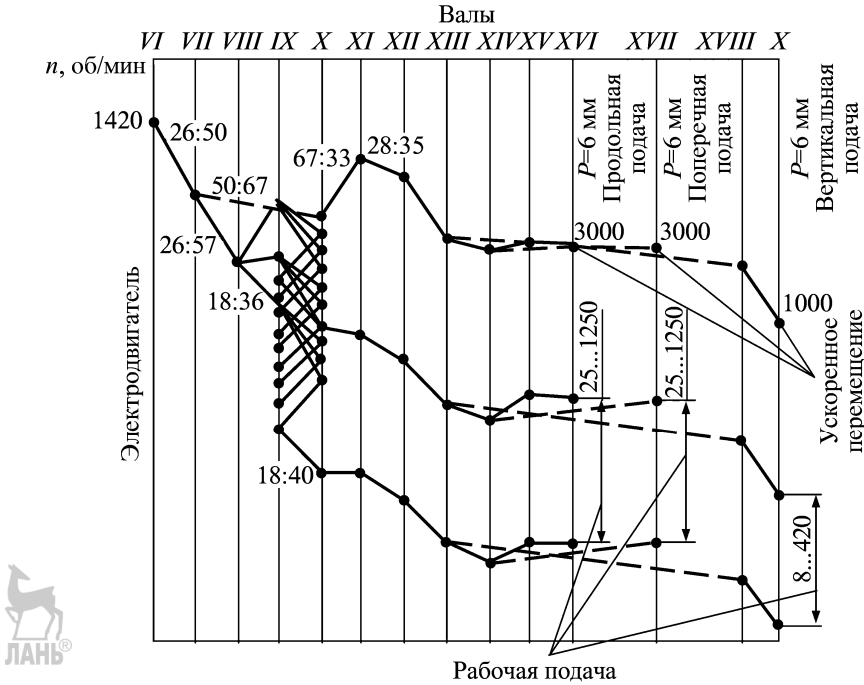
$$M1 - I \frac{26}{54} II \left( \begin{array}{c} \frac{16}{39} \\ \frac{19}{36} \\ \frac{22}{33} \end{array} \right) III \left( \begin{array}{c} \frac{18}{47} \\ \frac{28}{37} \\ \frac{39}{26} \end{array} \right) IV \left( \begin{array}{c} \frac{20}{70} \\ \frac{83}{37} \end{array} \right) V \text{ (шпиндель)}$$

Расчетная наименьшая частота вращения шпинделя (об/мин) будет соответствовать варианту, когда в зацеплении установлены передачи с наименьшими значениями передаточного отношения:

$$n_{\min} = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{16}{39} \cdot \frac{18}{47} \cdot \frac{20}{70} = 31,1,$$

а наибольшая частота вращения будет обеспечена, если в зацеплении будут находиться передачи с максимальными передаточными отношениями.





**Рис. 3.4. Структурная диаграмма значений подач**

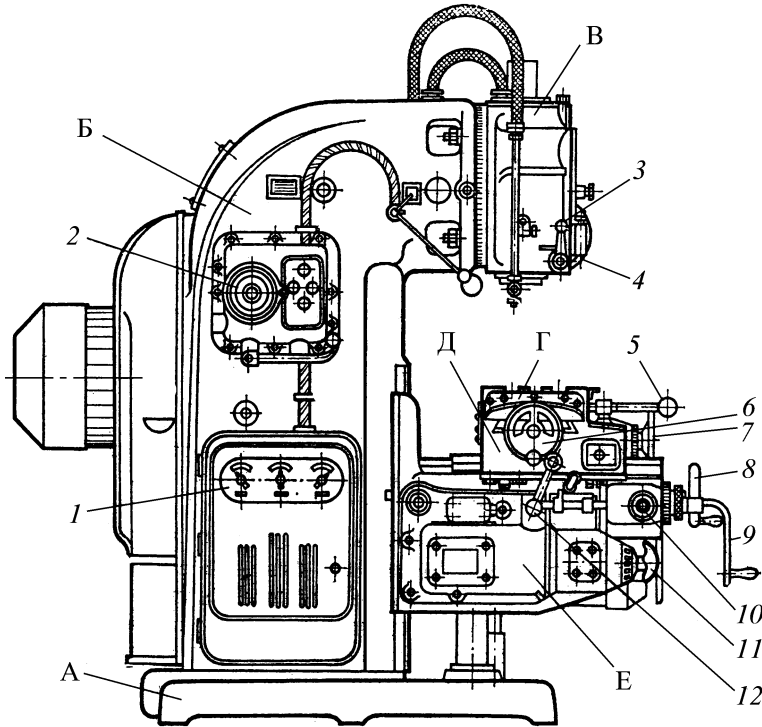
Изменение направления вращения шпинделя обеспечивают реверсированием электродвигателя.

Привод подач станка позволяет от одного электродвигателя M2 обеспечить определенный диапазон продольных, поперечных и вертикальных подач соответственно столу, салазкам и консоли по структурной диаграмме, показанной на рис. 3.4.

От электродвигателя M2 (см. рис. 3.2) на вал VIII вращение передается через пары колес 26:50, 26:57. С помощью тройного блока (27:36:18) вала VIII через промежуточный вал IX на вал X вращение передается с помощью тройного блока (37:40:34) вала X. Эти два тройных блока обеспечивают девять различных частот вращения вала X. Далее возможны два варианта передачи вращения с вала X на следующие.

*Вариант 1.* При включении муфты МФ1 (см. рис. 3.2) вращение от вала X на вал XI будет передаваться через шестерни 40:40, затем через шестерни 28:35 на вал XII и далее.

*Вариант 2.* При отключенной муфте МФ1 (см. рис. 3.2) вращение на вал XI передается с вала X через перебор 33:67, который работает как понижающая передача. Следовательно, валу XI можно сообщить 18 различных частот вращения, и это число соответствует количеству значений подач стола в продольном (через



**Рис. 3.5. Общий вид консольного вертикально-фрезерного станка:**

А – основание; Б – станина; В – шпиндельная головка; Г – стол; Д – салазки;  
 Е – консоль: 1 – пульт переключателей; 2 – маховичок переключения частот вращения шпинделя; 3 – рукоятка зажима гильзы шпинделя; 4 – маховичок перемещения гильзы шпинделя; 5 – рукоятка управления продольным перемещением стола;  
 6, 7 – маховички продольного перемещения стола; 8 – маховичок поперечного перемещения стола; 9 – рукоятка перемещения консоли; 10 – рукоятка управления механическим перемещением стола; 11 – лимб механизма переключения подач;  
 12 – рукоятка зажима стола

валы *XIV* и *XV*), поперечном (винт *XVII*) и вертикальном направлениях. Перемещение стола в соответствующем направлении достигается включением той или иной муфты.

Ускоренное перемещение стола в заданном направлении обеспечивают включением дисковой фрикционной муфты (на схеме не показано). При включении муфты происходит сцепление зубчатого колеса 50 вала *VII* с зубчатым колесом 67 вала *X*. Используя уравнение кинематической цепи, можно определить величину ускоренного хода продольного движения стола, мм/мин:

$$S_{\text{уск}} = 1420 \cdot \frac{26}{40} \cdot \frac{50}{67} \cdot \frac{67}{33} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{37} \cdot \frac{18}{16} \cdot \frac{18}{18} \cdot 6 \approx 3000.$$

По уравнению кинематической цепи можно определить и значение минимальной рабочей подачи стола в продольном направлении, мм/мин:

$$S_{\min} = 1420 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{18}{36} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{13}{45} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{37} \cdot \frac{18}{16} \cdot \frac{18}{18} \cdot 6 \approx 25.$$

Кинематическая цепь, при которой продольная подача наибольшая, будет следующей, мм/мин:

$$S_{\max} = 1420 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{36}{18} \cdot \frac{24}{34} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{37} \cdot \frac{18}{16} \cdot \frac{18}{18} \cdot 6 \approx 1250.$$

Переключение частот вращения шпинделя и установление требуемой подачи осуществляется на станке с помощью специальных механизмов, обеспечивающих перемещение соответствующих зубчатых блоков.

Для консольных вертикально-фрезерных станков характерно вертикальное положение шпинделя, размещаемого в шпиндельной головке В (рис 3.5). В ряде конструкций станков шпинделю можно сообщить осевое смещение путем перемещения гильзы. При необходимости, например, фрезерования скосов и наклонных поверхностей шпиндельную головку станка можно развернуть на угол от вертикали в обе стороны до 40°.

Кинематические цепи приводов главного движения и подач консольных вертикально-фрезерных станков и консольных горизонтально-фрезерных станков, как правило, существенно не отличаются.

Определенная особенность некоторых моделей консольных вертикально-фрезерных станков состоит в том, что эти станки могут быть настроены на работу по полуавтоматическому или автоматическому циклу при управлении продольными перемещениями стола. При этом характер циклов может быть различным. Настройку обычно производят при фрезеровании партии заготовок.

*Настройка* осуществляется установкой в боковой Т-образный продольный паз стола соответствующих кулачков (рис. 3.6). При полуавтоматическом цикле программируют команды: а) быстрый ход стола с заготовкой из исходной точки к режущему инструменту; б) рабочая подача, в процессе которой осуществляется фрезерование заготовки; в) реверс с быстрым возвратом стола (после окончания фрезерования) и остановкой его в исходной точке. Этот цикл управления выполняется путем воздействия кулачков на элементы рукоятки б управления продольным перемещением стола. Кулачки 1 и 3 обеспечивают остановку стола в крайних точках хода. В этих точках рукоятка должна занимать среднее положение, что и обеспечивается воздействием скоса кулачка 3 (или 1) на выступ 4 управляющего элемента рукоятки. Поэтому кулачок 3 останавливает движение стола в крайнем левом положении, а кулачок 1 – в крайнем правом.



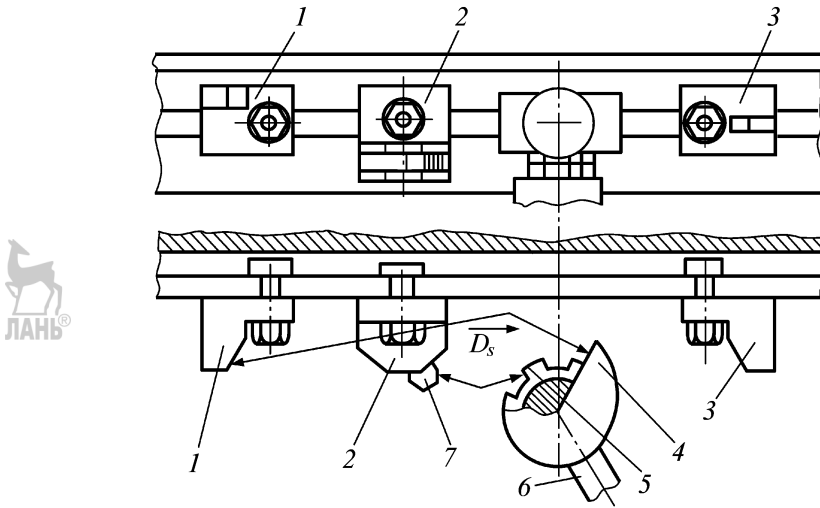


Рис. 3.6. Схема установки кулачков для управления механизмом продольных подач стола

Изменение быстрого хода стола на рабочий (и наоборот) осуществляется кулачком 2, который при движении стола упором 7 воздействует на выступ звездочки 5 рукоятки управления подачей, поворачивая ее. При рассматриваемой схеме установки кулачков цикл движения стола обеспечивается движением его на быстром ходу, переключением на рабочую подачу и остановкой в конце хода.

Реверсирование движения стола с одновременным изменением скорости его движения осуществляется установкой в точке реверса двух кулачков рядом (кулачка, воздействующего на рукоятку, и кулачка, воздействующего на звездочку). Цикл движения стола с реверсом показан на рис. 3.7. Начало движению стола на быстром ходу в исходной точке задается поворотом рукоятки. Когда кулачок 2 повернет звездочку (при движении стола влево), произойдет переключение

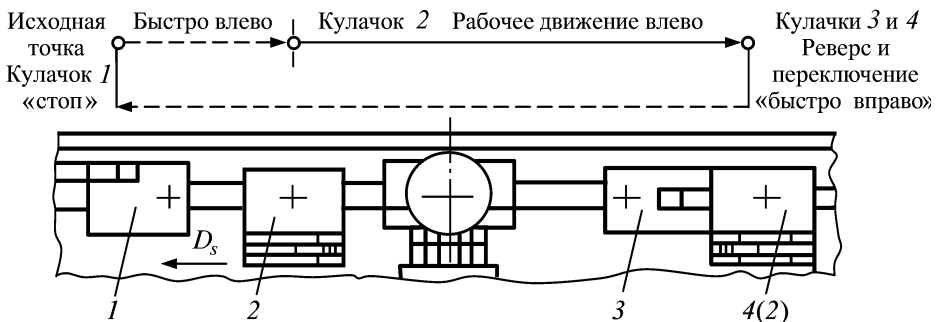


Рис. 3.7. Схема установки кулачков и замкнутый цикл движения стола

скорости стола с быстрого хода на рабочую подачу. В конце рабочего движения кулачки 3 и 4 при одновременном воздействии на рукоятку переключения подач и звездочку обеспечат столу реверс и включение быстрого хода. В исходной точке кулачок 1 остановит стол.

При необходимости станок может быть настроен на автоматический маятниковый цикл движения стола, например, «быстро вправо–подача вправо–быстро влево–подача влево–быстро вправо» и т.д. При таком цикле фрезеровщик устанавливает заготовки в приспособлении попеременно то с правой, то с левой стороны стола.

Для работы по полуавтоматическому или автоматическому циклу требуется установка переключателя рода работ в положение «автоматическое управление».

### 3.4. ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ С КРЕСТОВЫМ СТОЛОМ (БЕСКОНСОЛЬНЫЕ)

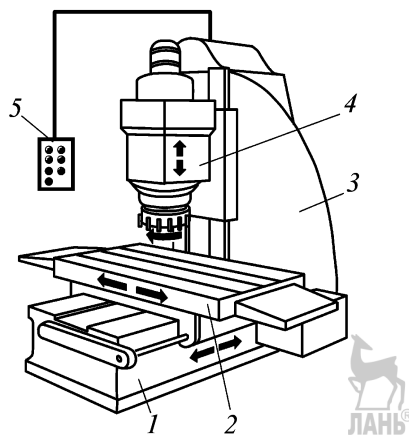


У вертикальных бесконсольных фрезерных станков крестовый стол расположен на неподвижной станине и может перемещаться в продольном и поперечном направлениях (рис. 3.8). На таких станках можно обрабатывать большие и тяжелые заготовки в условиях единичного и серийного производства. Фрезерование производится главным образом торцовыми головками, а также торцовыми, цилиндрическими и фасонными фрезами.

Повышенная мощность и жесткость, высокие частоты вращения шпинделя позволяют производить на этих станках скоростное фрезерование торцовыми головками с пластинками из твердых сплавов.

Продольные и поперечные подачи стола осуществляются отдельными электродвигателями постоянного тока с бесступенчатым регулированием частот вращения. Бесступенчатое регулирование подачи в широком диапазоне позволяет производить выбор оптимальной минутной подачи при фрезеровании.

Для удобства управления и сокращения вспомогательного времени на станках предусмотрено: управление всеми движениями станка с подвесного пульта; возможность изменения частот вращения шпинделя одной рукояткой с помощью гидравлики; бесступенчатое



**Рис. 3.8. Вертикально-фрезерный станок с крестовым столом (бесконсольный):**  
 1 – станина; 2 – стол; 3 – стойка;  
 4 – шпиндельная бабка; 5 – пульт управления

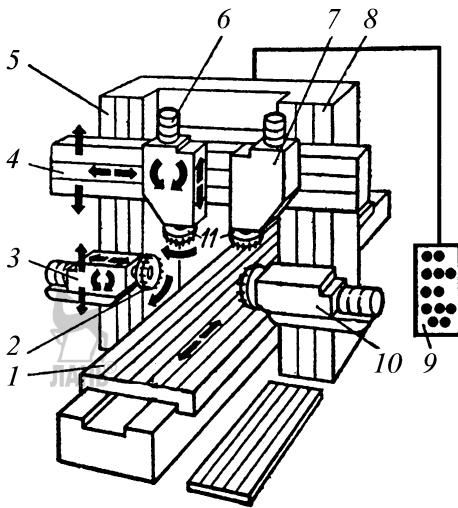
изменение подач одной рукояткой, расположенной на подвесном пульте; наличие быстрого перемещения стола в продольном и поперечном направлениях и шпиндельной бабки – в вертикальном направлении; электрическое торможение шпинделя. Для точных перемещений стола предусмотрены замедленные подачи.

Станки могут работать по полуавтоматическому циклу, включающему быстрый прямой и обратный ход, рабочий ход и остановку стола в требуемых положениях.

Имеется ряд моделей вертикально-фрезерных бесконсольных станков, в том числе с комбинированным столом, поворотной шпиндельной головкой и др.

### 3.5. ПРОДОЛЬНО-ФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ

Станки данного типа универсальные и предназначены для обработки корпусных и крупногабаритных деталей в условиях единичного и серийного производства. Фрезерование заготовок на этих станках производится главным образом торцовыми твердосплавными головками, а также цилиндрическими, концевыми и другими фрезами. Высокая жесткость и мощность продольно-фрезерных станков позволяет обрабатывать заготовки с большими сечениями среза. Эти станки изготавливают с шириной стола 3200...5000 мм.



**Рис. 3.9. Продольно-фрезерный станок:**

1 – стол; 2, 11 – фрезы; 3, 6, 7, 10 – шпиндельные головки; 4 – траверса; 5, 8 – стойки; 9 – пульт управления

Продольно-фрезерные станки делятся на одностоечные и двухстоечные и имеют несколько фрезерных шпинделей. Все современные продольно-фрезерные станки отличаются удобством обслуживания, повышенной точностью и высокой производительностью.

Продольно-фрезерные станки имеют дистанционное управление с подвесного пульта, механизированный зажим подвижных узлов, автоматический отвод фрезы от детали при быстром ходе стола, дистанционное бесступенчатое регулирование скорости подач (для станков с шириной стола 5000 мм и более), механизмы отвода стружки из зоны резания и другие виды механизации.

Тяжелые станки оснащены механизмами для установки тяжелых фрез, накладными угловыми фрезерными головками, механизмами для отсчета перемещений, механизмами для автоматического торможения шпинделя (для станков с шириной стола 5000 мм и более), механизмами для автоматического торможения шпинделя (для станков с шириной стола 5000 мм и более), механизмами для автоматического торможения шпинделя (для станков с шириной стола 5000 мм и более).

Тяжелые станки оснащены механизмами для установки тяжелых фрез, накладными угловыми фрезерными головками, механизмами для отсчета перемещений, механизмами для автоматического торможения шпинделя (для станков с шириной стола 5000 мм и более).



щений. На станках с шириной стола 3200...5000 мм можно производить строгание, сверление, растачивание.

На рис 3.9 показана схема четырехшпиндельного продольно-фрезерного станка. Фрезерование заготовок на этом станке можно осуществлять с одной, двух или трех сторон. Заготовку размещают на столе 1.

Фрезы 2, 11 устанавливают в шпиндельные головки 3, 6, 7, 10, каждая из которых имеет индивидуальный отдельно управляемый привод вращения фрезы и перемещения головки.

Конструкция горизонтальных 3, 10 и вертикальных 6, 7 головок позволяет обеспечить наклон оси шпинделя относительно нулевого положения в обе стороны на угол  $30^\circ$ , благодаря чему возможны фрезерование, сверление и другая обработка заготовок с наклонно расположенными поверхностями.

Шпиндельные головки 3 и 10 по высоте стоек 5 и 8 могут быть установлены в фиксированном положении. При этом отсчет величины перемещения производят по основной шкале и шкале нониуса, цена деления которой составляет 0,05 мм. Некоторые станки снабжены датчиками отсчета положения, цена деления которых 0,01 или 0,005 мм. Установку по высоте шпиндельных головок 6 и 7 достигают перемещением траверсы 4 по стойкам 5 и 8. У каждого шпинделя предусмотрено ручное установочное перемещение гильзы со шпинделем вдоль оси, которое осуществляется маховичком. Положение гильзы со шпинделем фиксируется ручным зажимом.

На станке возможна обработка заготовок по одной из следующих схем:

- 1) обработка заготовки (или заготовок) только при подаче стола; шпиндельные головки и траверса закреплены;
- 2) обработка заготовки только с использованием перемещения (подач) шпиндельных головок; стол и траверса неподвижны;
- 3) фрезерование заготовки с подачей стола и одной из шпиндельных головок; остальные головки и траверса закреплены;
- 4) обработка заготовок при подаче стола; все остальные элементы закреплены; переход в заданном положении стола к подаче одной из шпиндельных головок.

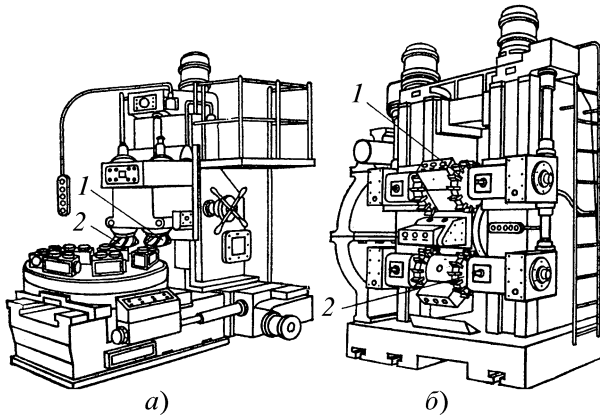
При необходимости на станках этого типа возможна обработка по полуавтоматическому циклу «быстрый подвод–рабочая подача–быстрый отвод в исходное положение–остановка». Для осуществления заданного цикла предусмотрены кулачки, устанавливаемые в боковом пазу стола, и путевые выключатели, расположенные на станине. Управление элементами станка производят с пульта 9.

Отдельные модели продольно-фрезерных станков имеют цикловое управление, цифровую индикацию, систему преднабора координат и т.п. На таких станках можно также выполнять сверлильные и расточные операции по заданным координатам отверстий. Устройство цифровой индикации и преднабора координат позволяет автоматизировать процесс выхода подвижных элементов станка на заданную координату и повысить точность обработки.

### 3.6. ФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

К станкам непрерывного действия относятся карусельно-фрезерные и барабанно-фрезерные станки.

Карусельно-фрезерные станки имеют поворотный стол и два или три шпинделя. Заготовки размещают в приспособлениях, ориентированных и закрепленных на столе станка, частотой вращения которого задается подача при обработке. Установка и снятие заготовок осуществляется без остановки вращения стола на установочных позициях. Шпиндели станков могут быть настроены на разные виды работы.



**Рис. 3.10. Станки непрерывного действия:**

*а* – карусельно-фрезерный; *б* – барабанно-фрезерный

Например, у двухшпиндельного карусельно-фрезерного станка (рис. 3.10, *а*) фрезой *1* производится предварительное фрезерование, а фрезой *2* – получистовое или чистовое. Карусельно-фрезерные станки предназначены преимущественно для обработки плоскостей и реже используются для фрезерования пазов и уступов. Применяемый режущий инструмент – торцовые или концевые фрезы.

Барабанно-фрезерные станки (рис 3.10, *б*) имеют шести- и восьмигранные барабаны с диаметром от 650 до 1000 мм (у разных моделей). Станки этого типа имеют с каждой стороны по два или три шпинделя, в которых фрезы могут настраиваться на черновое, получистовое, а также чистовое фрезерование. При работе станка барабан с заготовками медленно вращается относительно горизонтальной оси. Установка и снятие заготовок осуществляют без остановки станка. Наиболее распространенный вид фрезерования на барабанно-фрезерных станках – обработка плоскостей торцовыми фрезами.

### 3.7. КОПИРОВАЛЬНО-ФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ

Детали сложной конфигурации, например штампы, пресс-формы, лопатки турбин, в крупносерийном и массовом производствах могут обрабатываться на

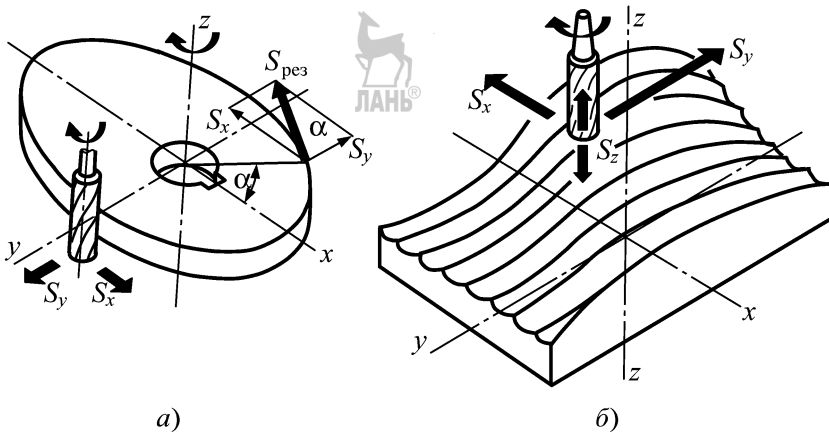


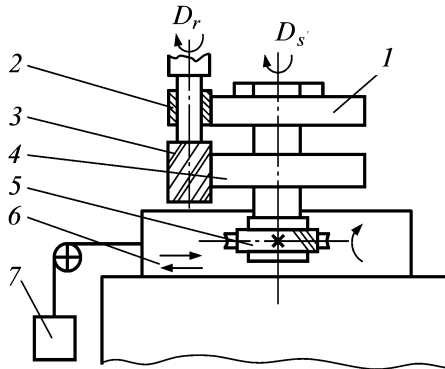
Рис. 3.11. Схема копирующего фрезерования пространственно-сложных поверхностей

копирующе-фрезерных станках. Различают *контурное* и *объемное копирующее фрезерование*.

При контурном фрезеровании (рис. 3.11, а) фрезе и обрабатываемой заготовке необходимо сообщить одновременно движение в двух направлениях:  $x$  (продольном) и  $y$  (поперечном) – по заданной программе (кривой копира). Для обеспечения точного обвода контура результирующая скорость перемещения щупа  $S_{рез}$  относительно копира и режущего инструмента по заготовке (так называемая подача копирования) всегда должна быть направлена по касательной к контуру в данной точке. Ее составляющие – задающая (продольная) подача  $S_x$  и следящая (поперечная) подача  $S_y$  должны быть пропорциональны соответственно синусу и косинусу угла наклона касательной к кривой в данной точке, т.е.

$$S_x = S_{рез} \sin \alpha, \quad S_y = S_{рез} \cos \alpha.$$

Выполнение этого условия обеспечивается специальным устройством – *синусным распределителем*. В простейшем варианте заданный профиль можно получить радиальным смещением инструмента при заданном угловом положении заготовки. Пространственно-сложные фасонные поверхности при объемном копировании (рис. 3.11, б) обрабатываются отдельными проходами концевой фрезы с закругленными торцовыми зубьями. Во время каждого такого прохода фреза перемещается вдоль профиля обрабатываемой заготовки в данном сечении в направлении оси  $x$  (*задающая подача*  $S_x$ ). В процессе продольного перемещения фреза должна изменять свое положение в направлении оси  $y$  (*следящая подача*  $S_y$ ). Для перехода к обработке соседнего сечения необходимо периодически смещать фрезы в направлении оси  $z$ . Такое перемещение носит название *строчечной подачи*  $S_z$ .



**Рис. 3.12. Схема фрезерно-копировального станка с жестким копировальным устройством**

Копировально-фрезерные станки имеют задающее устройство (копир, шаблон, эталонная деталь, чертеж, модель и др.), связанное через копировальное устройство (щуп, копировальный палец, копировальный ролик, фотоэлемент) с исполнительным органом, который повторяет движение копировального устройства для воспроизведения режущим инструментом формы задающего устройства.

Существуют две схемы работы копировально-фрезерных станков: *без следящей системы и со следящей системой*. В первой согласование взаимного положения щупа (копировального пальца) с копиром осуществляется жесткой связью между задающим и исполнительными устройствами.

В станках с жесткой связью (рис. 3.12) копир 1 контактирует с втулкой 2, связанной со шпиндельной головкой.

Характер радиального смещения стола 6 (который находится под действием груза 7), а следовательно, и заготовки 4 относительно фрезы 3 определяется профилем копира. Вращение осуществляется от привода 5.

Чтобы обеспечить надежный прижим втулки 2 к копиру и резание без вибраций, груз 7 должен иметь достаточно большую массу и поджимать втулку к копиру с силой, в 2–3 раза превышающей силу резания. Это обстоятельство обуславливает быстрый износ копира и потерю точности обработки, что является основным недостатком этой схемы.

Вторая схема работы копировально-фрезерных станков предполагает наличие следящего механизма в системе исполнения команд. В задающем устройстве образуются управляющие сигналы, которые поступают в следящий механизм. Здесь заданная программа сравнивается с выполненной, и в случае расхождения механизм подает сигнал исполнительному устройству для корректировки траектории перемещения режущего инструмента.

В станках со следящей системой предусмотрены также усилительные устройства, которых нет в станках с жесткой связью. В отличие от механических

копировальных устройств, где сила резания воспринимается копиром (шаблоном), в следящих системах следящий орган (щуп), передвигаясь по копиру, только подает команду исполнительным органам, которые осуществляют соответствующие перемещения рабочих органов станка. Поэтому следящие копировальные устройства работают с очень малым давлением на копиры (шаблоны или модели), что позволяет производить обработку крутых и точных переходов профиля фасонной поверхности. Малые давления следящего органа (щупа) на копир обеспечивают также высокую точность и низкую шероховатость обработанной поверхности.

В настоящее время наиболее распространены копировально-фрезерные станки с электромеханической и гидравлической копировальными системами.

### 3.8. ФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ (ЧПУ)

В машиностроении более 70% изделий изготавливаются в условиях мелкосерийного и серийного производства. Эффективным средством автоматизации мелкосерийного и серийного производства является программное управление металлорежущими станками.

В станках с ЧПУ управление его рабочими органами производится автоматически по заранее разработанной программе без непосредственного участия человека. Программное управление обеспечивает автоматическую работу механизмов станка по легко перенастраиваемой программе.

Принципиальное отличие станка с ЧПУ от обычного автомата заключается в задании программы обработки детали в математической (числовой) форме на специальном программоносителе (перфоленте, магнитной ленте, дискете и т.д.).

По заданной программе можно управлять регулированием направления и скорости перемещения исполнительных органов станка, циклом работы станка, сменой инструмента и т.д.

По количеству управляемых перемещений различают двух-, трех-, четырехкоординатные и т.д. системы (например, перемещения в направлении осей координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , повороту и т.д.)

На станках с ЧПУ могут быть применены различные виды адаптивного управления, обеспечивающие оптимальное значение одного или нескольких параметров (составляющая силы резания; температура инструмента или детали; шероховатость обработанной поверхности; оптимальные режимы резания; уровень шумов, вибраций и др.).

Важной особенностью автоматизации процесса обработки на металлорежущих станках с помощью устройств программного управления является сохранение станками широкой универсальности. Это дает возможность производить на них обработку всей номенклатуры деталей, которая может быть произведена на универсальных станках соответствующих типов.



Программное управление позволяет автоматизировать процесс обработки; сократить время наладки станка, сведя всю наладку к установке инструмента, заготовки и программы на станке; организовать многостаночное обслуживание в серийном и мелкосерийном производстве; повысить производительность труда, культуру производства и качество обработанных деталей.

Основной задачей рациональной эксплуатации металлорежущих станков с ЧПУ является обеспечение длительной и безотказной обработки на них деталей с заданными производительностью, точностью и шероховатостью обработанной поверхности при минимальной стоимости эксплуатации станков.

Станки с числовым программным управлением имеют *дополнительный индекс в конце обозначения*: Ф1 – станки с цифровой индексацией; Ф2 – с позиционными системами; Ф3 – с контурными системами; Ф4 – с универсальными системами для позиционной и контурной обработки.

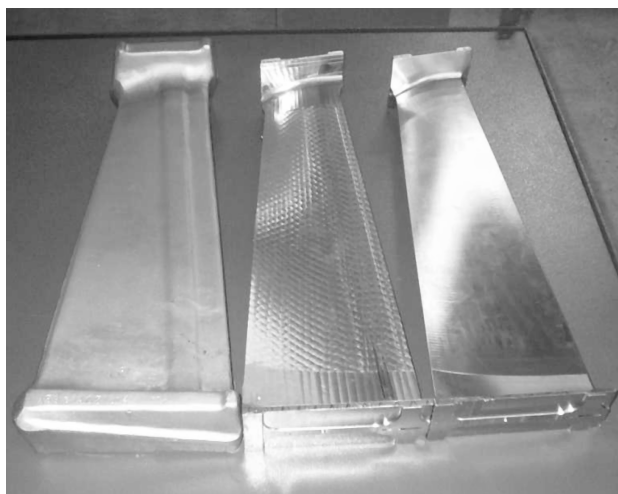
Работа на станках с ЧПУ в ряде случаев может существенно отличаться от работы на универсальных фрезерных станках и требует специальных профессиональных знаний, навыков и умений.

Ниже приведена общая характеристика станков с программным управлением отечественного и зарубежного производства.

Типичными деталями, обрабатываемыми в машиностроении, являются валы, лопатки, крыльчатки, моноколеса, различные корпусные детали и др. Сложная геометрическая форма, большое количество разнообразных пространственных конструктивных элементов, низкий коэффициент обрабатываемости материала этих деталей и, наконец, их высокая стоимость еще в недавнем прошлом вынуждали производителей затрачивать значительное количество ручного труда и, соответственно, времени на их изготовление. В этом случае наряду с длительностью и сложностью производственного процесса ведущую роль при достижении заданной размерной точности деталей играет так называемый человеческий фактор.

Несовершенство конструкции, ручное управление и низкая точность применяемого оборудования вынуждали во многих случаях операторов станков выполнять в течение процесса обработки большое количество контрольных измерений. Таким образом, постепенно проход за проходом рабочий снимал материал с заготовки, постоянно контролируя выполняемый размер, приближаясь к заданным размерам готовой детали. Такой непроизводительный способ обработки требовал использования высококвалифицированных рабочих и значительных затрат времени на производство продукции.

В настоящее время ведущими мировыми машиностроительными предприятиями создано много моделей обрабатывающих центров, специализирующихся на производстве деталей определенной конструкции и типоразмера. Оборудование, спроектированное для конкретной конструкции деталей с соответствующей универсальной оснасткой, позволяет осуществлять техническую подготовку производства и непосредственно сам процесс обработки с меньшими затратами труда и машинного времени. Отлаженная управляющая программа на станке с ЧПУ позволяет изготавливать большое количество деталей с высокой производительностью обработки в автоматическом режиме.



**Рис. 3.13. Лопатки авиационных газотурбинных двигателей**

При разработке новых моделей оборудования в большей степени применяется принцип концентрации операций для осуществления комплексной автоматизации производственного процесса. Наблюдается тенденция уменьшения количества специальной оснастки, сложность и высокая стоимость которой часто увеличивает производственный цикл изделия, а также существенно повышает себестоимость единицы продукции. Большие технологические возможности современных машинно-обрабатывающих центров и высокая сложность технологического оборудования, способного длительно работать в автоматическом режиме, влечет упрощение технологической оснастки, а в ряде случаев и полный отказ от ее использования.

При производстве авиационных лопаток (рис. 3.13) на предприятиях используются различные схемы обработки. Наиболее рациональной схемой с точки зрения производительности и точности является одновременная обработка корыта и спинки профиля лопатки по спиралевидной траектории движения инструмента. Максимальная производительность достигается за счет непрерывного контакта инструмента с деталью. При вращении лопатки вокруг центральной оси инструмент перемещается от корыта через кромку на спинку и через другую кромку снова на корыто. Небольшие повороты инструмента позволяют обрабатывать труднодоступные места, например радиусы сопряжений между профилем лопатки, хвостовиком и бандажной полкой. При таком двустороннем съеме припуска происходит меньшая упругая деформация детали вследствие неравномерного распределения остаточных напряжений, что благоприятно сказывается на точности получаемого профиля лопатки. Такую схему обработки при соответствующей оснастке используют, например, машинно-обрабатывающие центры модели 500VB фирмы Стерлитамак – М.Т.Е., НХ-251 и НХ-151 фирмы Staragheckert.





**Рис. 3.14. Обрабатывающий центр 500VB фирмы Стерлитамак – М.Т.Е.**

На рис. 3.14 представлен обрабатывающий центр 500VB фирмы Стерлитамак – М.Т.Е., в табл. 3.2 приведена его техническая характеристика. Данный станок предназначен для фрезерования проточной части малых и средних по величине лопаток компрессора, фрезерования бандажных полок, замков лопаток компрессора и др. Станок имеет пять одновременно управляемых координат: перемещения по осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ; поворота лопатки вокруг центральной оси на  $360^\circ$  и поворота инструментальной головки на  $\pm 30^\circ$  для возможности обработки радиусов сопряжения.

### 3.2. Техническая характеристика МОЦ 500VB

Мощность главного привода, кВт	Максимальное число оборотов шпинделя, мин <sup>-1</sup>	Емкость инструментального магазина	Одновременное работающие оси	Размер стола, мм	Перемещения по осям, мм
7	8000	20	$X, Y, Z, B, A$	1000×500	$X = 1000; Y = 500; Z = 460;$ Поворот головки $\pm 30^\circ;$ Поворот стола $360^\circ$



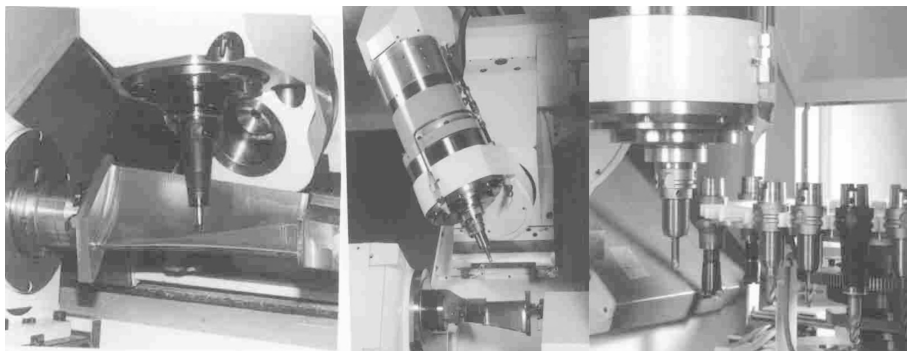


Рис. 3.15. Обрабатывающий центр NH-151

На рис. 3.15 представлен обрабатывающий центр NH-151 фирмы Starragheckert, в табл. 3.3 приведена его техническая характеристика. Станок применяется для фрезерования таких же деталей, что и станок 500VB, но в то же время обладает существенными технологическими преимуществами. Более высокая мощность главного привода и большее максимальное число оборотов шпинделя позволяют достигать высокой производительности обработки.

### 3.3. Техническая характеристика МОЦ NH-151

Мощность главного привода, кВт	Максимальное число оборотов шпинделя, мин <sup>-1</sup>	Емкость инструментального магазина	Одновременно работающие оси	Рабочая зона, мм	Перемещения по осям
23	15000	30	X, Y, Z, B, A	837	X = 1200; Y = 390; Z = 300; Поворот головки ±30°; Поворот стола 360°



**Рис. 3.16. Рабочая зона машинно-обрабатывающего центра НХ-151**

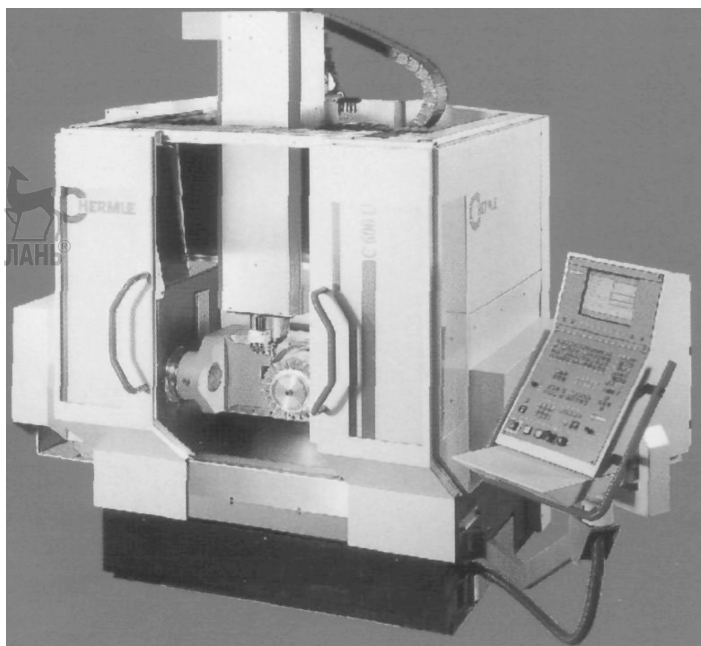
При сходной кинематике движения рабочих органов станка и таком же количестве управляемых координат в машинно-обрабатывающем центре НХ-151 инструментальная головка перемещается по направляющим (ось  $Z$ ), расположенным под углом  $45^\circ$  к вертикальной плоскости (рис. 3.16).

Таким образом достигается высокая жесткость станка, так как наиболее жесткими являются треугольные конструкции. Также станок обладает большей емкостью инструментального магазина. Несмотря на описанные преимущества машинно-обрабатывающего центра НХ-151, его стоимость превышает стоимость станка модели 500VB в 4–5 раз. Поэтому оборудование фирмы Стерлитамак – М.Т.Е. хотя и является менее технологичным и производительным, но относительно невысокая стоимость позволяет широко применять его как на отечественных, так и зарубежных предприятиях.

В табл. 3.4 приведена техническая характеристика аналогичного машинно-обрабатывающего центра модели НХ-251, отличающегося от базового варианта большим размером рабочей зоны. В НХ-251 также имеются две дополнительные координаты перемещений: при установке двух противошпинделей появляется возможности их синхронизации, т.е. совместного вращения для обеспечения большей жесткости обработки. Седьмая координата (так называемая координата  $V$  «фау») реализуется посредством управления выдвижной пиноли противошпинделя. Это движение необходимо для обработки деталей в труднодоступных местах. При фрезеровании коротким инструментом хвостовика лопатки есть вероятность столкно-

### 3.4. Техническая характеристика МОЦ НХ-251

Мощность главного привода, кВт	Максимальное число оборотов шпинделя, об/мин	Емкость инструментального магазина	Одновременно работающие оси	Точность позиционирования по линейным осям, мм	Точность позиционирования по осям вращения, °
27	15000	30	$X, Y, Y1, Z, B, A, V$ (фау)	0,02/0,01	0,02/0,01



**Рис. 3.17. Обрабатывающий центр Hermle C600U**

вения инструментальной головки и противощинделя. В этом случае выдвигание пиноли позволяет избежать этого.

На рис. 3.17 представлен пятиосевой обрабатывающий центр C600U, оснащенный столом-качалкой. Аналогичную конструкцию имеют станки фирмы Hermle C30U/C40U и C600U/C800U. Краткая техническая характеристика данного оборудования представлена в табл. 3.5. Машинно-обрабатывающие центры фирмы Hermle различаются в основном размером рабочей зоны, мощностью главного привода и наибольшим весом обрабатываемой заготовки.

Рабочую зону станков с обрабатываемыми деталями можно увидеть на рис. 3.18. Очевидно, что увеличение рабочей зоны станка с уменьшением веса самого стола-качалки позволяет обрабатывать крупногабаритные детали без использования специального оборудования.

Следует также отметить принципиальное отличие конструкции машинно-обрабатывающего центра C30U от других видов аналогичного оборудования. Станок C30U оснащен специальным программируемым приспособлением для смены рабочих столов (палет) с установленными на них деталями. В этом случае, во время обработки детали, установленной на одном рабочем столе, вне зоны обработки идет закрепление приспособления с другой деталью. После окончания операции обработки специальный схват в автоматическом режиме меняет места рабочие столы с готовой деталью и новой заготовкой. Далее производится настройка системы координат приспособления, если оно устанавливается впервые, в противном случае сразу же начинается обработка детали. Такая конструкция машинно-обрабатывающего центра хотя и повышает его цену и сложность, но позволяет максимально снизить простой дорогостоящего оборудования.

## 3.5. Технические характеристики МОЦ С30U/С40U и С600U/С800U

Параметры	С500U	С600U	С800U	С30U	С40U
Мощность главного привода, кВт	16	16	10	10	15
Максимальное число оборотов шпинделя, об/мин	9000	10000	8000	8000	8000
Емкость инструментального магазина	30				
Одновременно работающие оси	<i>X, Y, Z, B, C</i>				
Размер стола, мм	580× 560	800× 465	800× 370	800× 370	1400× 900
Перемещения по осям, мм	<i>X</i> = 400 <i>Y</i> = 500; <i>Z</i> = 450	<i>X</i> = 600; <i>Y</i> = 450; <i>Z</i> = 450	<i>X</i> = 800; <i>Y</i> = 600; <i>Z</i> = 500	<i>X</i> = 800; <i>Y</i> = 500; <i>Z</i> = 600	<i>X</i> = 1200; <i>Y</i> = 900; <i>Z</i> = 500

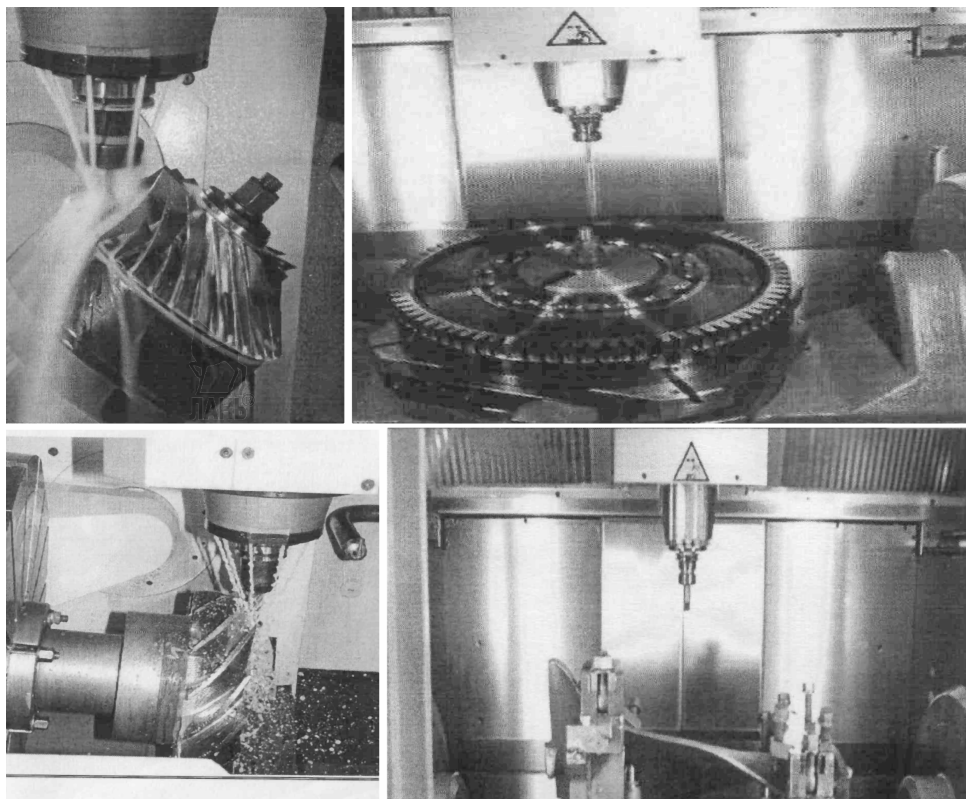


Рис. 3.18. Рабочая зона машинно-обрабатывающих центров

### 3.6. Техническая характеристика МОЦ SH8000/5AX

Мощность главного привода, кВт	Максимальное число оборотов шпинделя, об/мин	Максимальный диаметр обрабатываемой детали, мм	Одновременно работающие оси	Перемещения по осям, мм
37/30	10000	1000	<i>X, Y, Z, B, A</i>	<i>X = 1085; Y = 1200; Z = 1000</i>

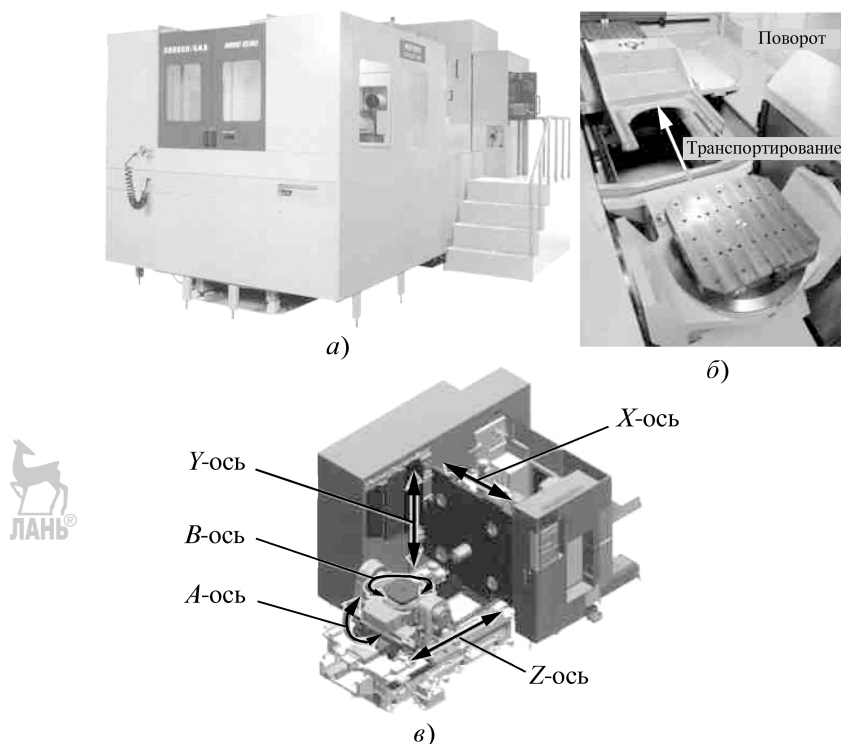
За счет более быстрой переустановки детали, а некоторые сложные детали, например корпуса, опоры и др., требуют много времени на их установку, закрепление и выверку, доля машинного времени возрастает, что существенно повышает производительность и снижает сроки окупаемости оборудования. Также на практике практически при каждом создании управляющей программы возникают определенные трудности: резка детали, упругие отжатия, возможность столкновения рабочих узлов станка с приспособлением, изменение режимов обработки и параметров инструмента, некорректный пересчет исходной управляющей программы ЧПУ станка и др.

Все эти трудности вынуждают программиста и наладчика станка неоднократно производить подналадку или пересчет управляющей программы, что требует значительных затрат времени. Для избежания простоя оборудования осуществляют быструю переустановку рабочего стола с новым приспособлением и оператор станка начинает обработку нового изделия.

Возможностью смены палет обладает также горизонтальный фрезерный центр с глобусным столом модели SH8000/5AX (рис. 3.19). Он предназначен для обработки корпусных деталей, дисков турбины и др. Высокая мощность привода и значительные размеры рабочей зоны позволяют обрабатывать высокогабаритные, тяжелые детали с использованием интенсивных режимов обработки.

Горизонтальное расположение шпинделя предоставляет широкие возможности при обработке тяжелых корпусных деталей, т.к. для подхода инструмента к четырем боковым поверхностям детали не требуется значительная нагрузка привода для поворота и удержания изделия в этом положении. Техническая характеристика станка приведена в табл. 3.6.

На рис. 3.20 представлен вертикальный фрезерный центр с глобусным столом модели Super Tilt 500. Его основное преимущество состоит в том, что максимальное число оборотов шпинделя составляет  $35000 \text{ мин}^{-1}$ . Такая высокая скорость вращения инструмента, а также высокая скорость подач при мощности шпинделя 18 кВт позволяет реализовывать высокоскоростную обработку фрезерованием. Несмотря на сложную техническую подготовку и осуществление высокоскоростной обработки, достоинства этого метода – высокая производительность, низкая шероховатость и хорошее качество поверхностного слоя детали – позволяют машиностроителям выйти на совершенно новый производственный уровень. Техническая характеристика станка приведена в табл. 3.7.



**Рис. 3.19. Внешний вид (а), устройство смены палет (б) и кинематическая схема (в) МОЦ SH8000/5AX**

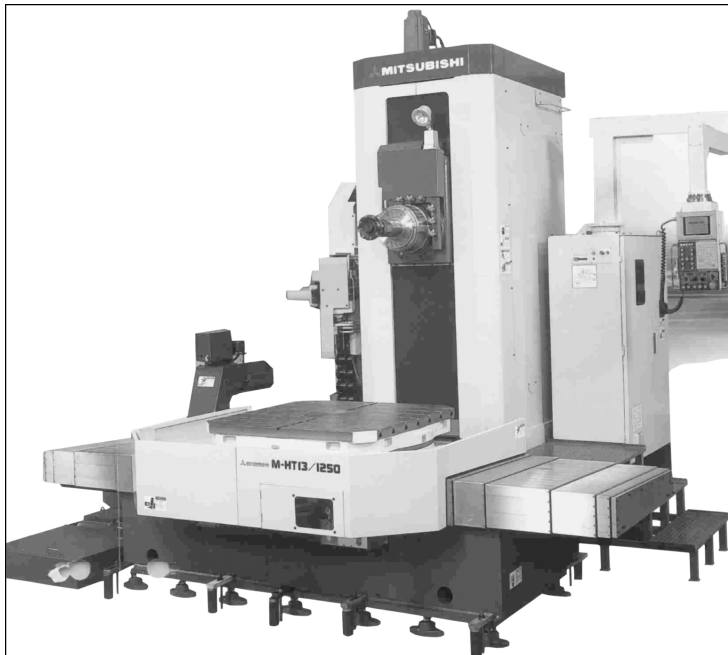
При обработке крупногабаритных корпусных деталей и кронштейнов на практике чаще всего используются четырехкоординатные обрабатывающие центры с горизонтальным расположением шпинделя. Такая конструкция станка обладает повышенной жесткостью рабочих узлов, что значительно снижает упругие деформации и обеспечивает высокую точность обработки. Вращающийся вокруг оси  $Y$  (проходит перпендикулярно плоскости стола) стол станка позволяет обработать деталь с четырех сторон за один установ.

### 3.7. Техническая характеристика МОЦ Super Tilt 500

Мощность главного привода, кВт	Максимальное число оборотов шпинделя, об/мин	Максимальный диаметр обрабатываемой детали, мм	Одновременно работающие оси	Диаметр стола, мм	Перемещение по осям, мм
18/15	35000	670	$X, Y, Z, B, A$	350	$X = 510;$ $Y = 530;$ $Z = 450$



**Рис. 3.20. Машинно-обрабатывающий центр Super Tilt 500**



**Рис. 3.21. Горизонтально фрезерный машинно-обрабатывающий центр серии М-НТ фирмы Mitsubishi**



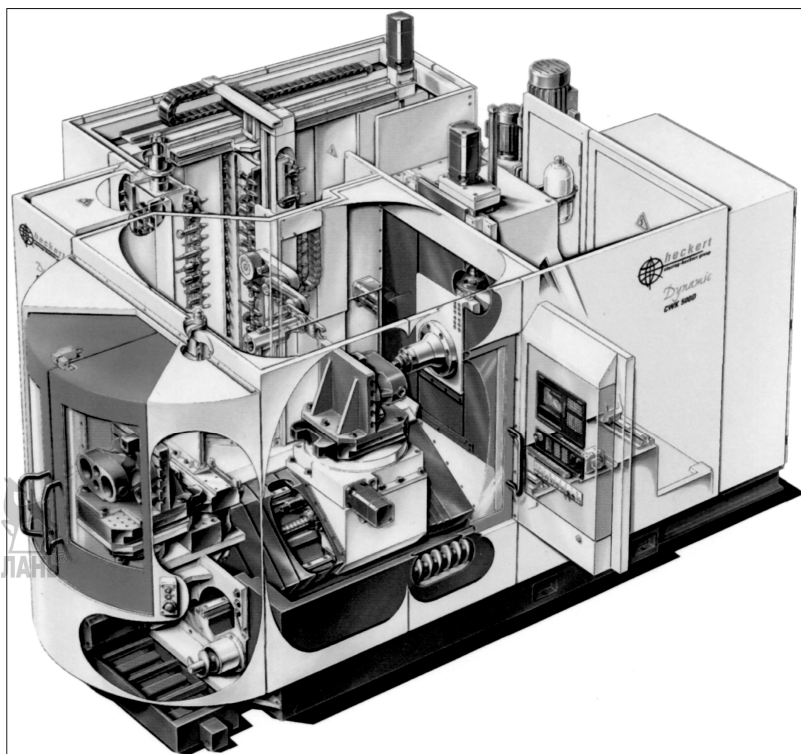


Рис. 3.22. Машинно-обрабатывающий центр SWK-400D

Представленный на рис. 3.21 горизонтально-фрезерный машинно-обрабатывающий центр серии М-НТ фирмы Mitsubishi используется для обработки крупногабаритных тяжеловесных деталей общей массой до 6000 кг. Вследствие того что рабочая зона не оборудована заграждениями, с точки зрения техники безопасности нецелесообразна высокоскоростная обработка и подача СОТС под большим давлением. Открытая рабочая зона в данном случае необходима для установки деталей непосредственно с крана-балки без использования дополнительных загрузочных устройств, что существенно снижает стоимость оборудования. Характеристика станка приведена в табл. 3.8.

### 3.8. Техническая характеристика МОЦ М-НТ

Модели МОЦ	Мощность шпинделя, кВт	Частота вращения шпинделя, об/мин	Размер стола, мм	Одновременно управляемые оси	Максимальный крутящий момент, Н·м	Максимальный вес заготовки, кг
М-НТ 13/1618	30	6000	1600×1800	X, Y, Z, B	2750	2000
М-НТ /1250	37	6000	1500×1500	X, Y, Z, B	2750	6000



### 3.9. Техническая характеристика МОЦ CWK-400D

Мощность главного привода, кВт	Максимальное число оборотов шпинделя, об/мин	Емкость инструментального магазина	Одновременно работающие оси	Размеры стола, мм	Перемещения по осям, мм
30	25000	40...240	X, Y, Z, B	500×400	X = 650; Y = 650; Z = 650;

Высокая мощность шпинделя и значительный крутящий момент позволяют вести обработку с большими подачами и глубинами резания, что обеспечивает значительную производительность процесса резания.

Особо следует отметить машинно-обрабатывающий центр фирмы Starragheckert CWK-400D (рис. 3.22). Данный горизонтально-фрезерный обрабатывающий центр обладает большими технологическими возможностями. Техническая характеристика станка приведена в табл. 3.9.

Сменная палета с гидравлическим поворотным устройством сокращает вспомогательное время, так как установка и закрепление детали на загрузочной палете может осуществляться во время обработки, причем время смены палет составляет 8...9 с. Инструментальный магазин может быть цепным – вместимостью 60 инструментов и башенным – вместимостью инструментов до 240. Время смены инструмента составляет 3,5...4 с.

Все базовые узлы имеют хорошие демпфирующие свойства и малое тепловое расширение. Благодаря этому, а также высокой мощности привода и частоте вращения инструмента обеспечивается обработка без вибраций с высокой производительностью. При исполнении станка с повышенной базовой точностью достигается IT5/IT6 квалитет точности, что позволяет в ряде случаев получать особо точные конструктивные элементы без использования шлифования.

Подача СОТС возможна по выбору через наружные сопла или через шпиндель. При давлении 8 МПа обеспечивается хорошее удаление стружки даже из глухих отверстий.

Портальный продольно-фрезерно-расточной обрабатывающий центр (рис. 3.23) предназначен для обработки крупногабаритных сварных металлоконструкций энергоустановок (рам, шумоглушителей, газоотводов и др.). Главным преимуществом данного технологического оборудования является прежде всего возможность обработки деталей практически любого размера.

Универсальная пятикоординатная головка позволяет фрезеровать сложные пространственные поверхности или растачивать расположенные под углом отверстия. Техническая характеристика станка приведена в табл. 3.10.

### 3.10. Техническая характеристика продольно-фрезерно-расточного обрабатывающего центра

Максимальные габариты обрабатываемой детали, мм	Система ЧПУ	Размеры стола, мм
4000×14000×2500	Sinumeric 840D или FANUC-15iM	4000×14000

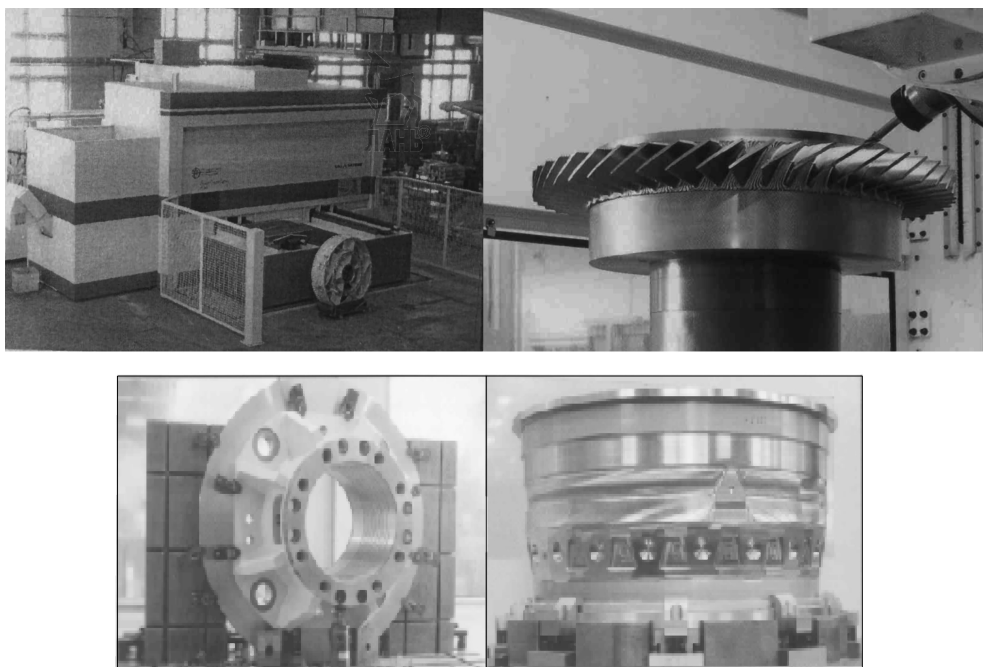


**Рис. 3.23. Портальный продольно-фрезерно-расточной обрабатывающий центр**



Для обработки осевых или оседиагональных колес, сложных корпусных деталей с труднодоступными элементами, косыми отверстиями, внутренними полостями используется обрабатывающий центр ZT1000/E130 фирмы Starragheckert (рис. 3.24). Технические данные станка представлены в табл. 3.11.

Обрабатывающий центр также имеет два рабочих стола, один из которых во время обработки расположен вне станка. Установка и закрепление одних крупногабаритных деталей осуществляется, соответственно, во время процесса обработки других деталей, что существенно повышает долю машинного времени (непосредственно сам процесс резания металла) от общего времени изготовления изделия.

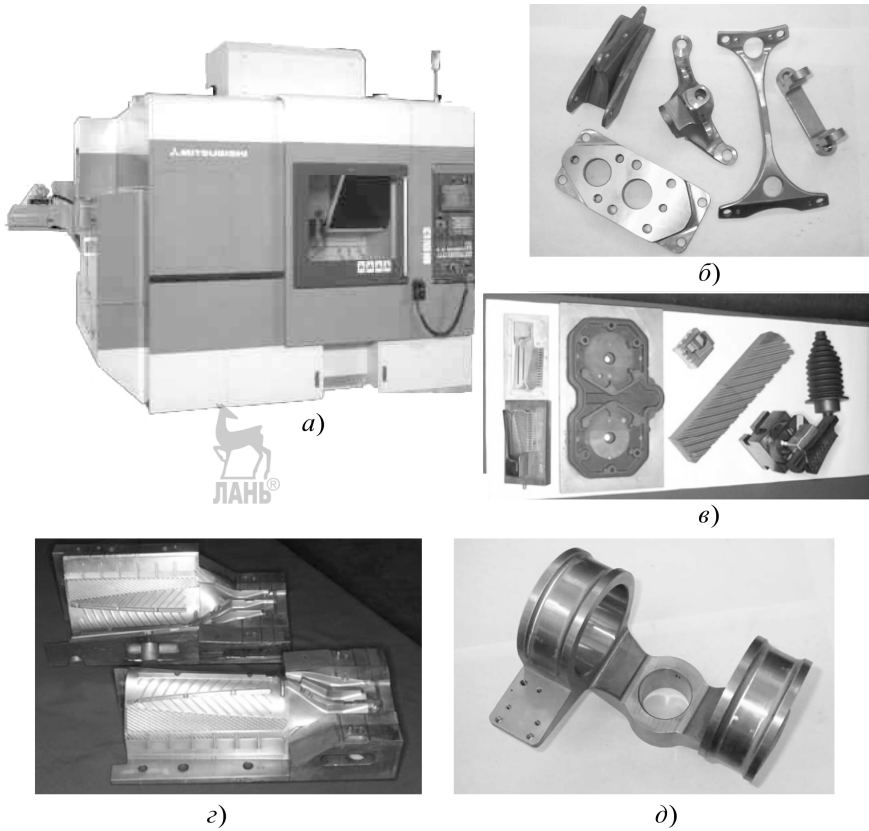


**Рис. 3.24. Обрабатывающий центр ZT1000/E130 и примеры обрабатываемых деталей**

Большой инструментальный магазин, возможность работать на высоких режимах резания, универсальная пятикоординатная фрезерная головка и значительные габариты обрабатываемых деталей обеспечивают данный обрабатывающий центр большими технологическими возможностями. Применение самых современных методов проектирования и конструирования гарантирует высокую точность обработки и стабильность процесса резания.

### 3.11. Техническая характеристика обрабатывающего центра ZT1000/E130

Мощность главного привода, кВт	Максимальное число оборотов шпинделя, об/мин	Емкость инструментального магазина	Одновременно работающие оси	Максимальный диаметр обработки, мм	Крутящий момент, Н·м
37	6000	60...240	<i>X, Y, Z, A, B</i>	1250	970



**Рис. 3.25. МОЦ модели М-V50-FH (а) и примеры обрабатываемых деталей (б, в, г, д)**

Вертикально-фрезерные центры моделей М-V50-FH/М-V70-FM (рис. 3.25) используются для обработки прессформ, рычагов, кронштейнов, вилок и т.п. Универсальность данного технологического оборудования заключается в нетрадиционной конструкции рабочей зоны. Рядом со столом для закрепления деталей типа прессформ и деталей других типов, не требующих обработки инструментом с наклонной осью, расположен горизонтальный шпиндель, реализующий в кинематике станка координату  $A$ .

Шпиндель служит для закрепления деталей или приспособлений, для которых в процессе обработки требуется поворот, например для сверления и расточки расположенных под разными углами отверстий, или фрезерование зубьев, расположенных по периферии детали и др.

Как видно из представленных данных табл. 3.12, станки при сходной конструкции и кинематике служат для обработки различных по типоразмерам деталей. Обрабатывающий центр М-V70-FM позволяет обрабатывать детали весом до 2500 кг, обладает соответственно более мощным приводом и большими размерами рабочей зоны.

### 3.12. Техническая характеристика МОЦ М-V50-FH/М-V70-FM

Модели МОЦ	Мощность фрезерного шпинделя, кВт	Частота вращения фрезерного шпинделя, мин <sup>-1</sup>	Размер стола, мм	Одновременно управляемые оси	Максимальный вес обрабатываемой детали, кг	Инструментальный магазин
М-V50-FH	22/15	14000	510×1000	X, Y, Z, A	700	15
М-V70-FM	30/25	12000	700× ×1530	X, Y, Z, A	2500	20

Станки с числовым программным управлением отличаются от обычных тем, что контролируются не оператором в процессе работы, а управляющей программой, составленной до начала работы. От того, насколько грамотно составлена программа, во многом зависит качество обрабатываемых деталей. Качество же отработки самой программы определяется, с одной стороны, характеристиками механической части станка (точностью, жесткостью и другими), с другой – совершенством стойки ЧПУ (дискретность, математическое обеспечение и прочее).

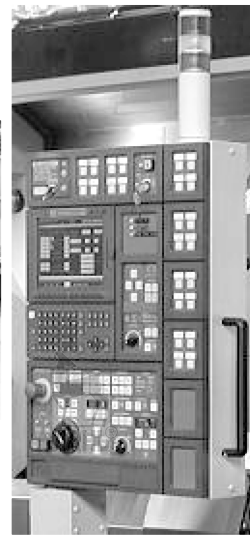
Наибольшее распространение получили три системы числового программного управления: Heidenhain, Sinumerik и Fanuc (рис. 3.26). Все они поддерживают стандартный код ISO, однако имеют наборы специфических команд. Например, пакет пятиосевой трансформации, решая одни и те же задачи, реализован по-разному в каждой системе.



Heidenhain iTNC 530



Sinumerik 840D



Fanuc 18-i M

Рис. 3.26. Стойки ЧПУ основных производителей

### 3.13. Шаблон типового кадра управляющей программы

<i>N876</i>	<i>G54</i>	<i>X321</i>	<i>Y0.1</i>	<i>F2000</i>	<i>M3</i>
Номер кадра	Технологическая команда	Позиционирование	Позиционирование	Подача	Технологическая команда

Управляющая программа представляет собой последовательность кадров (строчек), в которых задана траектория перемещения инструмента и технологические команды – включение и выключение вращения шпинделя, подача СТОС, смена инструмента и др. Каждый кадр состоит из слов, сочетания адреса ( $X, Y, T, S...$ ) и числа, записываемого в этот адрес памяти стойки (см. табл. 3.13)

Так, для перемещения в позицию 100 по координате  $X$  следует задать адрес позиционирования  $X100$  и тип перемещения, например линейное, на рабочей подаче – технологическую команду  $G1$ . В современных стойках ЧПУ номер кадра не является обязательным блоком и служит для удобства наладчика и программиста.

Основные адреса позиционирования приведены в таблице 3.14, основные  $G$ -коды и  $M$ -коды – в таблицах 3.15 и 3.16.

### 3.14. Основные адреса позиционирования

Адрес	Описание	Пример
$O$	Обозначение управляющей программы	$O123$
$N$	Порядковый номер кадра	$N0015$
$G$	Технологическая команда, подготовительные функции	$G01$
$XYZ$	Позиционирование по линейным осям станка	$G00Y15Z-20$
$ABC$	Позиционирование по поворотным осям	$X10Y1A5$
$UV$	Наклон проволоки эрозионных вырезных станков	$U-3V887$
$IJK$	Положение центра окружности при круговой интерполяции	$I9.79J-2$
$F$	Величина подачи	$X200F500$
$S$	Скорость вращения шпинделя	$S2000M03$
$T$	Номер инструмента в магазине инструментов	$T1M06$
$M$	Технологическая команда, функции управления станком	$M09M02$

**3.15. Основные G-коды (подготовительные функции)**

Код	Описание
G00	Позиционирование на холостом ходу
G01	Позиционирование на рабочей подаче, линейная интерполяция
G02	Круговая интерполяция по часовой стрелке
G03	Круговая интерполяция против часовой стрелки
G09	Торможение в конце кадра (точный останов)
G17	Координатная плоскость $XU$
G18	Координатная плоскость $ZX$
G19	Координатная плоскость $YZ$
G40	Отмена радиус-коррекции
G41	Компенсация радиуса режущего инструмента (радиус-коррекция) слева
G42	Компенсация радиуса режущего инструмента справа
G43	Коррекция на длину инструмента +
G44	Коррекция на длину инструмента –
G54	Выбор системы координат заготовки 1
G55	Выбор системы координат заготовки 2...6
...	
G59	Выбор системы координат заготовки 2...6
G60	Торможение в конце кадра (точный останов)

### 3.16. Основные M-коды (функции управления станком)

Код	Описание
M02	Конец программы
M03	Включение вращения шпинделя по часовой стрелке
M04	Включение вращения шпинделя против часовой стрелки
M05	Выключение шпинделя
M06	Смена инструмента
M08	Включение подачи СОТС
M09	Выключение подачи СОТС

Различают модальные и немодальные (одноблочные) команды. Немодальные действуют только на тот кадр, где встречаются. Модальные работают как тумблер, будучи включены, распространяют свое действие на все последующие кадры. То есть немодальные команды необходимо указывать в каждом кадре, а модальные достаточно в одном. Например:

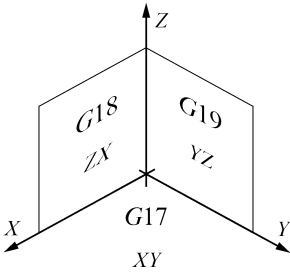
```
N10 G90 G0 G9 X100 Y200
N15 G9 Z50
N20 G91 G1 X100 F350
N25 Y200.
```

В кадре *N10* происходит перемещение в абсолютных координатах *G90* в точку  $X = 100$ ;  $Y = 200$  на холостом ходу *G0* с торможением в конце кадра *G9*. *G90* и *G0* модальные, поэтому в следующем кадре происходит перемещение, также на холостом ходу в точку с абсолютными координатами  $X100$ ;  $Y200$ ;  $Z50$ . *G9* не модальная команда, ее приходится повторять.

В кадре *N20* отменяем действие *G90*, указав *G91* – происходит относительное перемещение по координате  $X$  на 100 мм (в точку с абсолютными координатами  $X200$ ;  $Y200$ ;  $Z50$ ), причем на рабочем ходу *G1* с подачей  $F 350$  мм/мин. *G91* и *G1* модальные, поэтому в следующем кадре *N25* произойдет перемещение на рабочем ходу на 200 мм по оси  $Y$  (в точку с абсолютными координатами  $X200$ ;  $Y400$ ;  $Z50$ ).

При разработке программы используют линейную или круговую интерполяцию. Стойка ЧПУ рассчитывает траекторию движения инструмента (положение в каждый момент времени при обработке кадра) из текущей позиции в запрограммированную конечную по прямой в случае линейной интерполяции и по дуге окружности в случае круговой. Строго говоря, движение по дуге станок обрабатывает тоже прямыми отрезками, но они достаточно малы, чтобы аппроксимировать дугу с требуемой точностью.



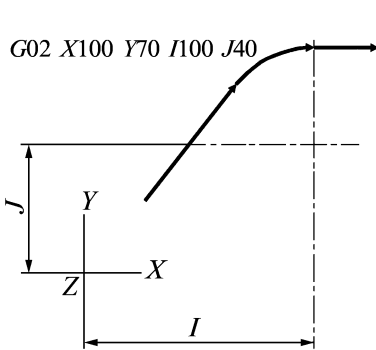


**Рис. 3.27. Координатные плоскости**

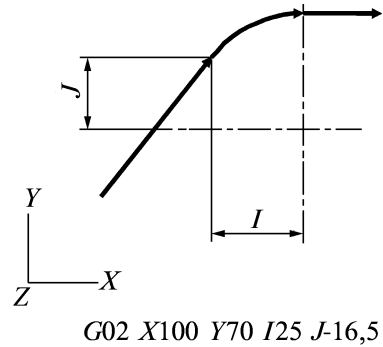
Кадр круговой интерполяции, в отличие от линейной, должен содержать не только координаты конечной точки  $X, Y, Z$  но и адреса  $I, J, K$ , задающие центр дуги окружности, по которой происходит перемещение. Например:

```
N30 G1 X20.202 F500
N35 G3 X32.927 Y-11.562 I9.798 J-2
N40 G1 Y31.
```

Используя круговую интерполяцию, следует предварительно указать, в какой координатной плоскости происходит расчет командами  $G17, G18$  или  $G19$  (рис. 3.27). Так, при движении в плоскости  $XY$  ( $G17$ ) адрес  $I$  соответствует расстоянию по координате  $X$ ;  $J$  соответствует  $Y$ .



**Рис. 3.28. Абсолютное положение координат центра окружности**



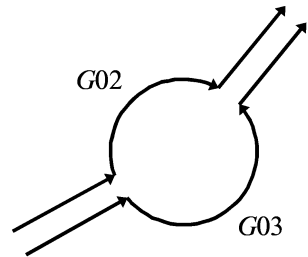
**Рис. 3.29. Относительное положение координат центра окружности**

Следует помнить о двух основных способах определения  $I, J, K$ :

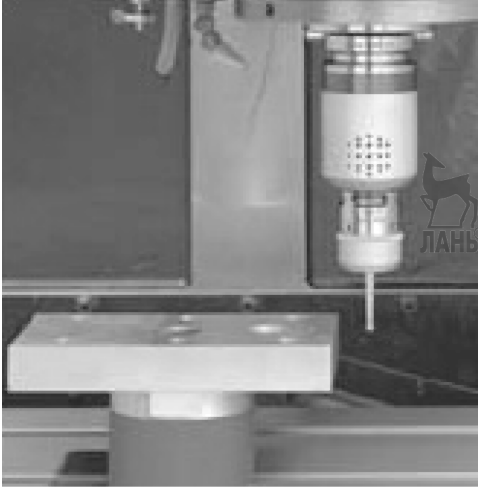
- абсолютный («вектор»), заданы абсолютные координаты центра окружности в системе координат, в которой рассчитана программа (рис. 3.28);
- относительный, центр окружности задан как смещение относительно точки интерполяции (запрограммированное конечное положение) предыдущего кадра (рис. 3.29).

Причем относительное смещение может измеряться от центра дуги до конечной точки предыдущего кадра или от конечной точки до центра, то есть отличаться знаком.

Имея центр дуги, придти в ее конечную точку можно как по часовой стрелке, так и против. Профиль на детали будет обработан разный. Поэтому нельзя забывать указывать направление движения при круговой интерполяции – по часовой стрелке  $G02$  или против  $G03$  (рис. 3.30).



**Рис. 3.30. Направление круговой интерполяции**



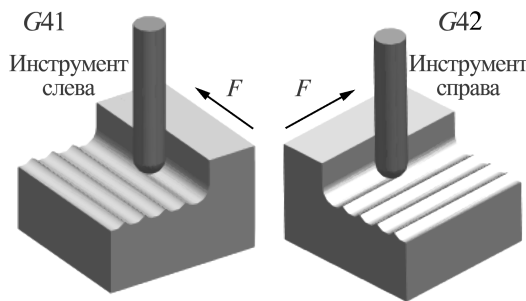
**Рис. 3.31. Определение настроечных баз**

Традиционно настроечные базы определяют с помощью индикатора часового типа. Более современный метод использования контактных щупов (головки Renishaw) (рис. 3.31).

Управляющая программа обычно рассчитана с учетом заданной геометрии инструмента. Если возникает необходимость использовать инструмент, отличающийся от расчетного, следует ввести коррекцию. Коррекция на радиус инструмента задается командами  $G41$  и  $G42$  в зависимости от положения инструмента относительно детали (припуска) слева и справа соответственно (рис. 3.32).

Следует указать координатную плоскость, в которой осуществляется компенсация, для фрезерных станков это  $G17$  ( $XY$ ). Отмена радиус-коррекции –  $G40$ .

Для определения фактического вылета инструмента используются специальные датчики.



**Рис. 3.32. Компенсация радиуса режущего инструмента (радиус-коррекция)**

Поворотная ось	Вращение вокруг оси	
<i>A</i>	<i>X</i>	
<i>B</i>	<i>Y</i>	
<i>C</i>	<i>Z</i>	

Рис. 3.33. Стандартные обозначения осей поворота

Рассмотренная компенсация на инструмент работает в плоскости и подходит только для двух- и трехосевой обработки. Современные системы ЧПУ позволяют осуществлять компенсацию на инструмент и для многокоординатной обработки. При этом используются уже совсем другие функции, управляющая программа становится более сложной и воспринимать ее так же легко, как в обычном формате удастся не сразу.

Многокоординатная обработка отличается от двух- и трехосевой наличием не только линейных перемещений, но и вращения исполнительных органов – поворотных столов, планшайб и шпиндельных бабок. Традиционно программируется непосредственно поворот исполнительного органа в градусах, например для осей поворота *A* и *C*:

*N55 G00 X39.9 Y25 Z 232 A-40 C-28*

*N60 Z142*

*N65 G01 X35 Y27.3 Z133.9 F250.*

Международные стандарты, которым должны следовать все производители оборудования, предписывают обозначать поворотные оси фрезерных станков в зависимости от линейных осей, вокруг которых происходит вращение (когда другие оси стоят в «ноле») (рис. 3.33).

Положительное направление соответствует вращению против часовой стрелки. При этом имеется в виду, что инструмент движется вокруг детали. Если же компоновка станка такова, что деталь вращается вокруг инструмента, т.е. установлена на поворотном столе, то не следует забывать, что наблюдаемое вращение стола с деталью против часовой стрелки соответствует отрицательному направлению. В этом случае движение инструмента относительно детали происходит, на самом деле, по часовой стрелке и в соответствии с принятым соглашением поворотная координата должна «идти в минус».

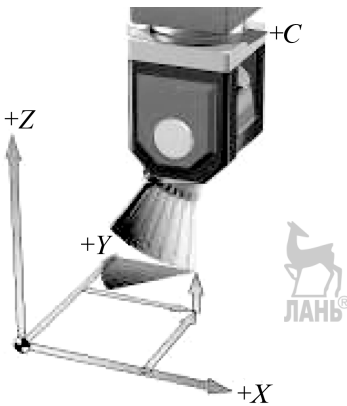


Рис. 3.34. Смещение при повороте

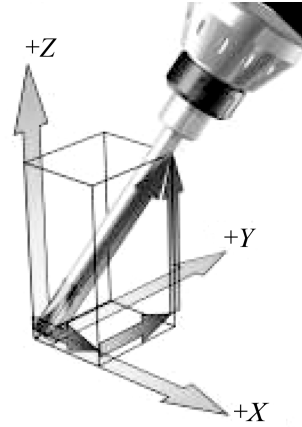


Рис. 3.35. Вектор оси инструмента

Проще запомнить следующее правило. Если против часовой стрелки вращается:

узел с инструментом – «плюс»;

узел с деталью – «минус».

Программирование непосредственно в координатах поворота исполнительных органов имеет существенный недостаток. Поскольку при вращении стола с деталью или шпиндельной бабки есть определенное плечо поворота, изменяется не только угловое положение детали или инструмента, но и линейное (рис. 3.34). Возникшее смещение необходимо учесть. Эту задачу может решить постпроцессор, пересчитав и внося в текст программы соответствующее положение. Но у каждого станка плечо поворота индивидуально и на каждый станок приходится разрабатывать свой постпроцессор.

Современный подход – это машинезависимое программирование, когда рассчитывают только взаимное расположение инструмента и детали, а все нюансы, связанные с кинематикой станка, решает сам станок. Для этого используются функции так называемой пятиосевой трансформации. Основное преимущество такого подхода – абсолютная независимость управляющей программы от кинематики станков. Единственное ограничение состоит в том, что стойки ЧПУ должны быть одного производителя. Кроме того, программа уже не привязана к конкретному расположению детали на столе станка (точнее, к расстоянию от настроечных баз детали до осей поворота).

Пакет пятиосевой трансформации у каждого производителя выполнен по-разному, однако концепция использована одна. Кадры управляющей программы дополняют блоками, описывающими пространственную ориентацию оси инструмента в системе координат заготовки, а именно, проекциями вектора оси на координатные оси. Программу сопровождают командами, включающими и выключающими трансформацию.

Для стойки Heidenhain управляющая программа имеет следующий вид:

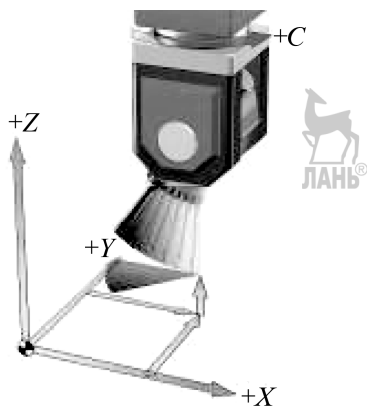


Рис. 3.34. Смещение при повороте

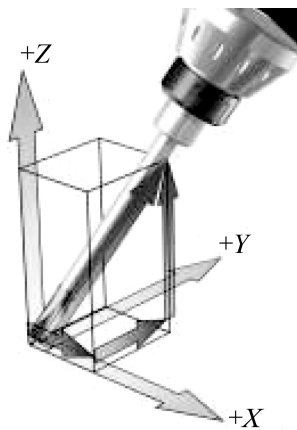


Рис. 3.35. Вектор оси инструмента

Проще запомнить следующее правило. Если против часовой стрелки вращается:

узел с инструментом – «плюс»;

узел с деталью – «минус».

Программирование непосредственно в координатах поворота исполнительных органов имеет существенный недостаток. Поскольку при вращении стола с деталью или шпиндельной бабки есть определенное плечо поворота, изменяется не только угловое положение детали или инструмента, но и линейное (рис. 3.34). Возникшее смещение необходимо учесть. Эту задачу может решить постпроцессор, пересчитав и внося в текст программы соответствующее положение. Но у каждого станка плечо поворота индивидуально и на каждый станок приходится разрабатывать свой постпроцессор.

Современный подход – это машиннезависимое программирование, когда рассчитывают только взаимное расположение инструмента и детали, а все нюансы, связанные с кинематикой станка, решает сам станок. Для этого используются функции так называемой пятиосевой трансформации. Основное преимущество такого подхода – абсолютная независимость управляющей программы от кинематики станков. Единственное ограничение состоит в том, что стойки ЧПУ должны быть одного производителя. Кроме того, программа уже не привязана к конкретному расположению детали на столе станка (точнее, к расстоянию от настроечных баз детали до осей поворота).

Пакет пятиосевой трансформации у каждого производителя выполнен по-разному, однако концепция использована одна. Кадры управляющей программы дополняют блоками, описывающими пространственную ориентацию оси инструмента в системе координат заготовки, а именно, проекциями вектора оси на координатные оси. Программу сопровождают командами, включающими и выключающими трансформацию.

Для стойки Heidenhain управляющая программа имеет следующий вид:

*N70 M128*

*N75 LN X100 Y200 Z300 TX0.45 TY0.58 TZ-0.67*

*N80 M129.*

Для Siemens:

*N85 TRAORI*

*N90 G01 X100 Y200 Z300 A3 = 0,45 B3 = 0,58 C3 = -0,67*

*N95 TRAF0F.*

Компенсация геометрии инструмента в случае пятиосевой трансформации требует включения информации о векторе нормали к обрабатываемой поверхности в точке контакта инструмента с деталью (рис. 3.35). Heidenhain использует следующий формат:

*N10 LN X100 Y200 Z300 TX = 0,45 TY = 0,58 TZ = -0,67  
NY0.79 NZ0.61: NX=0.*

Siemens рассматривает две точки контакта, в начале кадра (*A4, B4, C4*) и в конце (*A5, B5, C5*):

*N15 CUT3DF*

*N20 G01 X100 Y200 Z300 A3 = 0,45 B3 = 0,58 C3 = -0,67 A4 = 0 B4 = 0,65  
C4 = 0,75 A5 = 0 B5 = 0,79 C5 = 0,61.*


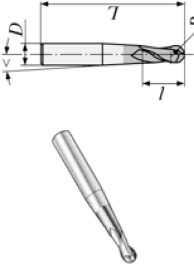


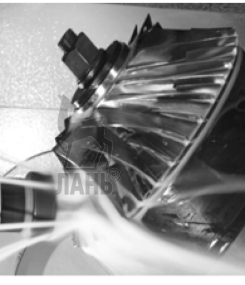
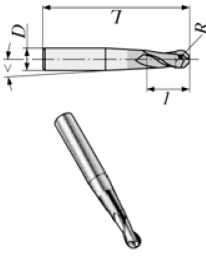
Чтобы правильно рассчитать компенсацию, системе ЧПУ необходимо предварительно указать необходимую информацию о геометрии инструмента, для которого была рассчитана программа. Тогда можно без потери точности применить переточенный инструмент с измененной геометрией.

Системы числового программного управления непрерывно развиваются, следуя возрастающим требованиям современной индустрии. Совершенствуется как аппаратная, так и программная часть. Рост быстродействия системы (как генератора импульсов, так и обратной связи) позволяет повысить точность позиционирования и скорость перемещения исполнительных узлов станка.


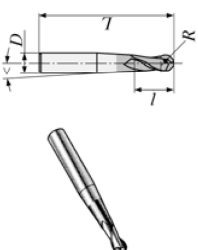
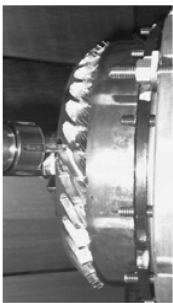



Увеличение скорости обработки влечет динамические перегрузки станка, которые приходится сглаживать, регулируя процесс разгона-торможения. Эта задача решается программным обеспечением, которое развивается и в других направлениях, совершенствуя сервисные функции, удобство работы со стойкой.

Примеры выполнения операции на обрабатывающих центрах приведены в табл. 3.17.

### 3.17. Примеры деталей и операций, выполняемых на высокоскоростных обрабатывающих центрах, и применяемого инструмента

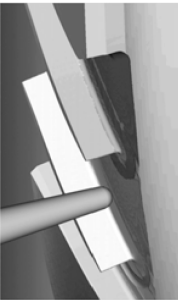
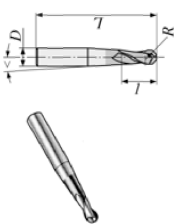
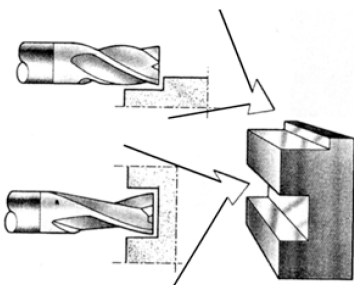
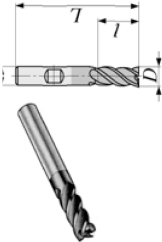
Модель станка	Название детали	Материал детали	Наименование операции	Эскиз операции	Эскиз инструмента	Материал, параметры инструмента	Режимы резания
Hermle	Колесо	ВТЗ-1	Предварительное фрезерование			H10F; $R = 4 \text{ мм};$ $\angle 3^\circ; z = 4;$ $L = 105 \text{ мм};$ $l = 17 \text{ мм};$ $D = 12 \text{ мм}$	$S = 20 \text{ мм/мин};$ $N = 1000 \text{ мин}^{-1}$
			Окончательное фрезерование			H10F; $R = 2,5 \text{ мм};$ $\angle 3^\circ; z = 4;$ $L = 105 \text{ мм};$ $l = 45 \text{ мм};$ $D = 12 \text{ мм}$	$S = 30 \dots$ $50 \text{ мм/мин};$ $N = 1000 \text{ мин}^{-1}$
Hermle	Колесо	ВТЗ-1	Окончательное фрезерование			H10F; $R = 2,5 \text{ мм};$ $\angle 3^\circ; z = 4;$ $L = 105 \text{ мм};$ $l = 45 \text{ мм}$ $D = 12 \text{ мм}$	$S = 200 \text{ м/мин};$ $N = 2500 \text{ мин}^{-1};$ $S = 400 \text{ мм/мин}$ $N = 3000 \text{ мин}^{-1};$ $S = \text{перемен.};$ $N = 3000 \text{ мин}^{-1}$

Продолжение табл. 3.17

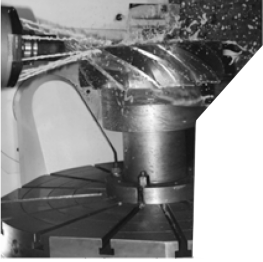
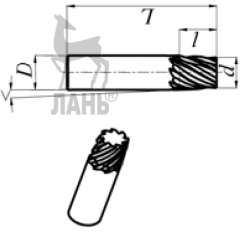
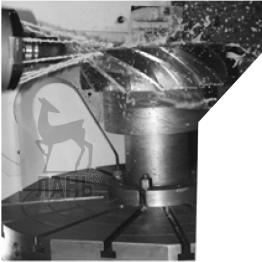
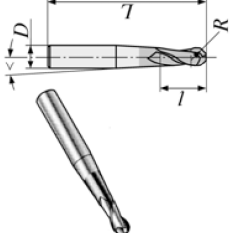
Модель станка	Название детали	Материал детали	Наименование операции	Эскиз операции	Эскиз инструмента	Материал, параметры инструмента	Режимы резания
Hermle	Колесо	ВТЗ-1	Предварительное фрезерование			H10F; R = 4 мм; ∠3°; z = 4; L = 105 мм; l = 17 мм; D = 12 мм	S = 20 мм/мин; N = 1000 мин <sup>-1</sup>
Mikron	Диффузор	14X17H2Л	Предварительное фрезерование			GC1025; R = 1 мм; z = 4; L = 72 мм; l = 20 мм; D = 10	S = 50 мм/мин; N = 1500 мин <sup>-1</sup> ; T = 1,5 мм
Mikron	Диффузор	14X17H2Л	Предварительное фрезерование			GC1025; R = 1 мм; z = 4; L = 72 мм; l = 20 мм; D = 6 мм	S = 70 мм/мин; N = 1500 мин <sup>-1</sup> ; T = 1,5 мм



Продолжение табл. 3.17

Модель станка	Название детали	Материал детали	Наименование операции	Эскиз операции	Эскиз инструмента	Материал, параметры инструмента	Режимы резания
Микрон	Диффузор	14Х17Н2Л	Окончательное фрезерование			GC1025; R = 2 мм; ∠3°; z = 2; L = 64 мм; l = 31 мм D = 8 мм	S = 250... 300 мм/мин; N = 5000...; 5500 мин <sup>-1</sup>
Микрон	Корпус	1УХ17Н2Л	Окончательное фрезерование			GC1025; R = 0,25 мм; z = 2; L = 60 мм; l = 2 мм; D = 6 мм	S = 50 мм/мин; N = = 10000 мин <sup>-1</sup>

Продолжение табл. 3.17

Модель станка	Название детали	Материал детали	Наименование операции	Эскиз операции	Эскиз инструмента	Материал, параметры инструмента	Режимы резания
Микрон	Вентилятор	ВТЗ-1	Предварительное фрезерование			H10F; R = 1 мм; z = 4; L = 87 мм; l = 10 мм; ∠3°; D = 12 мм	S = 10 мм/мин; N = 800 мин <sup>-1</sup>
						H10F; R = 3,5 мм; z = 4; L = 165 мм; l = 45 мм; ∠3°; D = 18 мм	S = 130 мм/мин; N = 1200 мин <sup>-1</sup> ; S = 40 мм/мин; N = 1200 мин <sup>-1</sup> ; S = 100 мм/мин; N = 1600 мин <sup>-1</sup> ; S = 80 мм/мин; N = 2000 мин <sup>-1</sup> ; S = 250 мм/мин; N = 2000 мин <sup>-1</sup>

### 3.9. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

На предприятиях эксплуатация станков ведется в соответствии с нормативными документами, содержащими правила и условия безопасной работы на станках, а также выполнение ряда мероприятий по их уходу, надзору и ремонту. Эти мероприятия определяются *системой планово-предупредительного ремонта*, которая включает: ежемесячные и периодические осмотры станков; постоянное поддержание чистоты оборудования и помещений, в которых оно установлено; ежедневную и периодическую смазку поверхностей трения;

периодическую промывку станков и машин с целью удаления металлоабразивных продуктов, образующихся в процессе работы, и очистку от пыли электротехнического и электронного оборудования станков и машин;

профилактическую регулировку механизмов, устройств и подвижных сопряжений деталей, обтяжку крепежа станков и машин;

профилактическую замену деталей, имеющих срок службы меньше продолжительности межосмотрового периода; периодические проверки геометрической и технологической точности станков и машин;

профилактические испытания электрооборудования, электросетей и электронных устройств;

замену утративших работоспособность быстроизнашивающихся деталей и их сопряжений или восстановление их работоспособности;

восстановление регулировки механизмов, устройств и подвижных сопряжений деталей.

*К регламентированному (плановому) техническому обслуживанию* относятся ежемесячные и периодические осмотры, проверки и испытания, поддержание чистоты оборудования и помещений, ежедневная и периодическая смазка, периодическая промывка и очистка от пыли, профилактическая регулировка, плановая (через определенное число часов работы) замена быстроизнашивающихся деталей.

*К техническому обслуживанию по потребности (неплановому)* относятся: замена отказавших деталей, восстановление случайных нарушений регулировки механизмов, устройств и подвижных сопряжений деталей, восстановление случайных нарушений неподвижных разъемных соединений деталей станков и машин.

В обязанности рабочего-станочника входят в основном работы, связанные с регламентированным (плановым) техническим обслуживанием оборудования. Среди них – поддержание чистоты оборудования и рабочего места, ежедневная и периодическая смазка и очистка станка, проверка правильности функционирования основных узлов станка по регламентированной схеме и установленным правилам, определенная правилами работы на станке профилактическая регулировка некоторых узлов и т.д.

**Некоторые правила эксплуатации станков.** 1. Допустимое колебание напряжения сети трехфазного тока для нормальной эксплуатации составляет 10...15 % от 380 В.

2. Перед включением напряжения питающей сети электротока все переключатели, имеющие фиксированное положение – начало, должны быть установлены в это положение.

3. Следует проверить ручную работу всех механизмов станка. При начале работы на новом станке это нужно сделать, предварительно установив назначение и порядок включения рукояток, кнопок и тумблеров.

4. Проверить поступление смазки и наличие ее в указателях масла.

5. Если при переключениях скоростей шпинделя рукоятка не доходит до фиксированного положения, то это означает, что шестерни не вошли в зацепление. В этом случае необходимо нажать кнопку «Толчок шпинделя», при этом произойдет импульс включения, что позволит произвести затем нормальное зацепление шестерен.

6. Переключение скоростей главного движения (вращения шпинделя) на ходу не допускается.

7. Переключение коробок скоростей производится только после установки рукояток в фиксированные положения.

8. Не рекомендуются частые переключения скоростей в целях недопущения перегрузок двигателя главного движения от пусковых электротокков.

9. При наличии на станке механизма зажима инструмента пуск шпинделя станка не произойдет, если инструмент отжат.

10. Вращающиеся устройства всех фрезерных станков, служащие для закрепления заготовок и инструментов, должны иметь гладкие наружные поверхности.

11. Зона обработки в универсальных фрезерных станках как консольных, так и с крестовым столом должна быть ограждена защитным устройством (экраном).

12. В горизонтально-фрезерных станках задний конец шпинделя вместе с выступающим концом винта для закрепления инструмента, а также выступающий из поддержки конец фрезерной оправки должны ограждаться быстросъемными кожухами.

**Обслуживание станка.** Проверить легкость перемещения стола станка во всех направлениях ручными подачами, при необходимости ослабить стопорные устройства и установить стол в положение, удобное для установки фрезы.

При возникновении вибраций остановить станок и принять меры к их устранению, проверить состояние и крепление фрезы, надежность закрепления заготовки и приспособления, выбранные режимы резания.

**Установка и смена фрезы.** Перед установкой фрезы на станок проверить:

- качество заточки – режущие кромки не должны иметь выкрашиваний, трещин и прижогов;

- надежность и прочность крепления режущих зубьев в корпусе фрезы, а также степень их износа при условии, что фреза находилась в эксплуатации; если режущие кромки фрезы затупились или выкрошились, то фрезу необходимо заменить;

- посадочные поверхности фрезы, оправки, переходных втулок, цанги и шпинделя, а также торцы установочных колец, чтобы на них не остались загрязнения и волокна от обтирочного материала.

При установке и съеме фрез остерегаться ранений рук о режущие кромки. Для этого необходимо использовать рукавицы или предварительно надевать на фрезу кожухи, закрывающие ее режущие зубья.

При фиксации хвостовика оправки или фрезы в шпинделе станка следует убедиться в том, что он садится плотно, без люфта. Фиксацию осуществляют, включив коробку скоростей во избежание проворачивания шпинделя.

После закрепления фрезы проверить биение ее режущих кромок. Настроить коробки скоростей и подач на заданные режимы, а также установить и закрепить упоры автоматического выключения подач.

Для снятия фрезы или оправки со стола применять специальную выколотку, предварительно разместив на столе станка деревянный лоток, предотвращающий порчу как инструмента, так и стола станка.

**Установка заготовок и зажимных приспособлений.** Перед установкой заготовок на стол станка или в приспособление очистить их от загрязнений; особое внимание обратить на состояние базовых поверхностей; при наличии на базовых поверхностях заусенцев, грата и других неровностей необходимо удалить их слесарным инструментом.

Места крепления заготовки следует выбирать как можно ближе к обрабатываемой поверхности. Особое внимание должно быть уделено состоянию поверхности стола.

Перед установкой заготовки на стол станка необходимо тщательно очистить его от загрязнений и стружки. В случае крепления заготовки на необработанные поверхности следует применять прихваты с насечкой.

Если обработку производят в приспособлении, то необходимо выполнить следующие работы:

- перед установкой приспособления протереть стол и посадочные места приспособления;
- при подналадке положения приспособления на столе станка применять только молотки со вставками из мягкого материала (меди, латуни);
- в случае крепления заготовки за необработанные поверхности необходимо оснастить тиски прижимными губками с насечкой;
- закрепляя заготовки в тисках за обработанные поверхности, их необходимо оснастить нагубниками из мягкого металла;
- при закреплении цилиндрических заготовок в патроне делительной головки следует применять разрезные втулки из мягкого металла и прокладывать фольгу.

Удалять стружку со стола после снятия каждой обработанной детали с помощью капроновых, волосяных или щетинных щеток (для этой цели может быть использован пылесос).

Производить установку и съем тяжелых заготовок и приспособлений (с массой более 20 кг) только с помощью подъемных устройств; освобождать заготовку от подвески разрешается только после ее установки и надежного закрепления на станке.

Приемы работы на фрезерном станке:

- заготовку подавать к фрезе только после включения вращения шпинделя, при этом механическую подачу включать до соприкосновения фрезы с заготовкой;
- перед остановкой станка необходимо сначала выключить подачу, затем отвести фрезу от обрабатываемой детали и выключить вращение шпинделя;

- отводить фрезу на безопасное расстояние, чтобы не повредить руки о ее режущие кромки при съеме обработанной детали или ее измерении на станке;
- регулировать правильность подвода СОЖ в зону резания;
- избегать размещения на столе станка режущих, вспомогательных и измерительных инструментов, а также других заготовок и ранее обработанных деталей.

**Отказы при фрезеровании и способы их устранения.**

При наладке операции фрезерования особое внимание следует обращать на жесткое и надежное крепление заготовки и инструмента. Биение режущих кромок фрез не должно быть больше, чем предусмотрено чертежом. В отдельных случаях целесообразно применить виброгасящие устройства.

Обычная точность при фрезеровании находится в пределах 9...11-го качества, а шероховатость обработанной поверхности  $Ra$  1,6...6,3 мкм.

В табл. 3.18 приведены причины отказов при фрезеровании плоскостей, прямоугольных и фасонных пазов и канавок, уступов с одной или двух сторон.

**3.18. Отказы фрезерных станков и способы их устранения**

Отказы станков	Причины отказов	Способы устранения
----------------	-----------------	--------------------

**Фрезерование плоскостей**

Выход фрезы после обработки заготовки	–	Не прекращать подачу стола до полного выхода заготовки из-под фрезы
Следы вибраций на обработанной поверхности	Не закреплены консоль, хобот или подвеска	Закрепить консоль, хобот и подвеску
Волнистость поверхности	Большая подача	Уменьшить подачу

**Фрезерование прямоугольных и фасонных пазов и канавок**

Несоответствие ширины паза размеру, указанному на чертеже	Неверно подобран размер фрезы, фреза изношена, большое биение торцов дисковой фрезы или радиальное биение концевой фрезы	Заменить фрезу, проверить оснастку
---	--	------------------------------------

Продолжение табл. 3.18

Отказы станков	Причины отказов	Способы устранения
Глубина паза не соответствует размеру, указанному на чертеже	Неправильная настройка по шкале лимба подач	Внести поправку в настройку на величину фактической погрешности размера
Уступ на поверхностях паза	Прекращение подачи стола во время фрезерования	Не прекращать подачу стола до полного выхода заготовки из-под фрезы
Неудовлетворительная шероховатость обработанной поверхности	Большая подача на зуб фрезы, малая скорость резания	Изменить режимы фрезерования (уменьшить подачу, увеличить скорость)
	Не закреплены хобот, подвески, консоль	Закрепить хобот, подвески, консоль
	Отсутствие или неправильный выбор СОТС	Применить СОТС в соответствии с техническими рекомендациями

### Фрезерование уступов одной или двух сторон

Ширина уступа не соответствует размеру, указанному на чертеже	Биение торцов дисковой фрезы или радиальное биение концевой фрезы	Устранить биение путем переустановки фрезы, замены ее или оснастки
Высота уступа не соответствует размеру, указанному на чертеже	Неправильно выполнена настройка по шкале лимба	Внести поправку в настройку подачи на величину фактической погрешности размера

*Окончание табл. 3.18*

Отказы станков	Их причины	Способы устранения
Неудовлетворительная шероховатость обработанной поверхности	Большая подача на зуб фрезы, малая скорость резания	Внести поправку в настройку подачи на величину фактической погрешности размера
	Отсутствие или неправильный выбор СОТС	Изменить режимы фрезерования (уменьшить подачу, увеличить скорость)
	Не закреплены консоль, хобот или подвеска, не отрегулированы салазки	Применить СОТС в соответствии с техническими рекомендациями Закрепить консоль, хобот, подвеску, отрегулировать зазор в салазках



### 3.1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

Основные технические характеристики отечественных станков фрезерной группы приведены в табл. 3.19–3.22, новых моделей отечественных станков фрезерной группы, выпускаемых с 2004 г., – в табл. 3.23–3.27.



## 3.19. Основные технические характеристики горизонтальных и универсальных консольно-фрезерных станков

Параметры	Модель					
	Универ-сальный 6М82	6М82Г	6М82ГБ	Универ-сальный 6Н81	6Н81Г	Универ-сальный 6Н80Г
Рабочая поверхность стола, мм	1250×320					
Наибольшее перемещение сто-ла, мм:	1000×250					
продольное	700		700	560		500
вертикальное	380		420	350		300
поперечное	240		240	190		160
Наибольший угол поворота стола, °	± 45					
Число скоростей	18					
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600					
Число подач	18					
Скорость подачи стола, мм/мин:	16					
продольная	25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250					
	63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000					
	40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000					
	35...1020					
	25; 35,5; 50; 71; 100; 140; 200; 280; 400; 560; 800; 1120; 1600; 2240					
	25; 35,5; 50; 71; 100; 140; 200; 280; 400; 560; 800; 1120					

Продолжение табл. 3.19

Параметры	Модель					
	Универ-сальный 6М82	6М82Г	6М82ГБ	Универ-сальный 6Н81	6Н81Г	Универ-сальный 6Н80Г
поперечная	—	—	—	28...790	—	18; 25; 35,5; 50; 71; 100; 140; 200; 280; 400; 560; 800
вертикальная	8,3; 10; 5; 13,3; 16,6; 21; 26,6; 33,3; 41,6; 53,3; 66,6; 83,3; 105; 133,3; 166,6; 210; 266,6; 333,3; 416,6	13,3; 16,6; 21; 26,6; 33,3; 41,6; 53,3; 66,6; 83,8; 105; 133,3; 166,6; 210; 266,6; 333,3; 416,6; 533,3; 666,6	13,3; 16,6; 21; 26,6; 33,3; 41,6; 53,3; 66,6; 83,8; 105; 133,3; 166,6; 210; 266,6; 333,3; 416,6; 533,3; 666,6	14...390	—	9; 12,5; 18; 25; 35,5; 50; 71; 100; 140; 200; 280; 400
Скорость быстрого перемещения стола, мм/мин:						
продольная	3000		4600	2900		2300
вертикальная	3000		4600	2300		1600
поперечная	1000		1530	1150		800
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	7,5	7,5	10	4	4	3
Частота вращения вала электродвигателя, мин <sup>-1</sup>	1440	1440	1460	1450	1450	—
Габаритные размеры станка, мм	2260×1745×1600	2395×1745×1600	2395×1745×1660	2060×1940×1600	1340×1785×1530	—
Масса, кг	2800	1700	2750	2100	2000	1150
						1130

Окончание табл. 3.19

Параметры	Модель				
	6Р83	Широко- универсальный 6Р82Ш	Широко- универсальный 6Р82Ш	6Р83Г	6Р81Г
Рабочая поверхность стола, мм	1600 × 400	1250 × 320	1600 × 400	1000 × 250	
Наибольшее перемещение стола, мм:					
продольное	1000	800	1000	630	
вертикальное	420	420	350	320	
поперечное	320	250	320	200	
Наибольший угол поворота стола, °	± 45	—	± 45	—	
Число скоростей	18	18	18	16	
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	31,5...1600	31,5...1600	31,5...1600	50...1600	
Число подач	18	18	18	16	
Скорость подачи стола, мм/мин:					
продольная	25...1250	25...1250	25...1250	35...1020	
поперечная	25...1250	25...1250	25...1250	28...790	
вертикальная	8,3...416,6	8,3...416,6	8,3...416,6	14...390	
Скорость быстрого перемещения стола, мм/мин:					
продольная	3000	3000	3000	2900	
вертикальная	1000	1000	3000	1150	
поперечная	3000	3000	1000	2300	
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	11	11	10	5,5	
Частота вращения вала электродвигателя, мин <sup>-1</sup>	1460	1460	1460	—	
Габаритные размеры станка, мм	2560×2260×1770	2680×2260×2040	2470×1950×1950	2565×2340×1770	1460×1990×1630
Масса, кг	3800	4050	3300	3700	2280

3.20. Основные технические характеристики вертикальных консольно-фрезерных станков

Параметры	6Н11	6Н10	6Н12	Модель 6Н13	6М11	Словотростной головкой 6А12ПБ	Программный 6А12П
Рабочая поверхность стола, мм	1000×250	800×200	1250×320	1600×400	1000×250	1250×320	1250×320
Наибольшее перемещение стола, мм:							
продольное	560	500	700	900	580	700	760
вертикальное	340	300	370	420	415	370	400
поперечное	190	160	260	320	200	240	260
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	65...1800	50; 71; 100; 140; 200; 280; 400; 560; 800; 1120; 1600; 2240	30...1500	30; 37,5; 47,5; 60; 75; 95; 118; 150; 190; 235; 300; 375; 475; 600; 750; 950; 1180; 1500	40...2000	50...2500	40...2000
Число скоростей	16	12	18	18	18	18	18
Скорость подачи стола, мм/мин:							
продольная	35...1020	25; 35,5; 50; 71; 100; 140; 200; 280; 400; 560; 800; 1120	23,5...1180	23,5; 30; 37,5; 47,5; 60; 75; 95; 118; 150; 190; 235; 300; 375; 475; 600; 750; 950; 1180	20...1000	40...2000	20...1000

Окончание табл. 3.20

Параметры	6Н11	6Н10	6Н12	Модель 6Н13	6М11	С поворотной головкой 6А12ПБ	Программный 6А12П
поперечная	28...790	—	23,5...1180	8...390	20...1000	40...2000	20...1000
вертикальная	14...390	9; 12,5; 18; 25; 35,5; 50; 71; 100; 140; 200; 280; 400	8...390	8...390	6,5...333	13,5... 666,6	8...400
Скорость быстрого перемещения стола, мм/мин: продольная	2900	2300	770...2300	770...2300	2300	4600	2500
вертикальная	2300	1600	—	—	2300	4600	2500
поперечная	1150	800	—	—	765	1533	1000
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	4	—	7	10	4	10	5,5
Частота вращения вала электродвигателя, мин <sup>-1</sup>	1450	—	—	—	—	—	—
Габаритные размеры станка, мм	2060× ×1530× ×2300	1340× ×1785× ×1730	2100× ×1740× ×1875	2370× ×2140× ×2245	2020× ×2020× ×1900	2395× ×1745× ×2000	1765× ×2315× ×1950
Масса, кг	2100	1160	2900	4300	2200	3065	2500



3.21. Основные технические характеристики продольно-фрезерных одностоечных станков

Параметры	Модель									
	6304	6305	6306	6308	6310	6316	6320	6325		
Рабочая поверхность стола, мм	400×1250	500×1600	630×2000	800×3000	1000×4000	1600×5000	2000×6300	2500×8000		
Наибольшее перемещение стола, мм	1250	1 250	2 000	3555	4550	5500	6800	8500		
Число скоростей	18	21	16	16	16	–	–	–		
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	40...2000	16...1600	I диапазон 20...630; II диапазон 40...1250	25...800	25...800	25...1250	20...1000	20...1000		
Скорость подачи, мм/мин: стола	20...1000 10...1500; II диапа- зон 20...3000	I диапа- зон	I диапазон 10...100; II диапазон 60...600; III диапа- зон 300...3000	20...2000	20...2000	5...500	10...1000	10...1000		

Окончание табл. 3.21

Параметры	Модель									
	6304	6305	6306	6308	6310	6316	6320	6325		
фрезерной бабки	1...5000	10...750	10...750	20...1250	20...1250	10...800	10...800	10...800	10...800	10...800
Скорость быстрого перемещения, мм/мин:										
стола	3000	I диапазон 2250; II диапазон зон 4500	4500	3200	3200	5500... 6000	5500...6000	5500... 6000	5500... 6000	5500... 6000
фрезерной бабки	1500	1200	1200	1500	1500	2000	2000	2000	2000	2000
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	4	7,5	10	13	13	22	30	30	30	30
Габаритные размеры станка, мм	3635× ×1690× ×2050	4320× ×2140× ×2330	6000× ×2925× ×3800	8060× ×2800× ×4000	10 390× ×3135× ×4350	13 420× ×4335× ×5500	19 000× 7870× ×7200	22 460× ×7870× ×7200	22 460× ×7870× ×7200	22 460× ×7870× ×7200
Масса, кг	5000	9400	19000	29500	37500	57700	121200	121200	121200	133500

3.22. Основные технические характеристики продольно-фрезерных двухстоечных станков

Параметры	Модель				
	6604	6605	6606	6Г608	6Г610
Рабочая поверхность стола, мм	400×1250	500×1600	630×2000	800×2500	1000×3200
Наибольшее перемещение стола, мм	1250	1600	2000	2500	3200
Число скоростей	18	21	21	20	20
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	40...2000	16...1600	16...1600	16...1250	16...1250
Регулирование подачи:	Бесступенчатое				
стола фрезерной бабки					
Скорость подачи, мм/мин:	 I диапазон 10...750; II диапазон 750...3000				
стола фрезерной бабки					



Продолжение табл. 3.2.2

Параметры	Модель			
	6604	6605	6606	6Г610
Скорость быстрого перемещения, мм/мин: стола фрезерной бабки поперечины	3000	4500	4500	4500
	1500	1200	1200	1200
	—	—	120	120
	4	7	10	13
Мощность электродвигателя главного привода, кВт				17
Габаритные размеры станка, мм	3635×2650×2050	5200×3520×2330	5850×4100×3600	7300×4100×3800
				8290×4100×3780
Масса, кг	6350	13 600	22 500	31 000
Параметры	Модель			
	6610	6610Б	6У612	6662
Рабочая поверхность стола, мм	1000×4000	1000×4000	1250×4000	1800×6000
Наибольшее перемещение стола, мм	4550	4550	4500	6500
Число скоростей	16	16	18	12
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	25...800	25...800	25...1250	37,5...475
			20...1000 (с перебором); 5000 (без перебора)	20...1000

Окончание табл. 3.22

Параметры	Модель				
	6610	6610Б	6У612	6620	6625
Регулирование подачи: стола фрезерной бабки	Бесступенчатое				
Скорость подачи, мм/мин:					
стола	20...2000	20...2000	5...500	10...1000	8...1000 I диапазон 5...500; II диапазон 10...1000
фрезерной бабки	20...1250	20...1250	10...800	10...800	—
Скорость быстрого перемещения, мм/мин:					
стола	3200	3200	6000	6000	—
фрезерной бабки	1500	1500	2000	2000	—
поперечины	—	—	520	585	—
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	13	13	22	30	28
Габаритные размеры станка, мм	10490× ×4360× ×4075	10390× ×4360× ×4075	10900× ×6500× ×5200	19460× 10000× ×6700	14750× ×6170× ×5440
Масса, кг	39 000	37 600	64 000	120 000	76 700
					136 000

3.23. Технические характеристики новых моделей вертикально-фрезерных консольных станков, выпускаемых с 2004 г.

Модель	Основные параметры стола		Габаритные размеры станка, мм	Мощность электродвигателя главного привода, кВт	Примечание
	Ширина, мм	Длина, мм			
ЛФ200	200	320	—	—	—
МРФ	250	630	1700×700×1700	1,5	—
ИРФ250	250	630	1700×1210×1790	1,5	—
6К11	250	1000	2135×1725×1290	5,5	—
ЛФ3204	250	1200	1560×1570×2100	5,5(7,5)	—
МРФ-3	250	1000	1700×1060×1818	1,5	—
6Т12	320	1250	2280×1956×2265	7,5	Наличие поворотного стола и делительной головки
6К12	320	1250	2135×1865×2290	5,5	—
ОРША-32У	320	1400	2427×1890×2060	7,5	Наличие УЧПУ
ОРША-Ф32ВФ3	320	1400	3000×2900×2450	4,0	То же
ВМ127М	400	1600	2680×2260×2500	11,0	—
6ДМ13Ф3	400	1600	2620×2800×2600	7,5	Наличие УЧПУ
6Т13	400	1600	2570×2252×2430	11,0	Наличие поворотного стола и делительной головки

Окончание табл. 3.23

Модель	Основные параметры стола		Габаритные размеры станка, мм	Мощность электродвигателя главного привода, кВт	Примечание
	Ширина, мм	Длина, мм			
6М13У	400	1600	4000×2500×3045	7,5	Обработка деталей сложной формы; 3-координатное управление УЧПУ
6М13НЦ	400	1600	—	—	То же
ФП17ВС3	500	1600	6162×4715×3345	45,0; 71,0	—
ФП7ВС2	500	3000	8800×4715×3345	30,0; 45,0	Обработка деталей сложной формы из легких сплавов; 3-координатное управление УЧПУ
ФП17ВС2	500	1600	6474×4715×3345	30,0; 45,0	То же
ФП7ВС1	500	3000	8800×4420×3050	25,0	—
ФП7ВС3	500	3000	8800×4715×3345	30,0; 45,0	—
ФП17НЦ	500	1600	5190×4565×3895	—	—
ФП7НЦ	500	3000	8300×4555×3895	—	—
ФП27НЦ	800	2000	6200×4940×3185	—	Обработка деталей сложной формы; 3-координатное управление УЧПУ
ФП27ВС	800	3000	6200×4940×3185	—	То же
ФП37НЦ	800	3000	8200×4940×3185	—	»
ФП37СП	800	3500	8710×4080×4350	30,0	»
ФП14В6	800	1300	5950×4610×4550	30,0	Обработка деталей сложной формы; 5-координатное управление УЧПУ

3.24. Технические характеристики новых моделей горизонтально-фрезерных консольных станков, выпускаемых с 2004 г.

Модель	Основные параметры стола		Габаритные размеры станка, мм	Мощность электродвигателя главного привода, кВт	Примечание
	Ширина, мм	Длина, мм			
ОНФ-1	85	250	—	—	Настольный
6Т80	200	800	1600×1875×1528	3,0	Наличие поворотного стола
6ДМ80Г	200	800	—	—	—
6К81Г	250	1000	2135×1865×1695	5,5	—
ДМ81Г	250	1000	—	—	—
FU350R (FU315R)	315	1250	2800×2880×1995	1,5	Наличие крестового и поворотного столов и вертикально-фрезерного приспособления
FW350R (FW315R)	315	1250	2800×2420×1995	1,5	Наличие крестового стола
6Т82Г	320	1250	2280×1965×1690	7,5	Наличие крестового и поворотного столов
6Т82	320	1250	2280×1965×1690	7,5	Универсальный
6К82Г	320	1250	2135×1865×1695	5,5	—
FW450R (FW400R)	400	1600	3500×3520×2160	2,2	Наличие крестового и поворотного столов и вертикально-фрезерного приспособления
FW450R (FW400R)	400	1600	3500×3520×2160	2,2	Наличие крестового стола
6Т38Г	400	1600	2570×2252×1770	11,0	Наличие крестового и поворотного столов
6Т83	400	1600	2570×2252×1770	11,0	Универсальный
КА-683Г	400	1600	2550×2260×1865	11,0	—

3.25. Технические характеристики новых моделей широкоуниверсальных фрезерных станков, выпускаемых с 2004 г.

Модель	Основные параметры стола		Габаритные размеры станка, мм	Мощность электродвигателя главного привода, кВт	Примечание
	Ширина, мм	Длина, мм			
6ДМ08Ш	125	400	—	3,0	—
ВМ132	160	500	1400×1100×1720	3,0	—
КФЭ-250NCT-90M	200	500	2000×2000×1600	2,2	Наличие горизонтального и вертикального шпинделей, горизонтального и вертикального съемных столов и УЧПУ
ВЗ-371	220 (размер заготовки)	280 (размер заготовки)	1250×1160×1700	1,5	Наличие горизонтального и вертикального шпинделей
ВМ130M	160/250	500/630	1400×1400×1720	3,0	—
ФС-250/300	195/250	533/620	1150×1100×1600	2,3	Наличие горизонтального и вертикального шпинделей, ход стола — 300 мм
ФС-250/400	195/250	533/620	1150×1100×1600	2,3	Наличие горизонтального и вертикального шпинделей, ход стола — 400 мм
67К25PR	250	630	1685×1655×1865	3,0	Наличие горизонтального и вертикального шпинделей, горизонтального и вертикального съемных столов
67К25PF1	250	630	1685×1655×1890	3,0	Наличие УЦИ, горизонтального и вертикального шпинделей и съемных столов
67К25PF2	250	630	1685×1655×1865	3,0	Наличие позиционного УЧПУ, горизонтального и вертикального шпинделей, горизонтального и вертикального съемных столов



Продолжение табл. 3.25

Модель	Основные параметры стола		Габаритные размеры станка, мм	Мощность электродвигателя главного привода, кВт	Примечание
	Ширина, мм	Длина, мм			
7К25РФЗ-1	250	630	2225×1650×1990	3,0	Наличие контурного УЧПУ, горизонтального и вертикального шпинделей, горизонтального и вертикального съемных столов
67К25РФЗ-3	250	630	2225×1650×1990	–	Бесступенчатое регулирование скорости фрезерования
6К81Ш	250	1000	2135×1725×2015	5,5	–
6М81Ш	250	1000	2135×1865×2520	5,5	Наличие горизонтального и вертикального шпинделей
6М81Ш-1	250	1000	2135×1725×2015	5,5	–
ДФ67Г25	250	1250	1420×1400×1765	2,2	Наличие горизонтального и вертикального шпинделей
ДФ6725	250	630	1420×1400×1765	2,2	–
ДФ6725Ф1	250	630	1420×1400×1765	2,2	Наличие УЦИ
6М81Ш-1Ф1	250	1000	2135×1725×2015	5,5	То же
6Т80SHС218	250	1250	1925×1835×2090	3,0	Наличие горизонтального и вертикального шпинделей
ВМ133М-02	250	500	1400×1500×1860	2,2	–
ГФ3202	320	1250	2280×1965×1870	7,5	–
ОММ64	320/250	800/630	1680×1400×1820	5,5	Наличие горизонтального и вертикального выдвижных шпинделей, горизонтального и вертикального столов

Продолжение табл. 3.25

Модель	Основные параметры стола		Габаритные размеры станка, мм	Мощность электродвигателя главного привода, кВт	Примечание
	Ширина, мм	Длина, мм			
ОММ65	320	1250	—	5,0	Наличие горизонтального и вертикального шпинделя и горизонтального стола
ОММ67	320	1250	1680×1400×1820	6,9	Наличие горизонтального и вертикального выдвигных шпинделей и горизонтального стола
ОММ67Н	320	1250	—	11,0	Наличие горизонтального шпинделя и горизонтального стола
ОММ67V	320	1250	—	11,0	Наличие вертикального шпинделя и горизонтального стола
6Т82Ш	320	1250	2280×1965×1970	7,5	—
6К82Ш	320	1250	2135×1865×2015	5,5	—
6М82Ш	320	1250	2135×1865×2015	5,5	—
6М82Ш-1	320	1250	2135×1865×2015	5,5	С автоматическими циклами
6М82Ш-1Ф1	320	1250	2135×1865×2015	5,5	Наличие УЦИ
ЛФ320Ш	320	1250	1650×1600×1700	7,5	Наличие поворотной шпиндельной головки
ОРША-Ф32Ш	320	1400	2454×1890×2495	12,5	—
ГФ3203	400	1600	2570×2252×1940	11,0	—
6532-01	400	1500	2100×2070×2450	18,5	Наличие шпинделя с автоматическим поворотом и фиксацией в вертикальном и горизонтальном положениях
6Т83Ш	400	1600	2570×2252×2040	11,0	—



Окончание табл. 3.25

Модель	Основные параметры стола		Габаритные размеры станка, мм	Мощность электродвигателя главного привода, кВт	Примечание
	Ширина, мм	Длина, мм			
6ДМ83Ш	400	1600	–	7,5	–
6ДМ83ШФ2	400	1600	–	2,2	Наличие трех электродвигателей (суммарная мощность 6,6 кВт)
FU450RAUG (FU400RAG)	400	1600	3550×3615×2720	2,2	–
МС630ПМФ4	630	–	–	20,0	Наличие пяти одновременно управляемых координат

### 3.26. Технические характеристики новых моделей копировально-фрезерных станков, выпускаемых с 2004 г.

Модель	Основные параметры стола		Грузоподъемность, кг	Габаритные размеры станка, мм	Мощность электродвигателя главного привода, кВт	Примечание
	Ширина, мм	Длина, мм				
6Е463	250	500	–	1040×1000×1260	0,25	–
6А464	250	250	–	1640×1130×730	0,37	–
6Е463	250	500	–	1040×1000×1260	0,25	Ранее выпускали мод. 6Л463, 6Г463
6А464	250	500	–	1640×1130×1730	0,37	Ранее выпускали мод. 6Л464
ЛФ259Ф3	250	500	–	1940×1025×16600	0,55	Гравирование по программе текстов, фрезерование сложных деталей
6465	250	710	–	1680×1300×1940	1,5; 2,0	Производство штампов, прессформ, сложных деталей


Окончание табл. 3.26

Модель	Основные параметры стола		Грузоподъемность, кг	Габаритные размеры станка, мм	Мощность электродвигателя главного привода, кВт	Примечание
	Ширина, мм	Длина, мм				
6В443Ф3	630	1250	3000	4000×3300×3250	5,5	Наличие связи с системой CAD/CAM
6В443КФ3	630	1250	3000	4000×3300×3250	5,5	Модернизация
6В444Ф3	1000	2000	7000	5000×4200×3850	7,3	Наличие связи с системой CAD/CAM
6В444КФ3	1000	2000	7000	5000×4200×3850	7,3	Модернизация
ЛД1100	1100	1650	—	—	0,74	Наличие двух шпинделей
УФ5944	1500	2200	2000	9000×8800×5240	10,5	Обработка неметаллических материалов и алюминиевых сплавов, 5-координатное управление УЧПУ
УФ5934	1600	2000	2000	9460×8260×5125	10,5	То же
ЛР212КФ3	2500	5000	—	10770×8640×5760	17,0	Модернизация
ЛР213КФ3	2800	7500	—	12775×10090×675	17,0	То же
УФ5942	1600	4000	10000	11000×7000×5150	22,0	Наличие двух шпинделей, 5-координатное управление УЧПУ
УФ5943	1600	4000	10000	13100×7000×5150	30,0	3-координатное управление УЧПУ
6441КФ4-5	320	—	—	2500×950×2500	4,8	5-координатная обработка сложных поверхностей; связь с системой CAD/CAM
6А440КФ3	300	450	—	1000×800×600	1,0	Обработка сложных поверхностей с использованием УЧПУ
6441ПКФ4	320	500	—	23000×2150×2720	7,5...11,0	То же

## 3.27. Технические характеристики новых моделей продольно-фрезерных станков, выпускаемых с 2004 г.

Модель	Основные параметры стола		Габаритные размеры станка, мм	Мощность электродвигателя главного привода, кВт	Примечание
	Ширина, мм	Длина, мм			
6М310Ф11-20	1000	3150	10550×7000×5500	40,0	Одностоечный
6М610Ф11-20	1000	3150	10550×7000×5500	40,0	Двухстоечный
6М610Ф11-20.3	1000	3150	10550×7000×5500	40,0	Наличие трех бабок
МС6104	1000	3150	–	–	Наличие четырех бабок
6М610Ф4	1000	3150	10550×7000×5500	40,0	Двухстоечный
6М610Ф4-20	1000	3150	10550×7000×5500	40,0	То же
МСГП6101Ф13-6	1030	6000	8400×4400×3800	31,5	Одностоечный с подвижной стойкой и поворотной головкой в двух плоскостях
МСГ1200Ф13-1	1200	3100	8375×4750×3930	31,5	Одностоечный с ползунами и головками
МСГ1200Ф13-10	1200	3100	8375×4750×3930	31,5	Одностоечный с подвижным столом и поворотной головкой в двух плоскостях
МСГ1200Ф4-1	1200	3100	8375×4750×3930	31,5	Одностоечный с ползунами и головками
66К25ПМФ4-05	2500	По заказу	14100 (18100; 22100)×8600×7080	40...55	Наличие подвижного стола; возможность растачивания; управление ЧПУ; магазин инструментов

Продолжение табл. 3.27

Модель	Основные параметры стола		Габаритные размеры станка, мм	Мощность электродвигателя главного привода, кВт	Примечание
	Ширина, мм	Длина, мм			
66К35ПМФ4	3550	12000	40600×11200×12300	120...150	То же
МС620МФ4	2000	6000		—	Наличие автоматической смены инструментов
МС625МФ4-08	2500	8000	—	—	То же
МСГ6062Ф4	630	630	—	—	Наличие двух ползунов между стойками; автоматическая смена инструментов и столов-спутников; два магазина инструментов; контроль детали и инструментов
ФР-1	2000	2000	—	—	Наличие поворотного стола с круговой интерполяцией; контроль детали и инструментов
МСГ1200Ф4-10	1200	3100	8375×4750×3930	31,5	Одностоечный с подвижным столом и поворотной головкой в двух плоскостях
УФ5221	1250	4000	12170×6640×5970	22,0	Наличие подвижного стола; управление УЦИ
УФ5221-06	1250	4000	12170×6640×5970	22,0	Наличие подвижного стола; управление УЦИ; бесступенчатое управление частотой вращения шпинделя
6К12Ф4	1250	4000	12900×6190×6000	40,0	Наличие подвижного стола; возможность растачивания; управление ЧПУ

Продолжение табл. 3.27

Модель	Основные параметры стола		Габаритные размеры станка, мм	Мощность электро-двигателя главного привода, кВт	Примечание
	Ширина, мм	Длина, мм			
6M612Ф11-20	1250	4000	12500×6500×5800	40,0	Двухстоечный
6M612Ф11-20.3	1250	4000	12500×6500×5800	40,0	Наличие трех бабок
6M612Ф11-20.2	1250	4000	—	—	Наличие двух бабок
6M612Ф4	1250	4000	12500×6500×5800	—	Двухстоечный
6M612Ф4-20	1250	4000	—	—	То же
МС6203	1250	4000	—	—	Наличие трех бабок
2ФП131-05	1400	31800	41400×5400×3700	55,0	Наличие подвижных порталов с двумя поворотными бабками
ФП-9ТС	1600	3000	8890×6000×5000	7,0; 10,5	—
УФ5222	1600	4000	12700×6790×5970	22,0	Наличие подвижного стола; управление УЦИ
УФ5222-06	1600	4000	12700×6790×5970	22,0	Наличие подвижного стола; управления УЦИ; бесступенчатое управление частотой вращения шпинделя
66К16Ф4	1600	4000	12900×6365×6000	40,0	Наличие подвижного стола; возможность растачивания; управление ЧПУ
6M616Ф11-20	1600	5000	14200×6900×5800	40,0	—

Продолжение табл. 3.27

Модель	Основные параметры стола		Габаритные размеры станка, мм	Мощность электродвигателя главного привода, кВт	Примечание
	Ширина, мм	Длина, мм			
6М616Ф11-20.2	1600	5000	—	—	Наличие двух бабок
6М616Ф11-20.3	1600	5000	14200×7900×5800	40,0	Наличие трех бабок
6М616Ф4	1600	5000	14200×7900×5800	—	Двухстоечный
6М616Ф4-20	1600	5000	—	45,0	То же
МС6303	1600	6000	—	—	Наличие трех бабок
ФП-93НЦ	1600	7000	18200×6300×5400	45,0	Наличие подвижного стола
ФП-93Э	1600	7000	18200×6300×5400	45,0	Наличие электродвигателя
6М616Ф4-008	1600	8000	22500×6300×5800	—	—
2ФП-231	1750	40320	42300×6050×3860	55,0	Наличие подвижных порталов с поворотными головками
6718	4500	28000	35000×8000×6250	40,0	Наличие подвижных порталов; возможность растачивания; управление ЧПУ
УФ5220	2000	6000	16500×8600×7250	30,0	Наличие подвижного стола; управление УЦИ
У5220-01	2000	6000	16500×8600×7250	30,0	—
УФ5220-06	2000	6000	16500×8600×7435	30,0	Наличие подвижного стола; управление УЦИ; бесступенчатое управление частотой вращения шпинделя
РФП2А-1	2100	8400	—	—	Раскрой листовых заготовок

Продолжение табл. 3.27

Модель	Основные параметры стола		Габаритные размеры станка, мм	Мощность электродвигателя главного привода, кВт	Примечание
	Ширина, мм	Длина, мм			
66К20Ф4	2000	6000	18100×7300×7080	40...55	Наличие подвижного стола; возможность растачивания; управление ЧПУ
МС620Ф11	2000	6000	18500×7800×5800	—	Наличие торцовой поворотной головки
МС620Ф4	2000	6000	18500×7800×5800	—	То же
РФП6К	2000	6700	10365×4700×3280	7,5	Обработка деталей сложной формы; 5-координатное управление УЧПУ
2Ф-241С	2060	35240	42300×6050×3860	30,0	Обработка деталей сложной формы; 4-координатное управление УЧПУ
РФП2А-1	2100	8400	10365×4700×3280	7,5	Обработка листов сложной формы; 3-координатное управление УЧПУ
ВФ-3М8	2500	4000	—	—	3-позиционная обработка; 3-координатное управление УЧПУ
ВФ-3М12ВС	2500	4000	—	—	То же
ВФ-5	2500	7000	18130×6260×6000	30,0	—
ВФ-5Н2	2500	7000	18130×6260×6000	30,0	Обработка деталей сложной формы; 5-координатное управление УЧПУ
ВФ-5И	2500	4000	13250×5915×5200	30,0	Наличие 2-координатной поворотной головки; 5-координатное

Окончание табл. 3.27

Модель	Основные параметры стола		Габаритные размеры станка, мм	Мощность электро-двигателя главного привода, кВт	Примечание
	Ширина, мм	Длина, мм			
УФ5225	2500	8000	21700×8850×7250	30,0	Наличие подвижного стола; управление УЦИ
УФ5225-01	2500	8000	21700×8850×7250	30,0	—
УФ5225-06	2500	8000	21700×8850×7435	30,0	Наличие подвижного стола; управление УЦИ; бесступенчатое управление частотой вращения шпинделей
66К25Ф4	2500	По заказу	21700×7800×7080	40...55	Наличие подвижного стола; возможность растачивания; управление ЧПУ
МС625Ф11	2500	8000	22500×8200×5800	—	Наличие торцовой поворотной головки
МС625Ф4	2500	8000	22500×8200×5800	—	То же
66К45ПФ4	4500	1200	40600×12200×12300	120...150	Наличие подвижного стола; возможность растачивания; управление ЧПУ
ФРС-5	—	—	58080×4513×8200	18,5	Обработка деталей сложной формы; 5-координатное управление УЧПУ
6М310Ф1	1000	3150	10550×7000×5500	37...45	Модернизация. Длина стола по заказу 1600...6600 мм
6М610Ф1	1000	3150	10550×7000×5500	37...46	Модернизация. Длина стола по заказу 1600...6600 мм
6М612Ф1	1250	4000	12500×6500×5800	37...47	Модернизация. Длина стола по заказу 2500...6300 мм
6М616Ф1	1600	5000	15500×6900×5800	37...48	Модернизация. Длина стола по заказу 3150...8000 мм
НС345Ф11	2800	8000	—	—	—
НС345-12Ф11	2800	12000	—	—	—



# ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

---

### 4.1. ЭЛЕМЕНТЫ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

*Приспособление* – технологическая оснастка к станку, предназначенная для базирования и крепления на ней заготовок. Применение приспособлений способствует:

- повышению производительности труда за счет снижения основного и вспомогательного времени;
- уменьшению погрешности обработки;
- расширению технологических возможностей оборудования;
- улучшению условий труда и повышению безопасности работы.

Приспособления классифицируют по различным признакам. Так, например, в зависимости от степени специализации приспособления подразделяют на универсальные, универсально-наладочные и специальные. Особую группу составляют сборно-разборные приспособления.

Основные элементы приспособлений рассмотрим на примере фрезерного четырехместного приспособления, используемого при обработке лысок на заготовках типа валиков (рис. 4.1, а).

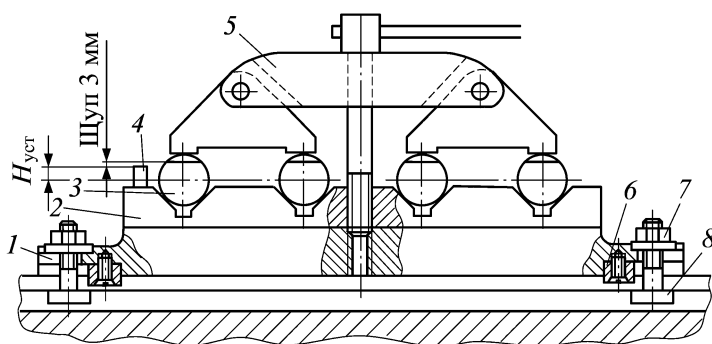
Корпус 1 фрезерного приспособления имеет специальные пазы – проушины, которые позволяют гайкой 7 с болтом 8 крепить приспособление к столу фрезерного станка. У большинства фрезерных приспособлений в пазах основания корпуса крепят две направляющие шпонки 6. Эти шпонки определяют положение приспособления (при его установке на стол станка) по оси центрального (продольного) Т-образного паза стола станка и должны входить в паз с минимальным зазором.

Установочные (базовые) элементы 2 приспособления служат для базирования заготовки в приспособлении.

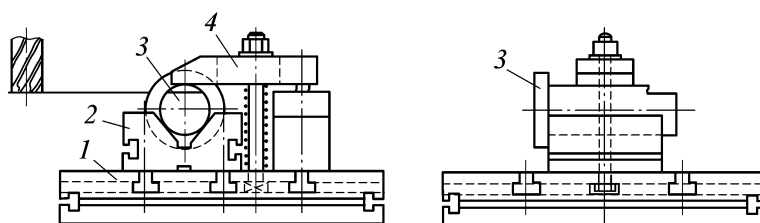
Относительно установочных элементов приспособления задается положение поверхности установка 4. Установ является элементом фрезерного приспособления, который позволяет (при использовании шупа) быстро настроить фрезу на необходимый размер. Обязательным элементом приспособлений являются зажимные устройства 5, которые надежно фиксируют положение заготовок 3 после их базирования в приспособлении.

Конструктивное исполнение приспособлений определяется размером заготовок, их массой, формой и т.п.

В массовом и крупносерийном производствах экономически оправдано применение сложных приспособлений со встроенным силовым приводом (пневматическим, электрическим, гидравлическим и др.) для зажимного устройства. Широко применяются многоместные автоматические и обеспечивающие непрерывную обработку приспособления.



а)



б)

**Рис. 4.1. Типовые элементы фрезерного приспособления:**

а – специального; б – универсально-сборного (УСП)

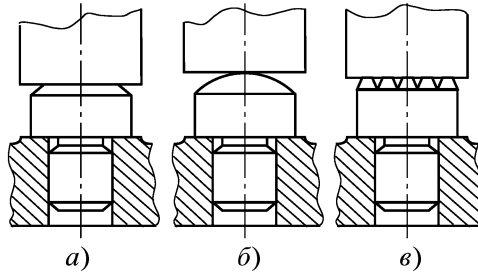
В единичном и мелкосерийном производстве используют приспособления, относящиеся к группе сборно-разборных. Такие приспособления собирают из стандартизованных или нормализованных деталей и узлов. После окончания обработки партии заготовок такие приспособления разбирают, составляющие детали и узлы отправляют на участок для хранения или используют при сборке других приспособлений.

На рис. 4.1, б показано приспособление, собранное из нормализованных деталей. На плите 1 закреплена призма 2, на которую устанавливают обрабатываемую заготовку 3. Винто-рычажное зажимное устройство 4 предназначено для закрепления заготовки.

В системах сборно-разборных приспособлений часто применяют механизированные приводы зажима заготовки.

## 4.2. УСТАНОВОЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Установочные элементы приспособлений, выполняемые в виде опор, подразделяют на основные, т.е. ориентирующие заготовку в приспособлении, и вспомогательные, которые служат для повышения жесткости технологической системы и уменьшения прогиба заготовки.

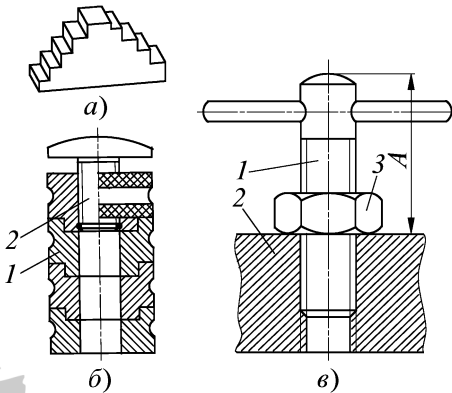


**Рис. 4.2. Конструкции штырей для установки заготовок:**  
*a* – по обработанной плоскости; *б, в* – по необработанной

Заготовка может быть установлена в приспособлении необработанной (черновая база) и обработанной (чистовая база) поверхностью. По форме базовая поверхность может быть плоской, цилиндрической, наружной (вал) или внутренней (отверстие), криволинейной. Для базирования заготовки в приспособлении чаще всего используют различное сочетание поверхностей (см. подразд. 2.2).

Конструкции установочных элементов приспособлений весьма разнообразны и определяются выбранной схемой и видом базовой поверхности. Опоры для базирования заготовок по плоскости могут быть постоянными, регулируемыми и подводимыми (самоустанавливающимися).

Конструкции постоянных опор, выполненные в виде штырей, показаны на рис. 4.2.



**Рис. 4.3. Конструкции опор:**

*a* – ступенчатая опора; *б* – универсальная подставка; *в* – регулируемая опора

Ступенчатые опоры (рис. 4.3, *a*) используются для установки заготовок непосредственно на стол фрезерного станка. Применение этих опор значительно сокращает количество мерных прокладок. Кроме того, эти опоры фрезеровщики часто применяют в качестве подставок под прижимные планки. Универсальная подставка (рис. 4.3, *б*) состоит из одинаковых по высоте и конструкции пустотелых колец *1*, входящих одно в другое. Верхнее кольцо имеет резьбовое отверстие, в которое ввернута пятка *2*. Подставка служит для установки на ней обрабатываемых заготовок и прижимных планок, удобна в работе

и способствует сокращению вспомогательного времени.

Регулируемые опоры применяют преимущественно при базировании по черновой базе, если заготовки имеют различный припуск, а также если базовая поверхность имеет ступеньки, углубления, выступы и т.п. Эти опоры часто при-

меняют совместно с постоянными. Контактная поверхность опоры имеет сферическую или коническую форму. Размер  $A$  опоры (рис. 4.3, в) обеспечивается вылетом винта 1 из корпуса приспособления 2. Гайка 3 фиксирует винт в установленном положении.

Подводимые самоустанавливающиеся опоры уменьшают деформацию жестких заготовок под воздействием сил резания при обработке. Эти опоры используют в дополнение к основным. В такой опоре (рис. 4.4) при откреплении винта 1 плунжер 2 с опорной пяткой под действием пружины 4 доводится до контакта с поверхностью заготовки 3, после чего плунжер закрепляют в этом положении винтом 1 (через штырь 5). Размеры пружины и степень ее предварительного сжатия принимают такими, чтобы не происходило смещения установленной на основные опоры заготовки. Штырь 5 ограничивает выдвижение плунжера при открепленном положении опоры.

Клиновое соединение удерживает опору в заданном положении и препятствует перемещению заготовки под действием сил резания, а цилиндрическая часть штыря удерживает плунжер от проворота. По конструкции плунжер может быть постоянным или регулируемым.

Распространенной является конструкция подводимой опоры, показанной на рис. 4.5. Подъем плунжера 1 до контакта с поверхностью заготовки 2 обеспечивается осевым смещением клина 6. При повороте винта 3, на котором закреплен маховичок, происходит расклинивание сегментных шпонок 4 и обеспечивается стопорение опоры. Шпонки расклиниваются конусом 5 винта.

Базирование заготовки по наружной цилиндрической поверхности вала чаще всего осуществляется на призмы, основным параметром которых является угол призмы  $\alpha$  (рис. 4.6). Этот угол у стандартных призм принимают равным 90, 60 или 120°. В практике чаще всего применяют призмы с углом 90°.

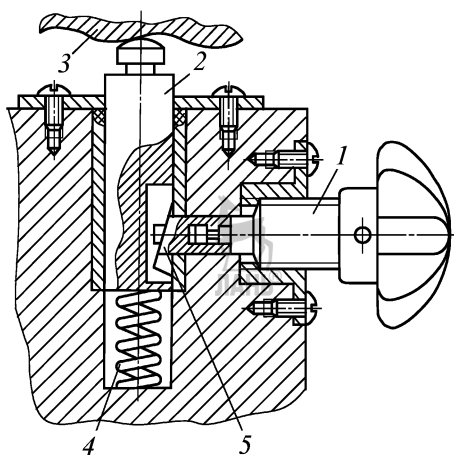


Рис. 4.4. Конструкция самоустанавливающейся опоры

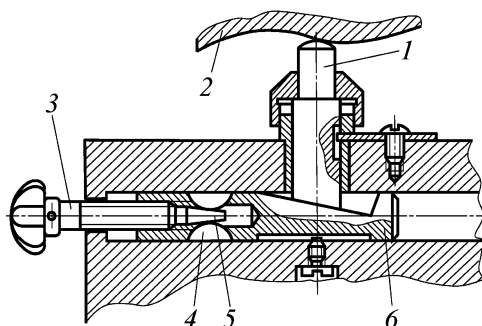


Рис. 4.5. Конструкция подводимой опоры

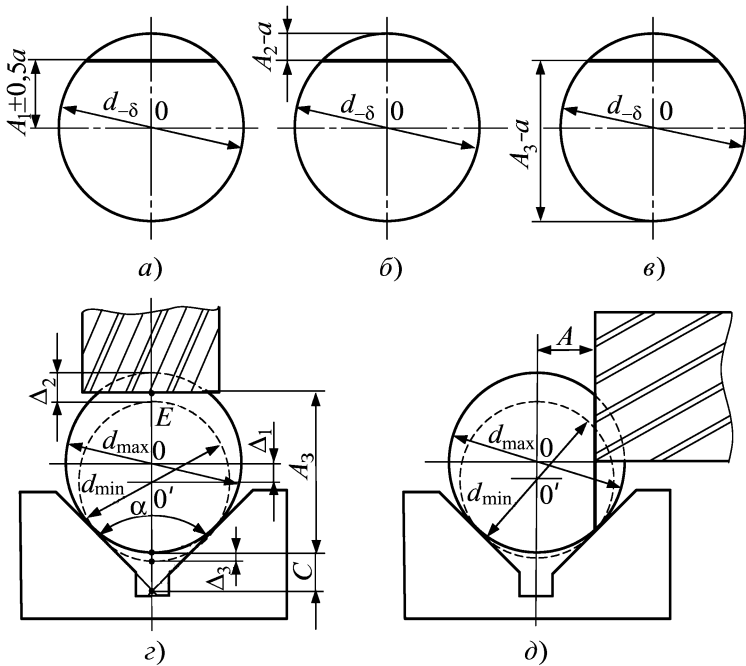
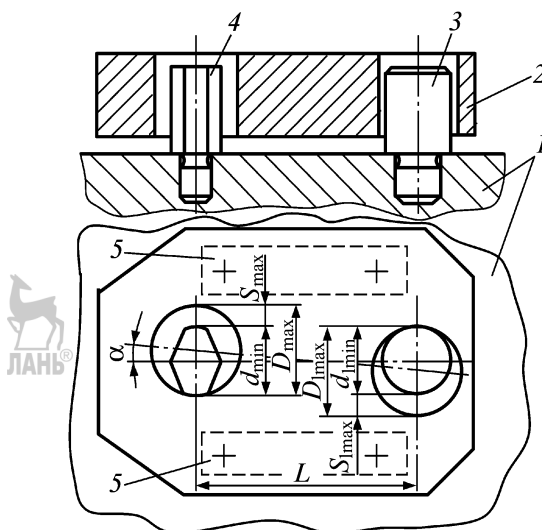


Рис. 4.6. Схема базирования заготовки по наружной цилиндрической поверхности на призме

При использовании этого установочного элемента следует учитывать характер задания размера обрабатываемой плоскости, допуск на базовый элемент заготовки (на вал) и положение рабочих поверхностей фрезы относительно оси симметрии призмы. Плоскость, которую необходимо получить в процессе фрезерования вала, может быть задана размером  $A$  от центра, от верхней или нижней образующей вала (рис. 4.6, а, б, в).

При базировании вала на призму (рис. 4.6, г) ось вала (у различных заготовок) в данном сечении будет занимать различные положения в плоскости симметрии призмы из-за допуска на диаметр  $d$  вала. У заготовок с наибольшим диаметром  $d_{\max}$  ось будет в точке  $O$ , а у заготовок с наименьшим диаметром  $d_{\min}$  – в точке  $O'$ .

При этом полагаем, что  $d_{\max} - d_{\min} = \delta$ . Поскольку в процессе обработки партии заготовок положение рабочей поверхности настроенного инструмента (положение точки  $E$ , рис. 4.6, г) не меняется, то в заданный размер  $A_3$  будет внесена погрешность. Эта погрешность  $\Delta$  называется погрешностью базирования и в данном случае зависит не только от погрешности базового элемента заготовки (т.е. от величины  $\delta$  – допуска на вал), но и от величины заданного размера. Из схемы базирования нетрудно определить величину погрешности базирования для различных случаев.



**Рис. 4.7. Схема базирования заготовки на плоскость и два отверстия:**

1 – корпус приспособления; 2 – заготовка; 3 – цилиндрический палец;  
4 – ромбический палец; 5 – опорные пластины

При задании размера от оси заготовки (см. рис. 4.6, а) величину погрешности базирования  $\Delta_1$  можно определить по формуле

$$\Delta_1 = \frac{\delta}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$$

Для случая задания размера от верхней образующей (см. рис. 4.6, б) погрешность базирования

$$\Delta_2 = \frac{\delta}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{\delta}{2},$$

а для случая задания размера от нижней образующей (см. рис. 4.6, в)

$$\Delta_2 = \frac{\delta}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} - \frac{\delta}{2}.$$

Для призм с углом  $\alpha = 90^\circ$  погрешности базирования могут быть приняты  $\Delta_1 \cong 0,71\delta$ ;  $\Delta_2 \cong 1,21\delta$ ;  $\Delta_3 \cong 0,21\delta$ , где  $\delta$  – допуск на базовый диаметр заготовки.

Естественно, для обеспечения требуемой точности обработки необходимо, чтобы погрешность базирования  $\Delta$  (если не учитывать другие погрешности) не превышала допуска на размер  $A$ .

Погрешности базирования можно избежать, если вести обработку с выдер-

живанием размера, заданного перпендикулярно плоскости симметрии призмы. При обработке по схеме, показанной на рис. 4.6,  $d$ , с изменением базового диаметра в любых пределах, настроенный и заданный размер  $A$  не изменяется.

В практике фрезерных работ чаще всего для базирования деталей используют группу баз. Базирование заготовки по обработанной плоскости и отверстиям наиболее распространено для корпусов, рычагов, плит, рам и других аналогичных деталей. Такая схема базирования способствует выполнению постоянства баз, упрощает конструкцию приспособления. Установочными элементами приспособления являются два пальца и опорные планки (рис. 4.7). Один из пальцев изготавливают цилиндрической, а другой ромбической формы.

### 4.3. ЗАЖИМНЫЕ УСТРОЙСТВА ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Зажимные устройства призваны обеспечивать зажим заготовки с минимальной затратой сил и времени станочника, они должны быть простыми, надежными, удобными и безопасными в эксплуатации.

#### Основные правила эксплуатации зажимных устройств

1. Категорически запрещено применение неисправных зажимных устройств (изношенная или сорванная резьба, изношенный эксцентрик, наличие утечки в пневмо- или гидроаппаратуре и т.п.).

2. Запрещена эксплуатация зажимных устройств, если: а) рукоятки управления расположены вблизи от вращающейся фрезы; б) на пути рабочего движения руки расположены детали приспособления с выступами и острыми кромками, которые могут вызвать травму.

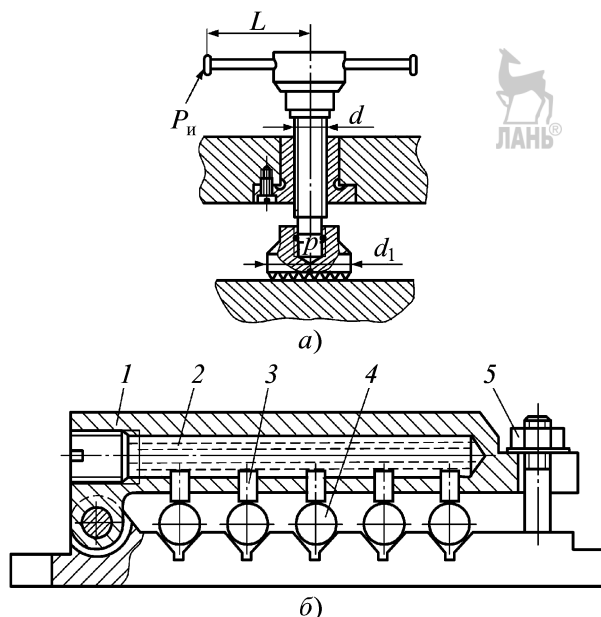
3. Контактное взаимодействие зажимных элементов устройств с заготовкой должно происходить на участке ее наибольшей жесткости с направлением силы зажима перпендикулярно опоре. Невыполнение этого требования может привести к появлению брака.

4. При закреплении заготовки несколькими прихватами сила закрепления, прокладываемая к каждому из них, должна быть одинаковой.

5. При установке приспособления на станок, а также при выборе начальной точки фрезерования следует выполнять условие: сила резания должна быть направлена на установочные элементы приспособления (как наиболее жесткие), а не на зажимные.

*Зажимные устройства*, в зависимости от источника силы, обеспечивающей зажим, делят на ручные, механизированные и комбинированные.

Ручной винтовой зажим (рис. 4.8, *a*) основан на использовании резьбовой пары и благодаря простоте, высокой надежности имеет относительно широкое применение. К недостаткам зажимов данного типа следует отнести значительные затраты времени на крепление.



**Рис. 4.8. Зажимные устройства:**

1 – ручной винтовой зажим; 2 – зажим с гидропластом

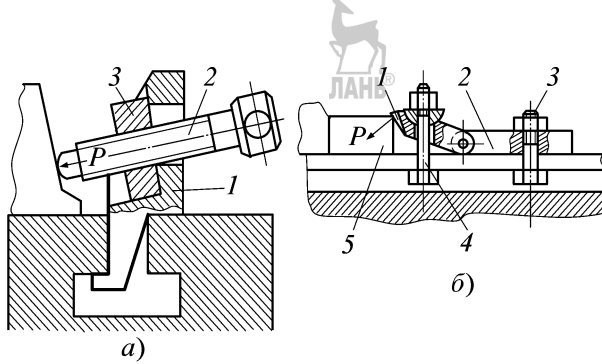
Сила  $P$ , обеспечиваемая винтовым зажимом, определяется по соответствующим формулам с учетом исходной силы  $P_{и}$ , длины рычага  $l$ , диаметра резьбы  $d$ , диаметра опоры  $d_1$ .

Винтовые зажимы могут быть с успехом использованы в зажимных устройствах многократного действия, позволяющих производить одновременное крепление нескольких заготовок. В рычажно-винтовых зажимах равномерность распределения силы зажима обеспечивается за счет качания рычагов. В зажимах с гидропластом (рис. 4.8, б) крепление заготовок 4 плунжерами 3 осуществляется поворотом гайки 5. Плунжеры размещены в отверстиях планки 1. Равномерность зажима заготовок (несмотря на некоторую разницу в размерах) обеспечивается равномерностью давления вязкой массы гидропласта на все плунжеры.

На рис. 4.9 приведены типовые конструкции винтовых зажимов. Винтовой зажим (рис. 4.9, а) предназначен для крепления плоских заготовок, корпусов, стоек и других аналогичных деталей. Зажим устанавливают в любом месте Т-образного паза стола станка. Корпус 1 зажима имеет Г-образный выступ, который расположен ниже основания. В корпусе предусмотрен овальный паз, в котором размещен винт 2, а также расточка для гайки 3. Зажимают заготовку винтом. Такой зажим позволяет закреплять заготовки, поверхности которых расположены под углом.

Зажим другой конструкции (рис. 4.9, б) состоит из губки 1, которая шарнирно соединена с планкой 2. Планку крепят болтом 3 к столу станка. Заготовка 5 фиксируют болтом 4 с гайкой. Такая конструкция обеспечивает надежный зажим заготовок, имеющих различную высоту.



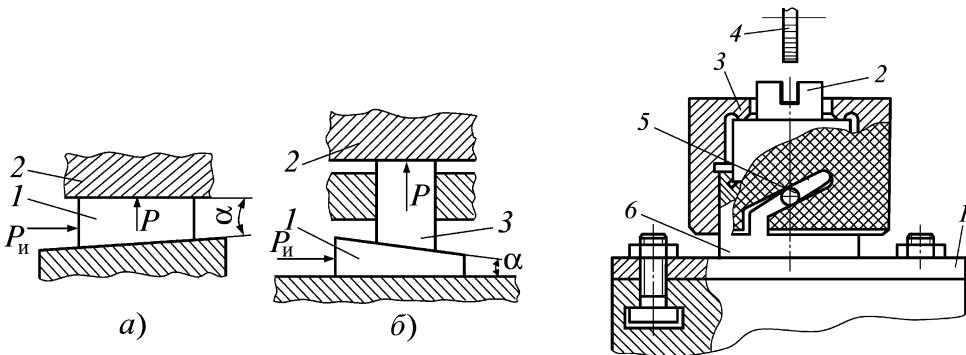


**Рис. 4.9. Винтовые зажимы:**  
*a* – угловой; *б* – шарнирный

Клиновые зажимы (рис. 4.10) просты в изготовлении, при малых размерах они обеспечивают большую силу прижима, позволяют изменить направление передаваемой силы и при углах клина (до  $8^\circ$ ) обладают свойством самоторможения.

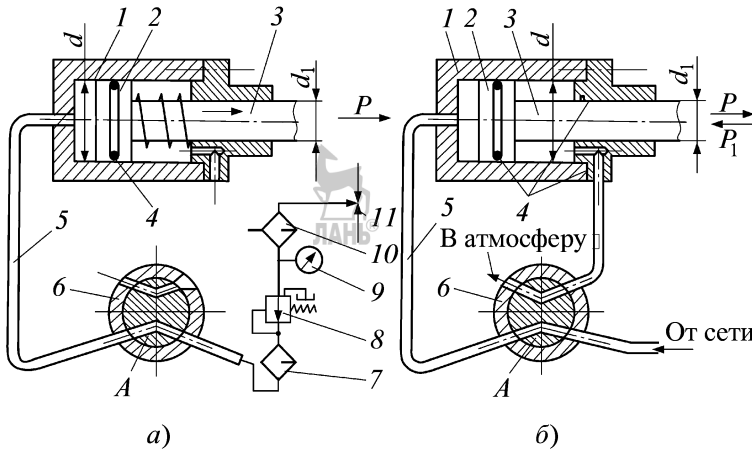
Свойства клина к самоторможению используются в байонетных зажимах с винтовым пазом (рис. 4.11). Закрепление заготовки 2 в приспособлении с таким зажимом осуществляется поворотом втулки 3, имеющей винтовой (наклонный) паз, который контактирует со штифтом 5. Конструкция зажима обеспечивает быстрое закрепление/открепление заготовки.

Механизированные зажимные устройства в зависимости от источника используемой энергии подразделяются на пневматические, гидравлические, пневмогидравлические, электромеханические, электромагнитные, вакуумные.



**Рис. 4.10. Схема клиновых зажимов:**  
*a* – непосредственного действия; *б* – через плунжер; 1 – клин; 2 – заготовка; 3 – плунжер

**Рис. 4.11. Схема приспособления с байонетным зажимом:**  
 1 – корпус приспособления; 2 – заготовка; 3 – зажимная втулка; 4 – фреза; 5 – штифт; 6 – установочный (базовый) элемент приспособления



**Рис. 4.12. Схема подачи воздуха в пневмоцилиндр:**

*а* – одностороннего действия; *б* – двустороннего действия;

- 1 – цилиндр; 2 – поршень; 3 – шток; 4 – уплотнение; 5 – трубопровод;  
 6 – распределительный кран; 7 – масленка; 8 – редукционный клапан; 9 – манометр;  
 10 – пылеуловитель; 11 – вентиль

В общем случае механизированное зажимное устройство состоит из привода и механической части, часто выполняемой как отдельный кинематический элемент – клиновой, рычажный, винтовой и т.д.

Благодаря простоте изготовления и универсальности наибольшее распространение получили зажимные устройства с пневматическим приводом. Пневматические приводы могут быть выполнены в виде пневмоцилиндров (поршневые) и пневмокамер (диафрагменные). По сравнению с ручными винтовыми зажимами устройства с пневматическим приводом в 5–10 раз сокращают время на операциях закрепления/открепления заготовки.

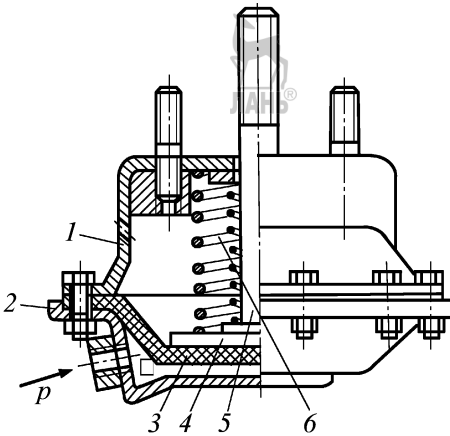
Пневмопривод с использованием пневмоцилиндров может быть одностороннего и двустороннего действия (рис. 4.12). Основным элементом привода является цилиндр 1, внутри которого размещен поршень 2 с уплотнением 4. С поршнем жестко связан шток 3. Под действием сжатого воздуха, подаваемого в пневмоцилиндр от воздушной магистрали через распределительный кран 6, поршень вместе со штоком перемещается. Это перемещение и используется в зажимных устройствах для закрепления заготовок.

Пневмоцилиндры одностороннего действия конструктивно более просты. Зажим заготовки здесь обеспечивается подачей сжатого воздуха, а отжим, т.е. возвращение поршня в исходное положение, пружиной.

У пневмоцилиндров двустороннего действия воздух подается то в одну, то в другую полость. Сила  $P$  на штоке пневмоцилиндра, которая может быть обеспечена пневмоприводом, зависит от его типа и размеров. Без учета потерь на трение в сопряжениях ее можно определить по формулам:

– для пневмоприводов одностороннего действия, Н,

$$P = 0,75pd^2 - q;$$



**Рис. 4.13. Пневмокамера  
одностороннего действия**

ГОСТ 18460–81 определяет размеры и технические условия изготовления пневмоцилиндров. Нормальные диаметры поршня составляют ряд: 50, 75, 100, 150, 200, 300 мм, а диаметры штоков соответственно: 16, 20, 30, 35, 40, 45 мм.

Пневмокамеры более просты и надежны в работе, чем пневмоцилиндры. Корпус пневмокамеры состоит из двух литых или штампованных корпусных деталей 1 и 2 (рис. 4.13), между которыми установлена резиноканевая диафрагма тарельчатой формы 3 толщиной 5...10 мм. При подаче воздуха в полость А диафрагма оказывает давление на шайбу 4 штока 5 и перемещает его.

Во избежание компрессии воздуха в корпусной детали 1 корпуса предусмотрено отверстие для выхода воздуха.

Для возврата штока воздух через распределительный кран удаляют из камеры. В исходное положение шток и диафрагму возвращает пружина 6.

Стандартные пневмокамеры имеют ход штока 30...35 мм и при диаметре диафрагмы 175, 200 и 225 мм обеспечивают силу прижима на штоке соответственно 2500, 4500 и 6000 Н.

В зажимных устройствах используют также гидравлические приводы поршневого типа. Рабочей жидкостью здесь является веретенное масло, которое подают в цилиндр привода под давлением от  $30 \cdot 10^5$  до  $60 \cdot 10^5$  Па. При этом обычно применяют отдельный для каждого привода насос.

Гидравлические приводы бывают одностороннего или двустороннего действия. На рис. 4.14 показана принципиальная схема гидравлического зажимного механизма двустороннего действия. Шестеренчатый насос 1 подает масло к управляющему золотнику 2 с ручным управлением. Золотник имеет два фиксированных положения А и Б, каждое из которых обеспечивает подачу масла в левую или правую полость цилиндра. В положении А масло через полость зо-

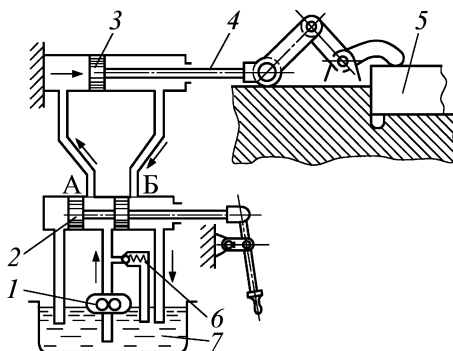
– для пневмоприводов двустороннего действия, Н:

$P = 0,75pd^2$  (прямой ход, подача воздуха в полость без штока);

$P = 0,75p(d^2 - d_1^2)$  (обратный ход, подача воздуха в полость со штоком),

где  $p$  – давление воздуха в сети, Па;  $d$  – диаметр поршня, мм;  $d_1$  – диаметр штока, мм;  $q$  – сила сопротивления пружины, Н.

Давление сжатого воздуха в заводской сети составляет  $(4...6)10^5$  Па (4...6 атм). При расчете учитывают возможную утечку воздуха в сети, одновременность работы нескольких потребителей, и поэтому расчетное давление воздуха в сети принимают  $4 \cdot 10^5$  Па.



**Рис. 4.14. Схема гидравлического зажимного механизма:**

1 – шестеренчатый насос; 2 – золотник; 3 – поршень; 4 – шток; 5 – заготовка;  
6 – редукционный клапан; 7 – резервуар



лотника поступает в левую полость цилиндра и давит на поршень 3, который перемещает шток 4 и закрепляет заготовку 5. Насос продолжает работать, и масло через редукционный клапан 6, отрегулированный на заданное давление, возвращается в резервуар 7.

Чтобы открепить заготовку, золотник перемещают в положение Б. Масло поступает в правую полость. Поршень перемещает шток влево и обеспечивает отжим заготовки. Масло из левой полости цилиндра поступает на слив в резервуар 7.

Вакуумные зажимные устройства применяют при фрезеровании для крепления тонких заготовок больших размеров из немагнитных материалов. Заготовку 1 (рис. 4.15) устанавливают в приспособление 2, полость 4 которого соединена с вакуумным насосом 3. Уплотнения 5 служат для поддержания герметичности системы. Насосом откачивают воздух из полости 4, и прижим заготовки обеспечивается атмосферным давлением.

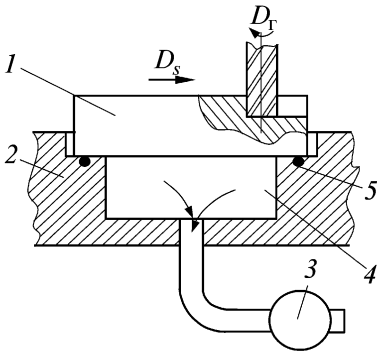
Силу прижима заготовки можно рассчитать по формуле, Н:

$$P = pF,$$

где  $F$  – активная площадь полости приспособления,  $\text{м}^2$ ;  $p$  – разность между атмосферным давлением и давлением в полости приспособления, Па.

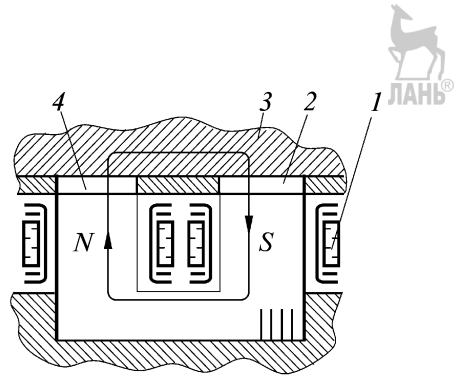
Отжим заготовки осуществляется при подаче в полость атмосферного воздуха. Эффективность работы вакуумных приспособлений в значительной мере зависит от плоскостности и шероховатости поверхности, предназначенной для базирования заготовки.

Магнитные зажимные устройства обеспечивают зажим заготовки силами магнитного поля, которое создается при прохождении электрического тока через проволочную катушку с сердечником из стали или с постоянными магнитами.



**Рис. 4.15. Схема вакуумного зажимного привода:**

1 – заготовка; 2 – приспособление;  
3 – вакуумный насос; 4 – полость приспособления; 5 – уплотнения



**Рис. 4.16. Схема действия элемента электромагнитной системы приспособления**

Электромагнитная система приспособления (рис. 4.16) включает источник энергии – катушку с сердечником 1 и магнитопроводы 2 и 4. Верхние поверхности магнитопроводов, на которые устанавливают заготовку 3, называют полюсами системы. При подаче электрического тока в катушку магнитный поток от северного полюса  $N$  замыкается на южном  $S$  через металл заготовки. Если между заготовкой и поверхностью полюсов образуется зазор, то на этом участке произойдет ослабление магнитного потока и сила притяжения будет снижена.

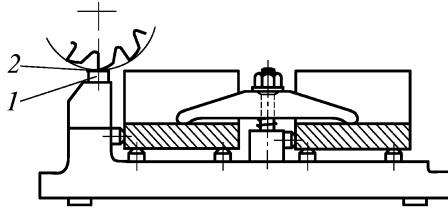
Магнитные приспособления обычно применяют в тех случаях, если заготовка изготовлена из магнитного материала и поверхность, по которой осуществляется базирование, имеет шероховатость  $Rz$  не более 40 мкм.

Магнитные зажимные устройства способны обеспечить достаточно большую силу зажима заготовок, но их использование для фрезерных приспособлений ограничено тем, что:

- для питания электромагнитного привода необходим источник постоянного тока;
- заготовки после обработки (открепления) приобретают остаточные магнитные свойства и требуют размагничивания;
- из-за явлений остаточного магнетизма возникают определенные затруднения при удалении стружки как с обработанной детали, так и с базовых поверхностей приспособления.

#### 4.4. НАПРАВЛЯЮЩИЕ ШПОНКИ И УСТАНОВЫ

Направляющие шпонки (см рис. 4.1, а, позиция б), закрепляемые в корпусе приспособления, применяют для быстрой ориентации приспособления вдоль центрального продольного паза стола станка. Иногда используют ступенчатые шпонки. При этом приспособление при установке сдвигают так, чтобы боковые



**Рис. 4.17. Схема высотного установа для фрезерного приспособления:**  
1 – установ; 2 – шуп

стороны шпонок касались одной стороны паза стола. Для крепления приспособления на столе станка в его корпусе предусмотрены проушины, в которые заводят крепежные болты. При закреплении необходимо следить за тем, чтобы не произошло смещение приспособления.

Для настройки инструмента на приспособлениях применяют установы. В различных конструкциях приспособлений используют как стандартные, так и специальные установы.

Пример применения установа приведен на рис. 4.17.

#### 4.5. УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

Фрезерные станки при необходимости могут оснащаться различными универсальными приспособлениями. Так, например, применение тисков значительно сокращает затраты вспомогательного времени при фрезеровании.

Машинные тиски с ручным приводом (винтовые), представленные на рис. 4.18, просты, удобны и надежны в эксплуатации. Корпус тисков выполнен литым из серого чугуна. На корпусе 1 размещены неподвижная 2 и подвижная 4 губки, между которыми на подкладке 12 помещают заготовку 3. Ползун 5 при вращении винта 6 рукояткой 10 перемещается по направляющим корпуса, обеспечивая зажим или отжим заготовки.

Буртик 8, гайка 7 и кольцо 9 со стопором препятствуют смещению винта 6 в осевом направлении. Две шпонки 11 предназначены для ориентации тисков на столе станка. Винты 13 служат для крепления сменных накладок к губкам тисков.

Машинные тиски с пневматическим односторонним приводом показаны на рис. 4.19. Неподвижную губку 1 вращением винта 2 устанавливают на размер обрабатываемой заготовки. При этом учитывают ход подвижной губки 3, имеющий пределы 5...7 мм. Пружина 4 обеспечивает отвод подвижной губки при отжатии заготовки. Для ее закрепления в рабочую полость диафрагменного привода подают воздух и шток 5 поворачивает угольник 6 (по часовой стрелке). Угольник сдвигает толкатель 7 и раму 8 с губкой 3 по направляющим. Сила зажима достигает 40 кН. Накладки к губкам тисков изготовлены из высокоуглеродистых сталей с последующей термической обработкой. Форма накладок может быть фасонной, когда требуется закрепить заготовки сложной формы. Рабочие поверхности губок выполняют гладкими или с насечкой.

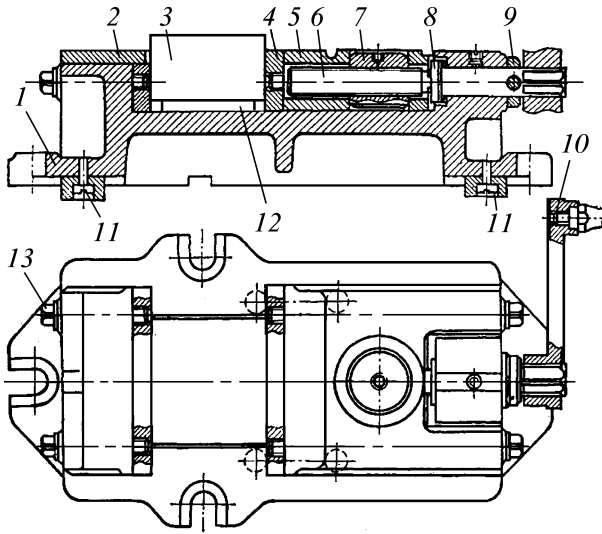


Рис. 4.18. Винтовые машинные тиски

При необходимости верхнюю часть тисков, смонтированную на корпусе 9, можно повернуть относительно основания 10. Крепление корпуса (после поворота) относительно основания осуществляется винтами, головки которых помещены в круговом Т-образном пазу 11 основания.

Круглые поворотные столы в зависимости от их конструкции обеспечивают: а) позиционное деление, необходимое при фрезеровании различных поверхностей заготовки, б) поворот заготовки на определенный угол и в) непрерывное вращение заготовки в процессе ее обработки. Поворотные столы с диаметром планшайбы 160, 200 и 250 мм имеют ручной привод, а столы с диаметром планшайбы 320, 400, 500, 630, 800, 1000 и 1250 мм – механический и ручной приводы.

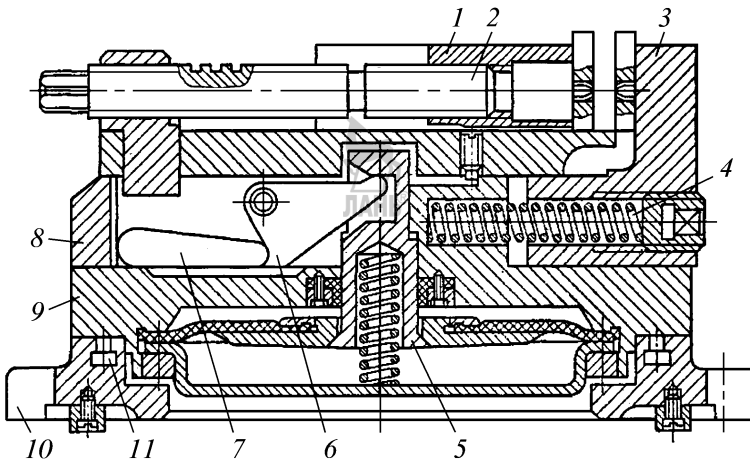


Рис. 4.19. Машинные тиски с пневмоприводом

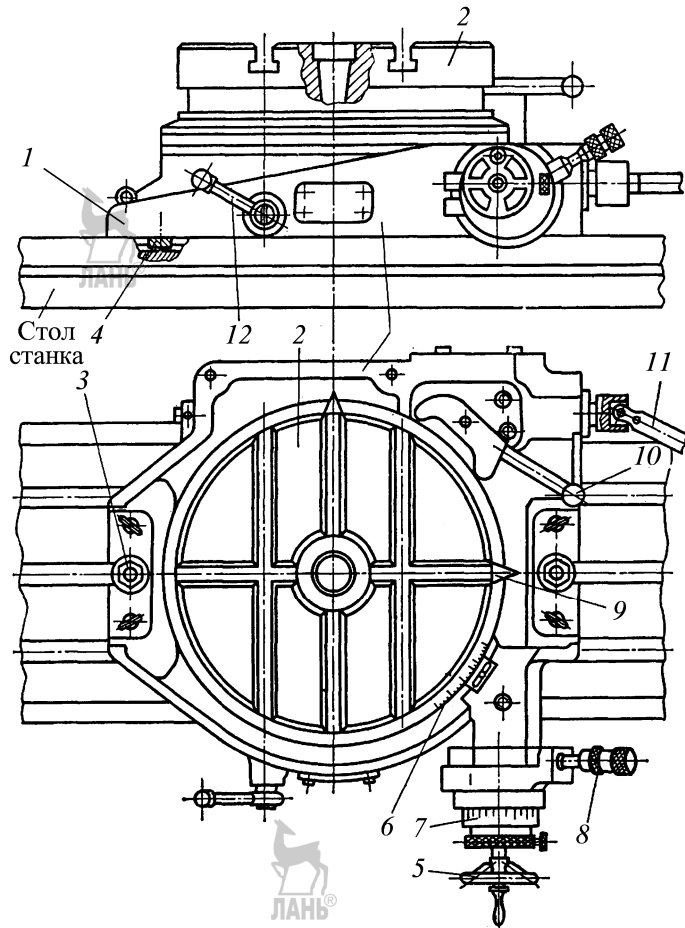


Рис. 4.20. Круглый поворотный стол

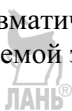
Круглый стол (рис. 4.20), позволяющий осуществлять при необходимости непрерывное вращение заготовки, состоит из неподвижной части – основания *1* и поворотной планшайбы *2*. Крепление поворотного стола к столу станка производят при помощи болтов *3*, установленных в пазах стола. Фиксация стола выполняется двумя шпонками *4*. На планшайбе стола имеются Т-образные пазы и центральное конусное отверстие для центрирования и крепления заготовок.

Маховик *5* предназначен для поворота планшайбы. Отсчет угла поворота ведут по шкале *6* и нониусу *7*. Рукоятка *8* служит для поворота эксцентриковой гильзы при выводе из зацепления червячной пары. Переставные кулачки *9* обеспечивают включение и выключение рукоятки *10* реверсивного механизма. Валик *11* служит для присоединения к столу механического привода. Зажим планшайбы стола достигается поворотом против часовой стрелки рукоятки *12*. Для обеспечения непрерывного вращения стола на фрезерных станках 6Н11, 6Р12 и 6Р13 в механизме подачи предусмотрен специальный привод. На станках, где такой



привод отсутствует, используют вращательное движение ходового винта продольной подачи стола через зубчатую передачу.

Некоторые конструкции поворотных столов имеют встроенный привод (пневматический или гидравлический), предназначенный для крепления обрабатываемой заготовки на столе, а также зажима поворотной части.



#### 4.6. ДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ГОЛОВКИ

Делительные головки значительно расширяют технологические возможности фрезерных станков, способствуют повышению как производительности, так и точности обработки. Применение делительных головок позволяет устанавливать обрабатываемую заготовку под заданным углом к плоскости стола станка, выполнять поворот ее на требуемый угол, осуществлять деление окружности на равные или неравные части, обеспечивать непрерывное вращение заготовки с различной частотой вращения.

Фрезерование зубьев зубчатых колес, стружечных канавок у сверл, разверток, зенкеров, метчиков, фрез, обработка боковых граней специальных болтов, гаек, изготовление деталей, имеющих форму многогранника, и другие аналогичные работы выполняют с применением делительных головок. Делительные головки изготавливают преимущественно одношпиндельными, однако в серийном и массовом производствах используют и многошпиндельные головки. Большая часть конструкций делительных головок стандартизована.

Делительные головки, в зависимости от их конструкции, обеспечивают непосредственное, простое или дифференциальное деление.

Делительную головку для непосредственного деления (рис. 4.21) применяют в тех случаях, когда необходимо произвести деление окружности на часто употребляемое целое число частей: 2, 3, 4, 6, 8, 12 и 24. В корпусе 1 головки размещен шпиндель 2 с поводком 3. Конус в шпинделе является элементом для базирования заготовки по центровому отверстию. На заднем конце шпинделя закреплен сменный делительный диск 4, имеющий определенное число отверстий (или пазов).

Фиксирование шпинделя в заданном положении осуществляют фиксатором 6 с помощью рукоятки 7. Чтобы повернуть шпиндель с заготовкой в следующее фиксированное положение маховиком 5, его необходимо открепить, рукояткой 7 вывести из зацепления фиксатор 6 и снова маховиком повернуть шпиндель до ввода фиксатора в очередное отверстие. После зажима шпинделя фрезерование заготовки можно продолжить.

Делительные головки для простого деления применяют в случаях, требующих повышенной точности деления окружности на равные или неравные части.

Универсальная делительная головка (рис. 4.22, а) состоит из неподвижного корпуса 1, на основании которого расположены два паза, предназначенные для закрепления головки на столе станка, а также две шпонки для ориентации головки по пазу стола. В центрирующих выточках корпуса установлена поворотная часть головки 2, внутри которой находится пустотелый шпиндель 3.

Поворотная часть позволяет устанавливать шпиндель под углом наклона относительно горизонтальной плоскости до  $90^\circ$  вверх и на  $10^\circ$  вниз. Отсчет угла наклона положения шпинделя производят по шкале 5 с нониусом, цена деления которого составляет  $30'$ . У шпинделя имеются наружная резьба для кулачкового патрона и конусное отверстие, в которое можно установить центр, переходную втулку, цанговый патрон.

Поворот шпинделя осуществляют вращением рукоятки 6 со стержнем, который выполняет роль фиксатора положения рукоятки относительно делительного диска 9. При фиксированном положении рукоятки ее стержень входит в отверстие делительного диска. Если рукоятку необходимо повернуть, то стержень 8 вынимают из отверстия диска.

Для большинства случаев делительный диск закрепляют неподвижно относительно поворотной части 2 защелкой 7. Для фиксации диска защелка вводится в зацепление с нарезанными на его боковой поверхности зубчиками и стопорится винтом.

Вращение от рукоятки 6 (при вынутом стержне фиксатора 8) через зубчатую передачу 33/33 передается червячной паре (передаточное отношение  $1/40$ ), колесо которой закреплено на валу шпинделя (рис. 4.22, б). Величина, обратная передаточному отношению червячной пары ( $N = 40$ ), определит так называемую характеристику делительной головки. Число  $N$  соответствует количеству оборотов рукоятки, необходимому для поворота шпинделя точно на один оборот.

Отсчет поворота рукоятки, а следовательно, и шпинделя производят по лимбу 11 (цена деления  $1^\circ$ ) или по делительному диску. На диске имеется 22 делительных круга по 11 с каждой стороны. Делительным кругом называют ряд отверстий (не сквозных), расположенных на одном диаметре. Количество равномерно размещенных отверстий в рядах делительного диска следующее: 24, 25, 28, 30, 34, 37, 38, 39, 41, 42 и 43 – с одной стороны и 45, 46, 49, 51, 53, 54, 57, 58, 59, 62 и 66 – с другой.

Раздвижной сектор 10 предусмотрен для удобства отсчета по диску (рис. 4.22, а). Ножки сектора устанавливают таким образом, чтобы между ними находилось необходимое число отверстий.

Для крепления шпинделя в фиксированном положении (рис. 4.22, б) применяют устройство, состоящее из кольца 15, винта 4 и сухарика 14, который при вращении винта перемещается (на схеме вниз) по втулке 13 и прижимается к внешней поверхности кольца. Одновременно втулка перемещается вверх и ее Г-образный прихват давит на внутреннюю поверхность кольца, что и обеспечивает надежное крепление шпинделя головки.

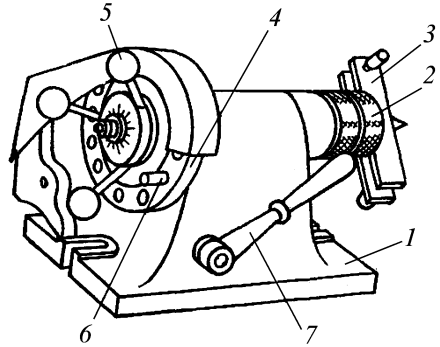
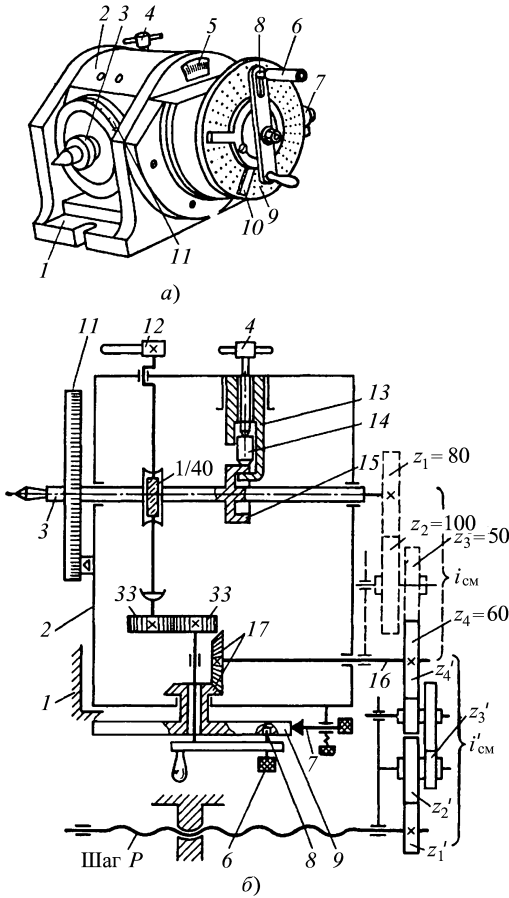


Рис. 4.21. Общий вид делительной головки непосредственного деления



**Рис. 4.22. Универсальная головка:**

*a* – общий вид; *б* – кинематическая схема

За основной размер делительной головки принимают максимальный диаметр обрабатываемой заготовки. Стандарт предусматривает ряд головок из шести типоразмеров: 160, 200, 250, 320, 400 и 500 мм. Каждому размеру стола станка соответствует определенный тип головки. Например, на стол шириной 320 мм необходимо устанавливать головку для обработки заготовок диаметром 250 мм.

Непосредственное деление осуществляют поворотом шпинделя 3 вручную на требуемый угол. При этом рукояткой 12 червяк выводят из зацепления с червячным колесом. Отсчет угла поворота ведут по лимбу 11.

Рассмотрим пример простого деления.

Требуется разделить окружность на  $z$  равных частей. Следовательно, необходимо определить число поворотов рукоятки  $n_p$ , соответствующее повороту шпинделя на  $1/z$  часть оборота. Это число определяют по формуле:

$$n_p = \frac{N}{z} = \frac{40}{z}.$$

Если, например,  $z = 5$ , тогда  $1/z$  часть оборота шпинделя головки соответствует восьми полным оборотам рукоятки ( $n_p = 8$ ).

При настройке делительной головки для простого деления необходимо соблюдать следующую последовательность приемов:

- защелкой обеспечить неподвижность делительного диска;
- ввести стержень-фиксатор в одно из отверстий делительного диска;
- во избежание ошибки при повторном вводе фиксатора в выбранное отверстие следует отметить его мелом или карандашом или подвести ножку сектора до упора в фиксатор;
- закрепить шпиндель головки винтом.

Рукоятку необходимо вращать только по часовой стрелке, что позволит избежать отрицательного влияния люфта цилиндрической и червячной передач на

точность поворота заготовки. Если фрезеровщик повернул рукоятку на больший угол, то ее следует вернуть на четверть оборота против часовой стрелки, а затем вновь повернуть по часовой стрелке до заданного отверстия.

Если отношение  $N/z$  является дробным числом, то число оборотов рукоятки определяют по формуле:

$$n_p = \frac{N}{z} = A + \frac{a}{b},$$

где  $A$  – целое число, характеризующее количество полных оборотов рукоятки, а  $a$  и  $b$  – числитель и знаменатель правильной несокращенной дроби. Например, если  $z = 33$ , то

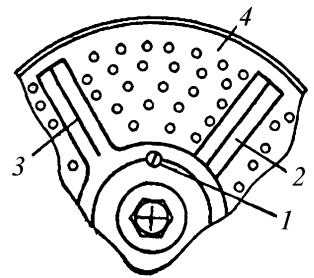
$$n_p = \frac{40}{33} = \frac{33+7}{33} = \frac{33}{33} + \frac{7}{33} = 1 + \frac{7}{33}.$$

В данном случае необходимо подобрать такой делительный диск, в одной из окружностей которого число отверстий соответствует или кратно знаменателю дробной части полученного соотношения. Дробь  $7/33$  нужно умножить на такую величину  $M$ , чтобы знаменатель соответствовал числу отверстий делительного круга. Если здесь числитель и знаменатель умножить на 2, то  $\left(\frac{7 \cdot 2}{33 \cdot 2} = \frac{14}{66}\right)$  значение знаменателя 66 будет соответствовать числу отверстий одной из окружностей делительного диска.

Рукоятку устанавливают на делительном круге с числом отверстий 66, а стержень-фиксатор вводят в одно из отверстий диска. В процессе деления рукоятку головки поворачивают на один полный оборот и дополнительно на  $14/66$  часть оборота, которая определяется по отверстиям диска. Количество отверстий, соответствующее величине дополнительного поворота рукоятки и на которое нужно настроить раздвижной сектор, определяют из выражения:

$$n = aM + 1.$$

Следовательно, сектор необходимо настроить так, чтобы между его ножками число отверстий на делительном круге 66 соответствовало  $n = 7 \cdot 2 + 1 = 15$ . Затем в этом положении ножки сектора закрепляют винтом 1 (рис. 4.23). После окончания обработки заготовки в данном положении шпиндель открепляют, рукояткой делают один полный оборот и дополнительно  $14/66$  оборота и фиксатор вводят в отверстие, расположенное рядом с ножкой 2. Сектор поворачивают по часовой стрелке до соприкосновения ножки 3 с фиксатором, снова закрепляют шпиндель и начинают обрабатывать заготовку в новом положении.



**Рис. 4.23. Раздвижной сектор делительной головки:**

- 1 – винт;
- 2, 3 – ножки сектора;
- 4 – делительный диск

При чистовом фрезеровании заготовка иногда должна быть точно ориентирована относительно фрезы, а отверстие диска при этом может не совпадать с фиксатором. В этом случае винтом освобождают защелку, что позволяет осуществить незначительный проворот делительного диска, вполне достаточный для ввода фиксатора в ближайшее отверстие.

Дифференциальное деление применяют в тех случаях, когда на диске отсутствует делительный круг с числом отверстий, равным или кратным знаменателю  $b$ . Например, нельзя методом простого деления обеспечить деление окружности на 59; 61; 67; 73 и т.п. Отличие дифференциального способа деления от всех других заключается в том, что отсчет поворота рукоятки  $b$  (см. рис. 4.22, б) ведется не по неподвижному, а по вращающемуся делительному диску 9.

Для проведения дифференциального деления необходимо расстопорить (отвести защелку 7) делительный диск и соединить шпиндель с делительным диском сменными колесами. При этом колесо  $z_1$  устанавливают на оправке, закрепленной в конусном отверстии заднего конца шпинделя, а колесо  $z_4$  – на валу 16 конического колеса 17.

Если теперь вращать рукоятку, то при вращении шпинделя будет вращаться и делительный диск. В результате этих движений число оборотов рукоятки  $n_p$  будет соответствовать сумме движения  $n_{пр}$  и поворота диска  $n_{доп}$ , т.е.  $n_p = n_{пр} + n_{доп}$ . При этом величина  $n_{доп} = \frac{1}{z} i_{см}$ , где  $z$  – заданное число делений оборота шпинделя;  $i_{см}$  – передаточное отношение сменных зубчатых колес.

Возможность получения дополнительного движения рукоятки за счет сменных колес (обеспечивающих поворот делительного диска) и положена в основу методики выполнения дифференциального деления. Поэтому при дифференциальном делении на заданное число частей число  $z_{пр}$  (приближенное) выбирают близким к заданному  $z$  (в меньшую или большую сторону). При этом оно должно удовлетворять условиям простого деления и по возможности быть кратным  $N$ .

Для осуществления деления в соответствии с  $z_{пр}$  необходимо сделать  $n_{пр} = N/z_{пр}$  оборотов рукоятки. Теперь с учетом дополнительного движения рукоятки запишем соотношение:

$$\frac{N}{z} = \frac{N}{z_{пр}} + \frac{1}{z} i_{см},$$

отсюда находим  $i_{см} = N/z_{пр} (z_{пр} - z)$ .

Рассмотрим последовательность приемов при дифференциальном делении, например, на число делений 59.

Принимаем

$$z_{пр} = 60; \quad i_{см} = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4},$$

т.е.

$$i_{\text{см}} = \frac{40}{60} (60 - 59) = \frac{40}{60}.$$

Следует иметь в виду, что если величина передаточного отношения положительная, то направление вращения рукоятки и диска совпадают (вращение по часовой стрелке), а если отрицательная – при вращении рукоятки по часовой стрелке диск должен вращаться в противоположном направлении. Для обеспечения этого в набор сменных колес необходимо ввести дополнительное зубчатое колесо (паразитное) в соответствии с определенной схемой. Обычно головкам прилагают комплект сменных зубчатых колес с числами зубьев: 25; 30; 35; 40; 50; 55; 60; 70; 80; 90; 100; 127.

Установленному передаточному отношению удовлетворяет следующее сочетание зубчатых колес:

$$i_{\text{см}} = \frac{40}{60} = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} = \frac{80}{100} \cdot \frac{50}{60}.$$

Установка сменных зубчатых колес применительно к рассматриваемому примеру показана на рис. 4.22, б. На шпиндельном валике находится зубчатое колесо  $z_1 = 80$ , на первом промежуточном пальце гитары  $z_2 = 100$ , затем  $z_3 = 50$ , на валике привода делительной головки  $z_4 = 60$ . Зубчатые колеса 80 и 60 необходимо монтировать на валы со шпонками.

Определяем число оборотов рукоятки при делении:

$$n_p = \frac{N}{z_{\text{пр}}} = \frac{40}{60} = \frac{2}{3} = \frac{20}{30}.$$

Затем выбираем делительный круг с числом отверстий 30 и подводим фиксатор к этому кругу. Сектор раздвигаем на 21 отверстие. Следует помнить, что дифференциальное деление возможно только при горизонтальном расположении шпинделя головки.

В специальных справочниках приведены таблицы настройки головок для дифференциального деления на число делений от 51 до 399 с указанием делительного круга, числа пропускаемых промежутков отверстий, числа зубьев сменных зубчатых колес и схемы их установки.

Настройка делительной головки на фрезерование винтовой канавки позволяет обеспечить два взаимосвязанных движения заготовки относительно инструмента – перемещение в продольном направлении и вращение вокруг оси. Первое движение осуществляется за счет продольной подачи стола, второе – благодаря вращению шпинделя делительной головки. Для взаимосвязи движений делительная головка сменными шестернями  $z'_1, z'_2, z'_3, z'_4$  присоединяется к ходовому винту привода продольной подачи стола станка.

При наличии сменных колес вращение ходового винта при перемещении стола в продольном направлении вызовет вращение шпинделя делительной головки. Чтобы получить винтовую канавку, шпиндель при перемещении стола на величину, равную шагу  $T$  нарезаемой канавки, должен сделать один оборот.

Характеристикой универсально-фрезерного станка называется шаг винтовой канавки, полученной при передаточном отношении сменных зубчатых колес, соединяющих винт станка и валик привода делительной головки, равном единице.

Допустим, что передаточное отношение сменных зубчатых колес, показанных на рис. 4.22, б, равно единице. Так как передаточное отношение постоянных колес  $17 : 17$ ,  $33 : 33$  делительных головок равно единице, то за один оборот винта продольной подачи стол переместится на шаг  $P$ , червяк головки сделает один оборот, а шпиндель головки повернется на  $1/40$  оборота. Следовательно, шпиндель головки сделает полный оборот, когда винт подачи стола совершит 40 оборотов, а стол станка переместится на величину, равную произведению частоты вращения винта 40 на его шаг 6 мм, т.е.  $40 \times 6 = 240$  мм. Таким образом, за один оборот шпинделя делительной головки при принятом допущении  $i_{см} = 1$  на заготовке будет образована винтовая канавка с шагом 240 мм. Число 240 и есть характеристика станка. В общем случае характеристика универсально-фрезерного станка  $A$  определяется по формуле

$$A = NP_{в},$$

где  $P_{в}$  – шаг винта продольной подачи стола, мм.

Теперь легко получить формулу для определения передаточного отношения сменных зубчатых колес гитары. Если на станке с характеристикой 240 требуется профрезеровать винтовую канавку с шагом 120 мм, то за время перемещения стола на 240 мм обрабатываемая заготовка должна сделать два оборота. При этом передаточное отношение сменных зубчатых колес должно быть равно двум. При шаге винтовой канавки, равном 60 мм, это отношение должно быть равно 4 и т.д.

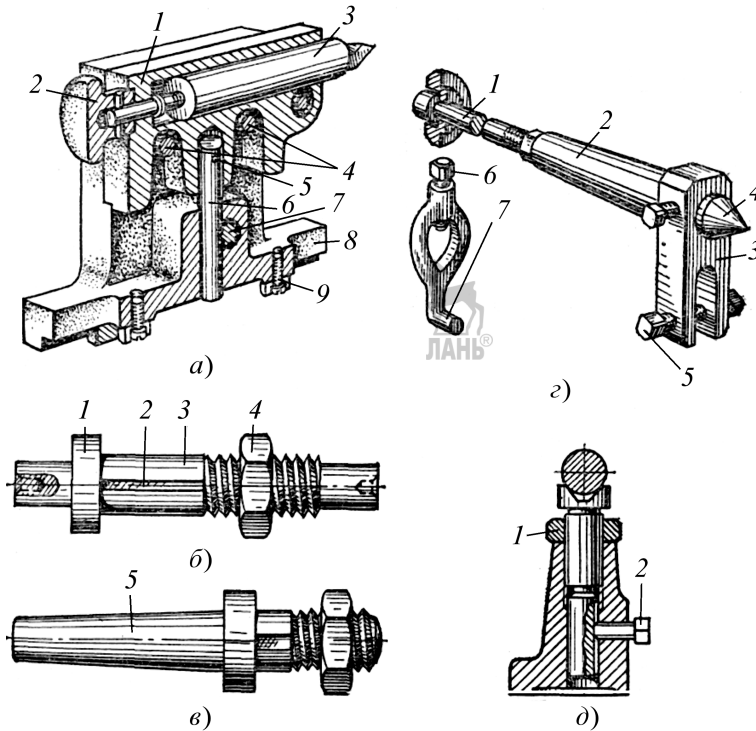
Таким образом, передаточное отношение сменных зубчатых колес, соединяющих винт продольной подачи стола и валик привода делительной головки, определяется по формуле:

$$i'_{см} = \frac{z'_1}{z'_2} \frac{z'_3}{z'_4} = \frac{A}{T},$$



где  $A$  – характеристика станка;  $T$  – шаг винтовой канавки, мм.

Следует отметить, что установка сменных колес на гитаре при настройке делительной головки на обработку винтовой канавки – довольно сложная операция, поскольку гитара имеет несколько колес с постоянным числом зубьев.



**Рис. 4.24. Некоторые принадлежности делительных головок:**  
*а* – задняя бабка; *б, в* – оправки; *г* – центр с поводком; *д* – люнет

Оптические делительные головки применяются для выполнения особо точных делений, а также для проверки правильности выполненных делений. Отсчет поворота шпинделя в таких головках ведется по круговой шкале при помощи оптической системы с точностью отсчета  $1'$ .

Для установки обрабатываемых заготовок применяют принадлежности делительных головок: задняя бабка, набор оправок, поводковый центр, трехкулачковый патрон, цанговые патроны и оправки, люнет (рис. 4.24).

Задняя бабка (рис. 4.24, *а*) наиболее часто используется совместно с делительной головкой. Основанием *8* бабка крепится на столе фрезерного станка. Ориентация задней бабки по пазу стола станка осуществляется направляющими шпонками *9*. В прорези основания расположен корпус *1*, подъем и опускание которого происходит при вращении зубчатого колеса *7*, сцепленного с валиком-рейкой *6*. Верхний конец этого валика-рейки соединен штифтом *5* с корпусом. После установки корпуса в требуемое положение его закрепляют в основании бабки и затягивают гайками болтов *4*. Перемещение пиноли *3* осуществляется вращением маховика *2*.



В зависимости от размера и конструкции обрабатываемые заготовки могут быть установлены и закреплены:

- в центрах делительной головки и задней бабки;
- на оправке, установленной в центрах делительной головки и задней бабки;
- на оправке, установленной в коническом гнезде шпинделя делительной головки;
- в трехлапчатом патроне, навернутом на резьбовой конец шпинделя делительной головки;
- в цанговых патронах.

Заготовки типа дисков и втулок надевают на оправки, установленные в центрах делительной головки и задней бабки, или на оправки, помещенные в коническое гнездо шпинделя делительной головки. Центровые конусные оправки устанавливают в центрах делительной головки и задней бабки. Заготовка базируется отверстием и удерживается на оправке силами трения. Центровая оправка, показанная на рис. 4.24, б, имеет заплечик 1, шпоночную канавку 2 и гайку 4. Заготовка надевается на гладкую часть оправки 3 и закрепляется гайкой. При фрезеровании с большими силами резания заготовка может быть поставлена на шпонку.

Оправка, показанная на рис. 4.24, в, служит для закрепления заготовок, при фрезеровании которых не применяют задний центр. Эту оправку вставляют коническим хвостовиком в коническое отверстие шпинделя делительной головки (вместо центра) и затягивают специальным винтом-затяжкой.

Заготовки типа валов устанавливают в центрах (рис. 4.24, з). Центр 4 с поводком 3 вставляют коническим хвостовиком 2 в гнездо шпинделя. На лыски, имеющиеся в центре, надевают поводок 3. Винт-затяжку 1 вставляют в задний конец шпинделя головки и ввинчивают в хвостовик центра или оправки. Хомутик, надеваемый на заготовку или оправку, своим загнутым концом 7 входит в паз поводка, и закрепляется в нем винтами 5. На заготовке хомутик крепят винтом 6.

Заготовки круглой формы часто устанавливают в трехлапчатом самоцентрирующем патроне, который крепят на шпинделе делительной головки.

При обработке нежестких заготовок (при  $l/D > 10$ , где  $l$  – длина,  $D$  – диаметр заготовки) в качестве дополнительной опоры во избежание прогиба заготовки применяют люнеты (рис. 4.24, д). Обрабатываемую заготовку располагают в призматическом вырезе, сделанном в головке винта домкрата. В рабочее положение винт устанавливается вращением накатной гайки 1 и закрепляется винтом 2.

## Глава 5

# ОБРАБОТКА ПЛОСКОСТЕЙ, ПАЗОВ, УСТУПОВ, ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ. ОТРЕЗКА ЗАГОТОВОК

---

Последовательность и условия обработки деталей регламентируются определенными технологическими документами. В зависимости от вида производства подробность технологических указаний в этих документах различна. Меньше всего технологических указаний по ведению той или иной операции в мелкосерийном и особенно в единичном производстве. Например, при ремонтных работах единственным технологическим документом рабочего-станочника может быть чертеж детали с указанием технолога «Изготовить по чертежу».

В крупносерийном и массовом производствах детализация технологических указаний для рабочего-станочника (оператора) может быть доведена до уровня указаний по последовательности включений-выключений элементов оборудования, заранее настроенного и подготовленного для работы.

При подготовке и выполнении фрезерных операций (в цикле операций механической обработки) в общем случае можно выделить следующие этапы:

1. Выбор схемы и последовательности фрезерования.
2. Выбор варианта базирования и закрепления заготовки, подбор приспособления.
3. Выбор типа фрезы, ее размеров. Назначение (выбор) марки материала режущей части фрезы, углов геометрии заточки инструмента.
4. Назначение режимов резания.
5. Подготовка технологической оснастки, наладка станка на выполнение операции в соответствии с выбранной схемой обработки, инструментом и назначенными режимами резания.
6. Выполнение операции на станке.
7. Контроль обработанной заготовки в соответствии с требованиями, определенными технологическими документами.

В условиях реального производства подготовка и выполнение определенной технологической операции может быть полностью доверена рабочему-станочнику. Очевидно, что качественное выполнение операции при высокой производительности работы целиком зависит от квалификации рабочего-станочника, его умения правильно решать всю цепочку технологических задач, определяющих как подготовку, так и выполнение операции.

### 5.1. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОБРАБОТКЕ ПЛОСКОСТЕЙ

Плоскостью называют поверхность, обладающую следующим свойством: если любые две точки поверхности соединить прямой, то все точки этой прямой

будут находиться на этой поверхности. Отсюда вытекает простейший способ контроля плоских поверхностей деталей. Если к плоскости детали приложить ребро лекальной линейки, то величина образовавшегося между ними зазора будет характеризовать качество ее изготовления. Чем точнее изготовлена плоскость, тем меньше будет зазор.

Качество обработки плоскостей характеризуется следующими показателями:

1. Точность размеров, т.е. соответствие фактических размеров детали, размерам, указанным на чертеже.

2. Допустимые отклонения от правильной геометрической формы полученной поверхности не должны выходить за пределы допуска на неточность изготовления (допуск прямолинейности, допуск плоскостности).

3. Отклонения расположения отдельных граней детали относительно других поверхностей должны находиться в заданных пределах (отклонения от параллельности, перпендикулярности, наклона, симметричности и др.).

Обработка плоскостей обычно производится на вертикально-фрезерных, горизонтально-фрезерных и продольно-фрезерных станках цилиндрическими, торцовыми, ротационными и концевыми фрезами. В зависимости от расположения относительно поверхности стола станка обрабатываемые плоскости подразделяют на горизонтальные, вертикальные и наклонные.

## 5.2. ВЫБОР СХЕМЫ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАЦИИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПЛОСКОСТЕЙ

Выбор схемы и последовательности операции фрезерования плоскости (с учетом имеющегося оборудования и технологической оснастки) целесообразно начинать с установления возможности одновременной обработки нескольких заготовок. Если такая возможность существует, то в общем случае возможны две схемы обработки. Для первой схемы характерна установка заготовок в несколько параллельных рядов (рис. 5.1, *з*). Обработку ведут одной или несколькими (набором) фрезами. В этом случае затраты основного времени уменьшаются во столько раз, сколько заготовок установлено в одном ряду. При определении числа одновременно обрабатываемых заготовок необходимо учитывать мощность станка, жесткость режущего инструмента, надежность крепления заготовок.

Для второй схемы характерна установка заготовок последовательно в один ряд по направлению перемещения стола (рис. 5.1, *а*). Расстояние *a* между заготовками зависит в основном от конфигурации заготовки и принятой схемы крепления. Именно этот параметр определяет целесообразность выбора схемы. Сокращение штучного времени достигают за счет уменьшения длины пути холостого хода фрезы, который определяется длиной врезания и перебега режущего инструмента. На рис. 5.1 показаны возможные варианты установки четырех заготовок размером 50 × 100 мм. При первом варианте (рис. 5.1, *а*) расстояние

$a = 20$  мм, при втором (рис. 5.1, б) и третьем (рис. 5.1, в)  $a = 0$ . Если основное время при фрезеровании заготовок, расположенных по первому варианту, принять за 100 %, то при расположении по второму варианту оно уменьшится на 10 %, а при третьем – более чем на 45 %. Однако наибольшая производительность обработки может быть достигнута при установке заготовок параллельными рядами (рис. 5.1, з). Основное время при этой схеме по сравнению с исходной (рис. 5.1, а) сократится не менее чем в 4,5 раза.

Рассмотренные выше примеры позволяют установить пути рационального размещения нескольких заготовок на столе станка:

1. Заготовки следует устанавливать так, чтобы сторона, имеющая наименьший размер, была расположена параллельно направлению подачи.

2. Расстояние между обрабатываемыми заготовками должно быть минимальным.

3. При возможности использовать схему расположения заготовок параллельными рядами.

При обработке партии заготовок применяют схему непрерывного фрезерования, когда вспомогательное время перекрывается основным. Этот вид обработки можно осуществить на вертикально-фрезерных станках, оснащенных круглым столом с непрерывным вращением. На круглом столе 1 (рис. 5.2) устанавливают многоместное приспособление 2 или несколько зажимных устройств. На разгрузочно-загрузочной позиции 3 во время фрезерования одной заготовки 4 рабочий снимает уже обработанную заготовку и устанавливает новую. Зажим и отжим заготовки происходит автоматически. При приближении к зоне обработки стержень 5 многоместного приспособления при помощи копира 6 перемещается к центру и благодаря клиновому механизму обеспечивает зажим заготовки. После окончания обработки стержень сходит с копира, и заготовка открепляется.

Круглый стол получает вращение от механизма продольной подачи стола станка (продольное перемещение стола отключается) или от индивидуального привода. Частота вращения стола должна обеспечить установленную подачу на зуб фрезы в соответствии с заданным режимом резания и с учетом частоты вращения входного вала 7 круглого стола и передаточного отношения червячной пары.

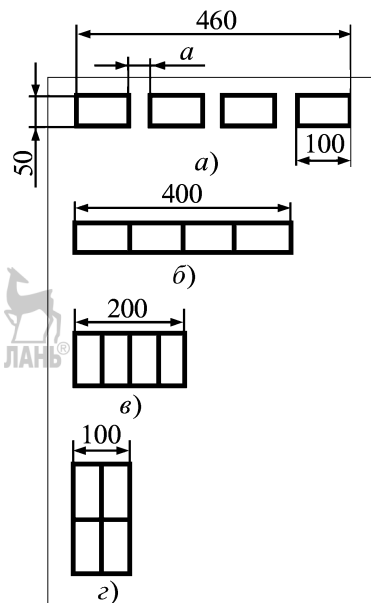


Рис. 5.1. Варианты установок четырех заготовок на столе станка

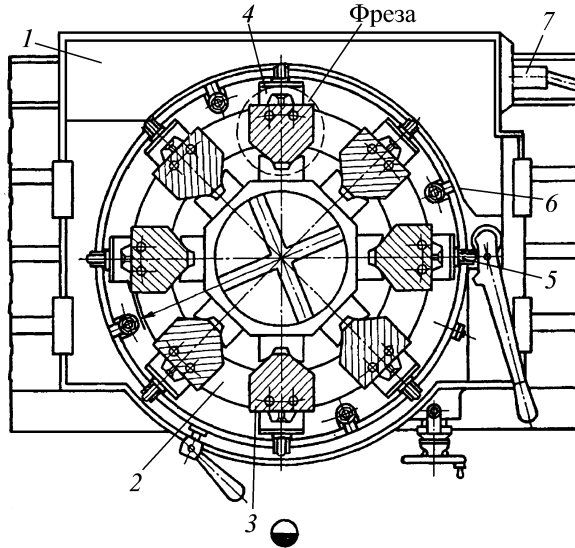


Рис. 5.2. Схема непрерывного фрезерования при использовании круглого стола

Позиционное фрезерование также является одним из прогрессивных методов обработки, при котором снятие обработанной заготовки и установка новой осуществляют на загрузочной позиции. При этом основное время должно превышать вспомогательное. Заготовки при позиционном фрезеровании устанавливают на поворотные столы (или приспособления), имеющие фиксированный поворот на заданное число позиций (3, 4, 6 или 12).

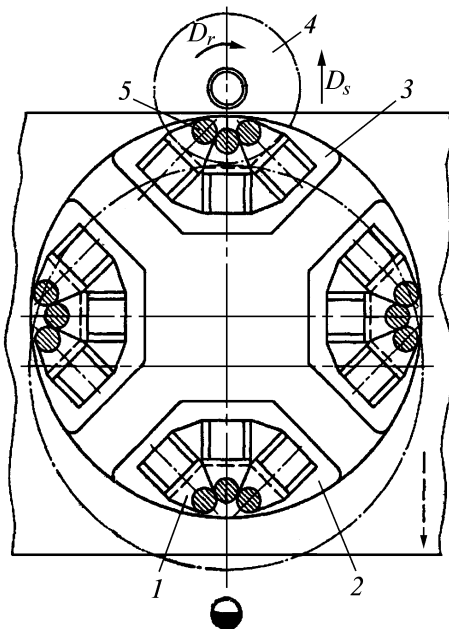


Рис. 5.3. Схема позиционного фрезерования

На рис. 5.3 показана схема позиционного фрезерования. На загрузочной позиции 2 устанавливают три заготовки 1. На рабочей позиции 3 фрезой 4 обрабатывают заготовки 5 с подачей стола  $D_s$ . После окончания фрезерования следует быстрый отвод стола (положение пунктиром) и поворот его на  $90^\circ$ . Затем стол фиксируется и зажимается. Одновременно с зажимом поворотной части стола включается рабочая подача и цикл повторяется. В определенных конструкциях приспособлений отжим заготовки на загрузочной позиции и закрепление ее при приближении к зоне обработки происходит автоматически.



### 5.3. ОБРАБОТКА ПЛОСКОСТЕЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ФРЕЗАМИ

Выбор типа и размера фрезы зависит от конкретных условий обработки (размеры обрабатываемой заготовки, марка обрабатываемого материала, величина припуска на обработку и др.). Фрезы с крупным зубом применяют для черновой и получистовой обработки плоскостей, фрезы с мелким зубом – для получистовой и чистовой обработки. Выбор оптимального размера цилиндрических фрез с мелкими и крупными зубьями осуществляется в соответствии с рекомендациями справочников или специальной литературы.

Наладка станка на выполнение операции начинается с установки фрезы на оправку. При этом фрезу следует располагать как можно ближе к шпинделю станка, так как в этом положении прогиб оправки будет минимальным. Требуемое положение фрезы относительно обрабатываемой заготовки достигается установкой стола в поперечном направлении.

При установке цилиндрической фрезы важно правильно выбрать направления вращения шпинделя станка и направление винтовых канавок фрезы. При этом рекомендуется применять схему, при которой осевая составляющая силы резания  $P_x$  направлена в сторону шпинделя, т.е. более жесткой опоры (рис. 5.4, а). Эта составляющая будет вдавливать оправку в отверстие шпинделя, а не вытягивать фрезу с оправкой из его гнезда (рис. 5.4, б).

После установки и закрепления фрезы в ряде случаев проверяют биение зубьев фрезы. Для этого используют индикатор со стойкой, которую устанавливают на плоскость стола станка (рис. 5.5). Обычно проверяют радиальное биение смежных зубьев и противоположных. В общем случае у цилиндрических фрез диаметром до 100 мм радиальное биение двух смежных зубьев не должно превышать 0,02 и 0,04 мм для двух противоположных.

Заготовки при обработке плоскостей базируют в приспособлениях или непосредственно на столе станка. При базировании заготовки на столе станка необработанной поверхностью ее выверку осуществляют по разметочным рискам (рис. 5.6).

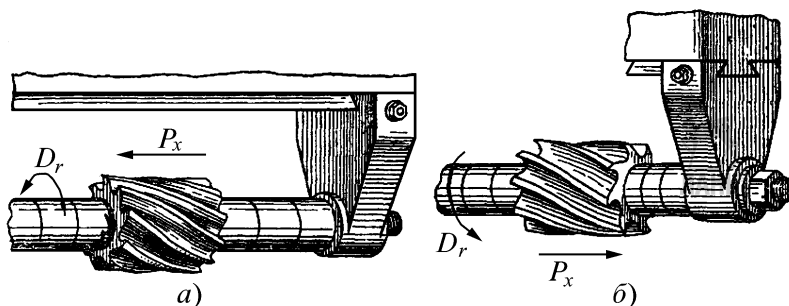
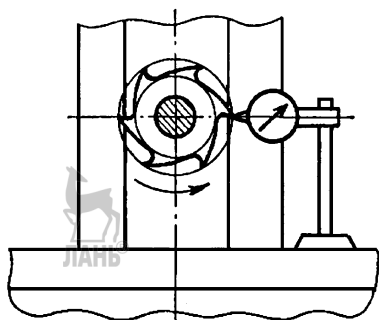


Рис. 5.4. Схема действия осевой составляющей силы резания  $P_x$  при работе цилиндрической фрезой



**Рис. 5.5.** Схема проверки радиального биения цилиндрической фрезы на станке



**Рис. 5.6.** Схема выверки заготовки на столе фрезерного станка

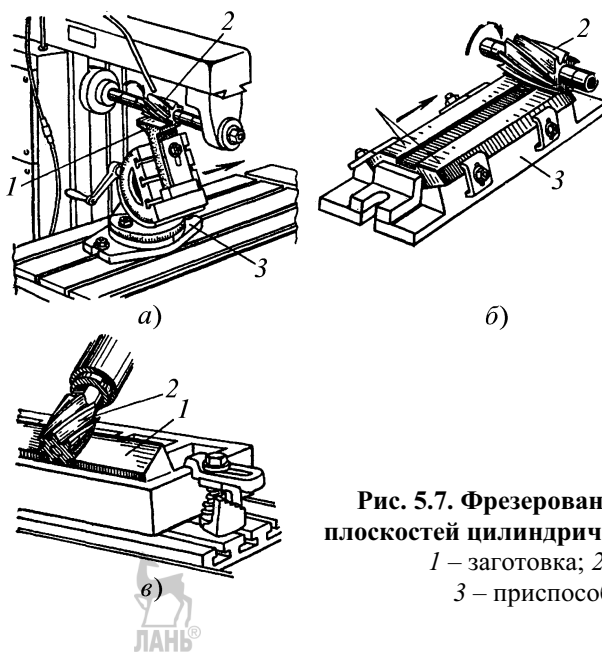
При выверке применяют штангенрейсмус, а в качестве подкладок используют регулировочные клинья. При этом погрешность не превышает  $\pm 0,5$  мм. Перемещением штангенрейсмуса по плоскости стола в продольном направлении добиваются параллельного расположения рисок. Затем устанавливают заготовку на четыре регулировочных клина (подкладки), имеющие равные размеры. Штангенрейсмус настраивают на размер до совпадения с риской в точке 1, затем перемещают его в точку 2, и если риска не совпадает с острием указателя, то уменьшают или увеличивают размер опоры по высоте. Вновь перемещают штангенрейсмус в точку 1, и если смещения не произошло, то добиваются параллельного расположения боковых рисок с другой стороны заготовки (точки 3 и 4) и т.д. Выверка считается законченной, когда все риски будут расположены на одной высоте.

После окончания выверки заготовку закрепляют. При этом необходимо следить за тем, чтобы не произошло деформирования или смещения заготовки.

Выбор частоты вращения шпинделя и подачи при обработке плоскостей осуществляют в соответствии с имеющимися рекомендациями, а установку этих значений на станке – по схемам, определяемым техническим руководством.

Установка фрезы на размер (на глубину фрезерования) выполняется по установу или путем касания фрезы заготовки. Включив вращение шпинделя, осторожно перемещают стол вверх до легкого касания фрезы с заготовкой. У ряда станков, прежде чем поднимать или опускать консоль, следует ослабить затяжку стопорных винтов, т.е. раскрепить консоль.

После момента касания ручным перемещением стола в продольном направлении заготовку выводят из-под фрезы. Затем вращением рукоятки вертикальной подачи стол поднимают на величину, равную глубине резания. Отсчет величины перемещения стола производят по лимбу рукоятки механизма перемещения консоли (см. рис. 3.1). Отсчет по лимбу можно вести от любого деления шкалы, однако для удобства и упрощения отсчета после касания фрезы заготовки



**Рис. 5.7. Фрезерование наклонных плоскостей цилиндрическими фрезами:**  
 1 – заготовка; 2 – фреза;  
 3 – приспособление

либм следует установить на нулевое положение (т.е. риску лимба с отметкой 0 совместить с визирной риской).

Ценой деления лимба называется величина, на которую переместится стол станка, если рукоятку винта подачи стола повернуть на одно деление лимба. Например, если цена деления лимба 0,05 мм и лимбовое кольцо имеет 40 делений, то это означает, что за один оборот рукоятки ручного подъема стола он переместится на  $0,05 \times 40 = 2$  мм. Чтобы поднять стол на 3 мм, нужно повернуть лимб на  $3/0,05 = 60$  делений, т.е. на 1,5 оборота.

При вращении рукоятки вертикальной подачи стола необходимо учитывать наличие «мертвого хода». В результате износа винта и гайки в их соединении образуется зазор. Если вращать рукоятку подачи в одном направлении, а затем его изменить, то винт будет вращаться вхолостую (пока не будет выбран зазор в соединении винт–гайка). При этом стол перемещаться не будет. Поэтому подводить лимб до нужного деления надо очень плавно, без рывков. Если, например, необходимо установить лимб на деление 35, а его случайно повернули на 40, то в таких случаях рукоятку с лимбом следует повернуть в обратном направлении более чем на один оборот и затем осторожно подвести лимб заново до требуемого деления.

После установки фрезы на требуемую глубину фрезерования необходимо застопорить консоль и салазки поперечной подачи и установить кулачки включения механической подачи на требуемую длину фрезерования. Затем плавным вращением рукоятки продольной подачи стола обрабатываемую заготовку подводят к фрезе и включают станок.



После рабочего хода фрезу останавливают, удаляют щеткой стружку с обработанной поверхности, а стол немного опускают, чтобы не испортить поверхность детали при обратном ходе. Деталь измеряют, и в случае необходимости ее размер получают путем дополнительного прохода.

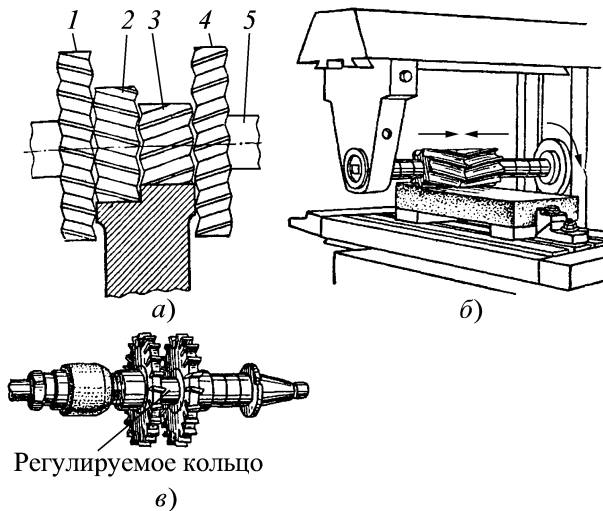
Наклонные плоскости и скосы можно обрабатывать цилиндрическими фрезами, устанавливая заготовку под требуемым углом к оси фрезы. При этом используют различные способы установки заготовок: в универсальных тисках или на универсальной поворотной плите (рис. 5.7, *а*), с помощью специальных приспособлений (рис. 5.7, *б*) или поворотом шпинделя шпиндельной головки (рис. 5.7, *в*).

#### 5.4. ФРЕЗЕРОВАНИЕ НАБОРОМ ФРЕЗ

Набором фрез называют группу фрез, установленных и закрепленных на одной общей оправке для одновременной обработки нескольких поверхностей. Наборы составляют из стандартных фрез, специальных и их комбинаций (рис. 5.8).

Обработка плоскостей набором фрез позволяет добиваться:

- сокращения машинного времени, которое тем значительнее, чем больше фрез в наборе;
- снижения вспомогательного времени благодаря уменьшению времени настройки режущего инструмента на размер (ее производят один раз для всего набора);



**Рис. 5.8. Наборы фрез:**

*а* – двух цилиндрических и двух дисковых; *б* – двух цилиндрических;  
*в* – двух дисковых

- сокращения числа позиций или числа переустановок заготовок;
- упрощения процесса контроля размеров, получаемых при фрезеровании;
- более полного использования мощности электродвигателя станка;
- повышения точности размеров заготовки, получаемых в процессе фрезерования, это преимущество особенно важно при фрезеровании сложных и точных профилей взаимосвязанных поверхностей.

Наиболее эффективно применение набора фрез в сочетании с многоместными приспособлениями, а также при непрерывном, позиционном или каком-либо другом прогрессивном методе фрезерования.

При сборке фрез и регулировке расстояний между ними используют жесткие и регулируемые кольца.

Фрезы необходимо устанавливать так, чтобы осевые составляющие силы резания были направлены навстречу друг другу (см. рис. 5.8, б, в). В наборах это обеспечивается применением фрез с разным направлением канавок. При нескольких фрезах следует стремиться к такому их размещению, чтобы суммарная осевая сила была направлена на прижим оправки к шпинделю.

Существует ряд ограничений при применении набора фрез:

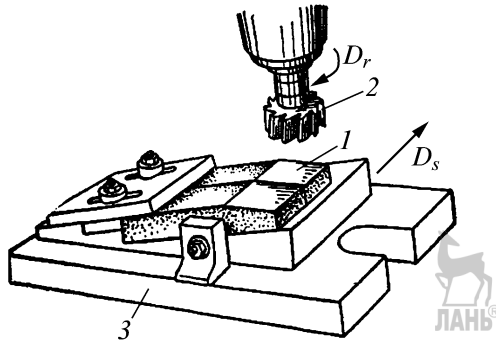
1. Увеличение числа фрез в наборе обуславливает повышение мощности, затрачиваемой на резание. Поэтому необходимо следить за тем, чтобы затрачиваемая на резание мощность не превышала эффективную. При фрезеровании набором фрез следует отдавать предпочтение мощным и жестким станкам, используя для набора оправки возможно большего диаметра.

2. Разные диаметры фрез одного набора обуславливают различные скорости главного движения резания, а следовательно, и значения периода стойкости применяемых фрез. Например, при частоте вращения  $200 \text{ мин}^{-1}$  скорость резания для фрез 1, 2, 3 и 4, установленных на оправке 5 (см. рис. 5.8, а), составит соответственно 62,8; 37,6; 31,2 и 62,8 м/мин. Желательно, чтобы фрезы набора имели примерно одинаковую стойкость. С этой целью они оснащаются различными инструментальными материалами, обеспечивающими примерно одинаковую стойкость при заданных скоростях резания. Применительно к рассматриваемому примеру можно принять, например, следующие материалы режущей части фрез: 1, 4 – Т5К10, 2 – Р18, 3 – Р6М5.

## 5.5. ОБРАБОТКА ПЛОСКОСТЕЙ ТОРЦОВЫМИ ФРЕЗАМИ

Торцовые фрезы по сравнению с цилиндрическими имеют ряд преимуществ: более жесткое крепление на оправке или шпинделе; плавная работа большого числа одновременно работающих зубьев; большие скорости резания и подачи, особенно для фрез, оснащенных пластинками твердого сплава. Поэтому обработку плоскостей в большинстве случаев целесообразно производить торцовыми фрезами.

У торцовых насадных фрез параметры определены однозначно, т. е. каждому диаметру  $D$  торцовой фрезы соответствуют определенные значения длины фрезы  $L$ , диаметра отверстия  $d$  и число зубьев  $z$ .



**Рис. 5.9. Схема обработки наклонной плоскости торцевой фрезой при использовании приспособлений:**

1 – заготовка; 2 – фреза; 3 – приспособление

Диаметр торцевой фрезы определяется в зависимости от ширины фрезерования  $B$  в соответствии с соотношением:

$$D = (1,2 \dots 1,6) B .$$

Для черновой обработки выбирают торцевые насадные фрезы со вставными ножами. Преимущественно используются торцевые фрезы, оснащенные пластинами из твердых сплавов, так как машинное время при обработке ими значительно сокращается за счет увеличения скорости резания. При чистовом фрезеровании стали и чугуна твердосплавными фрезами для получения поверхности с малой шероховатостью подачу на зуб уменьшают, а скорость резания соответственно повышают с учетом марки обрабатываемого материала, марки твердого сплава зубьев фрезы и других условий обработки.

Установка торцевой фрезы на глубину резания при работе на вертикально-фрезерном станке ничем не отличается от рассмотренного ранее случая установки цилиндрической фрезы. Некоторые особенности имеет установка торцевой фрезы на глубину резания при обработке плоскостей на горизонтально-фрезерных станках.

При фрезеровании торцевыми твердосплавными фрезами с большими скоростями резания особое внимание необходимо уделять соблюдению правил техники безопасности. Следует применять защитные экраны или защитные очки во избежание получения ожогов лица или повреждения глаз стружкой.

Фрезерование наклонных плоскостей и скосов торцевыми фрезами на вертикально-фрезерных станках можно выполнять, устанавливая заготовки под требуемым углом, применяя универсальные тиски, поворотные плиты, специальные приспособления (рис. 5.9). На ряде станков (например, модели 6P12, 6P13) фрезерование наклонных плоскостей производят при наклонном положении шпинделя. Наклонные плоскости и скосы можно фрезеровать торцевыми фрезами на горизонтально-фрезерных станках с помощью накладной вертикальной головки, которая является специальной принадлежностью станка.

Определенной разновидностью торцовых фрез являются ротационные фрезы. Они отличаются от обычных торцовых фрез тем, что режущая кромка зуба (чашка) во время резания поворачивается на некоторый угол за счет тангенциальной составляющей силы резания. Режущим элементом у них являются быстрорежущие или твердосплавные чашки, установленные на опорах скольжения или качения. Эти фрезы предназначены для чистовой или получистовой обработки открытых плоскостей труднообрабатываемых материалов. Ротационные фрезы с поворачивающимися режущими кромками отличаются высокой стойкостью.

## 5.6. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПЛОСКОСТЕЙ

Процесс обработки плоскостей имеет ряд особенностей, учет которых необходим для успешной работы на станке.

Важным моментом при определении схемы фрезерования при обработке плоскостей является выбор попутного или встречного метода фрезерования. При попутном методе фрезерования максимальная толщина срезаемого слоя соответствует моменту врезания, а «нулевая» – моменту выхода зуба фрезы из заготовки (рис. 5.10, *а*). При встречном методе фрезерования максимальная толщина срезаемого слоя соответствует моменту выхода зуба фрезы из заготовки (рис. 5.10, *б*), а «нулевая» – моменту врезания. Эти различия в характере стружкоотделения оказывают влияние на стойкость фрез и качество обработанной поверхности.

При попутном фрезеровании силы резания направлены на «прижим» заготовки, а при встречном – на «отрыв» ее от стола и на увеличение величины зазора в подвижных соединениях стола, приспособления и т.п., что ведет к уменьшению точности обработки. При встречном фрезеровании на некотором участке контакта происходит не резание, а скольжение зуба фрезы по поверхности заготовки, способствующее значительному упрочнению металла заготовки. Поэтому при встречном фрезеровании зубьям фрезы приходится срезать слой металла не с исходными свойствами, а упрочненный, что почти всегда сказывается отрица-

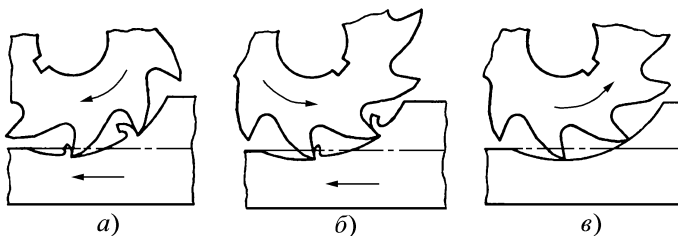


Рис. 5.10. Явления подхватывания при попутном (*а*) и встречном (*б*) фрезеровании; *в* – схема подрезания при фрезеровании плоскостей

тельно на стойкости фрез. При фрезеровании на повышенных скоростях резания к вершине зуба часто приваривается стружка, и при очередном врезании она вдавливается в обработанную поверхность, существенно ухудшая ее качество.

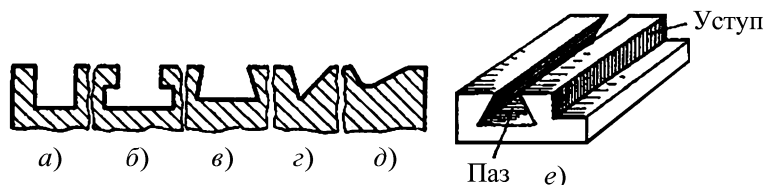
Брак обработанной поверхности может быть вызван подрезанием, что особенно характерно для обработки цилиндрическими фрезами. Подрезание происходит, если выключают подачу, когда проход еще не закончен. Так как оправка в процессе резания испытывала нагрузку и была изогнута, то под действием упругих деформаций она возвращается в исходное положение. При этом фреза врезается в заготовку несколько глубже в том месте, которое окажется под ней в момент выключения подачи (см. рис. 5.10, в).

При попутном фрезеровании и наличии большого зазора в соединении винт–гайка может наблюдаться явление подхватывания. При протекании процесса резания с неравномерной подачей (толчками) оправка прогибается и фреза подхватывает деталь (см. рис. 5.10, а). Если своевременно не прекратить процесс резания, то дальнейшая работа может привести к быстрому износу винтовой пары, браку обработанной поверхности заготовки, поломке оправки или фрезы. В таких случаях необходимо устранить люфт в соединении винт–гайка или производить обработку по методу встречного фрезерования. Однако и при встречном фрезеровании может произойти подхватывание, если осуществлять фрезерование с чрезмерно большой подачей на зуб при закреплении фрезы на нежесткой оправке. При чрезмерно большой нагрузке на зуб фреза будет стремиться повернуться вокруг него и последующий зуб будет подрезать обрабатываемую поверхность.

При фрезеровании могут возникать и вибрации, которые оказывают отрицательное влияние не только на шероховатость обработанной поверхности, но и значительно сокращают стойкость фрезы, уменьшают срок службы станка. В данном случае вибрации обуславливают неравномерность самого процесса фрезерования. Для устранения или уменьшения вибраций необходимо стремиться к тому, чтобы число одновременно работающих зубьев фрезы было как можно большим. При обработке цилиндрическими фрезами следует соблюдать условия равномерности фрезерования, при обработке торцовыми фрезами в ряде случаев можно применить схему несимметричного фрезерования. Кроме того, снижение интенсивности вибраций можно достичь применением фрез с неравномерным окружным шагом зубьев, а также соблюдением оптимальных геометрических параметров для данных условий обработки. Причинами появления вибраций могут быть также ослабленное крепление консоли, поперечных салазок, гаек серьги и хобота, неправильная установка фрезы относительно опор. В некоторых случаях используют специальное устройство для гашения колебаний – виброгаситель.

## 5.7. ОБРАБОТКА ПАЗОВ, УСТУПОВ

Уступом называют выемку, ограниченную двумя взаимно перпендикулярными плоскостями, образующими ступень. Деталь может иметь один, два и более уступов (рис. 5.11). В зависимости от формы выемки пазы делятся на прямо-



**Рис. 5.11. Пазы и уступы:**

*a–d* – формы пазов; *e* – деталь с пазом и уступом

угольные, Т-образные и фасонные (рис. 5.11, *a–d*). Пазы любого профиля могут быть сквозными, открытыми и закрытыми.

К обработанным фрезерованием уступам и пазам предъявляют различные технические требования в зависимости от назначения продукции, серийности производства, точности размеров, расположения и шероховатости поверхностей. Все эти требования определяют метод обработки. Фрезерование уступов и пазов осуществляют дисковыми и концевыми фрезами, а также набором дисковых фрез. Кроме того, уступы можно обрабатывать торцовыми фрезами.

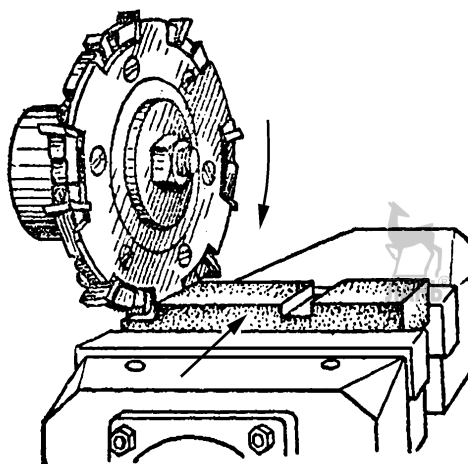
Тип и размер дисковой фрезы выбирают в зависимости от размеров обрабатываемых поверхностей и материала заготовки (рис. 5.12). Исходя из этого устанавливают тип фрезы, материал режущей части и основные размеры –  $B$ ,  $D$ ,  $d$  и  $z$ . Для легкообрабатываемых материалов и материалов средней трудности обработки с большой глубиной фрезерования применяют фрезы с нормальным и крупным зубом. Для труднообрабатываемых материалов с небольшой глубиной резания рекомендуется применять фрезы с нормальным и мелким зубом.

Диаметр фрезы следует выбирать минимально возможным. Чем меньше диаметр фрезы, тем выше ее жесткость и виброустойчивость. Кроме того, с уменьшением диаметра иногда возрастает стойкость фрезы.

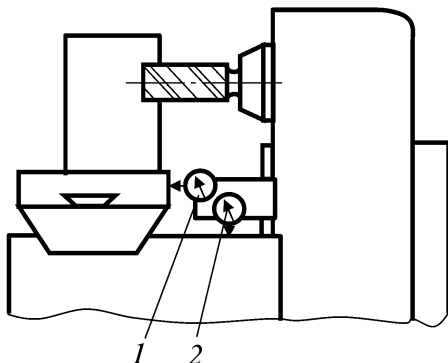
При заданной глубине фрезерования необходимо обеспечить гарантированный зазор между установочным кольцом на оправке и заготовкой. Если принять величину зазора равной 6...8 мм, то минимальный диаметр фрезы определится по соотношению, мм:

$$D = 2t + d_1 + (12...16),$$

где  $d_1$  – диаметр установочного кольца, мм.



**Рис. 5.12. Схема фрезерования уступа дисковой фрезой на горизонтально-фрезерном станке**



**Рис. 5.13. Схема фрезерования паза концевой фрезой на горизонтально-фрезерном станке, оснащённом отсчетным индикаторным устройством:**  
1 и 2 – индикаторы

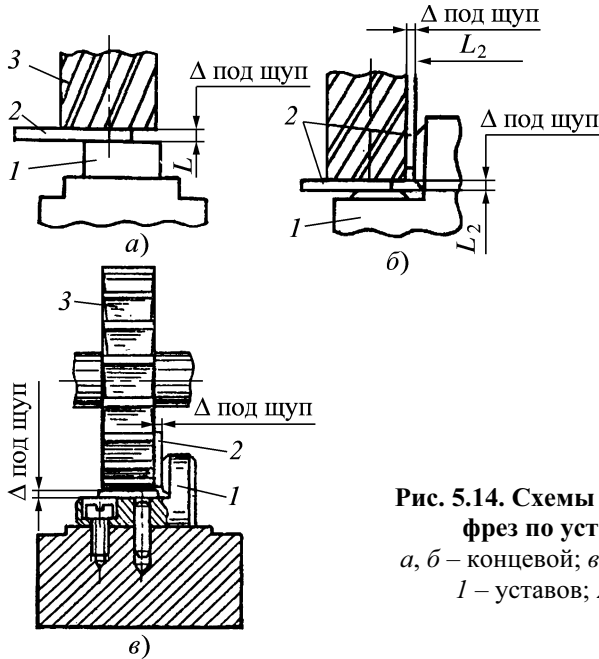
Дисковыми пазовыми фрезами обрабатывают преимущественно сквозные и открытые пазы. Применение этих фрез позволяет получать наиболее точные пазы; ширину паза можно обработать по 9...10 квалитетам. Пазовые фрезы имеют режущие кромки только на цилиндрической части, для уменьшения трения на боковых поверхностях фрезы предусмотрены поднутрения под углом  $2^\circ$ . По мере перетачивания зубьев ширина фрезы уменьшается, что приводит к изменению размера паза. Зубья этих фрез срезают стружку, размер которой равен ширине паза. При большой глубине резания стружка пакетируется во впадине, что иногда вызывает поломку зуба и фрезы в целом, поэтому эти фрезы используют при фрезеровании неглубоких пазов.

Дисковая трехсторонняя фреза обеспечивает более высокую производительность обработки пазов. Наличие боковых зубьев, а также срезание стружки, размер которой меньше ширины паза, улучшают условия резания, повышают точность размеров паза и качество его поверхностей. Однако недостатком этих фрез является уменьшение размера  $B$  (ширина фрезы) после первой же переточки. С целью устранения этого применяют регулируемые по ширине фрезы, которые состоят из двух половинок, имеющих зубья переменного направления на цилиндрической части. Между половинками закладывают кольцо, ширина которого и обеспечивает получение размера  $B$ .

Уступы и пазы обрабатывают концевыми фрезами на вертикально- и горизонтально-фрезерных станках (рис. 5.13). Фрезы с нормальными зубьями используют при получистовом и чистовом фрезеровании, а фрезы с крупными зубьями – при черновом. Выбор фрез и определение параметров их работы осуществляется в соответствии с имеющимися рекомендациями.

При наладке станка важно правильно установить фрезу. При использовании приспособлений это достаточно просто осуществляется по установкам (рис. 5.14). Положение установка задано относительно базовых элементов приспособления размерами  $L$ . Как правило, настройка фрезы производится с помощью шупа – металлической пластинки фиксированного размера (1, 3 или 5 мм).

Для настройки инструмента по вертикали (рис. 5.14, а) необходимо вручную перемещать консоль станка вверх и шупом проверять взаимное положение инструмента и установка. Инструмент считается настроенным на заданный размер, если шуп проходит плотно и без качки между поверхностью установка и режущей кромкой зуба фрезы. Недопустим резкий подъем консоли до касания зуба фрезы с поверхностью шупа, так как это может привести к выкрашиванию



**Рис. 5.14. Схемы ориентации фрез по установу:**  
*а, б* – концевой; *в* – дисковой;  
*1* – устатов; *2* – шуп

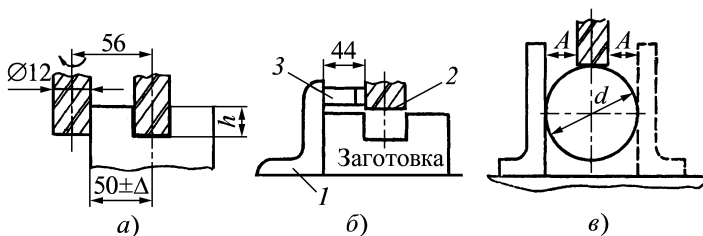
зуба фрезы и повреждению шупа. Иногда на шуп кладут полоску бумаги, и если при повороте фрезы бумага смещается, то для окончательной настройки на заданный размер консоль необходимо приподнять еще на  $0,03 \dots 0,05$  мм.

Настройка инструмента по горизонтали (рис. 5.14, *б, в*) относительно боковой его поверхности осуществляется также по шупу, но перемещением стола в поперечном направлении.

При отсутствии установа положение фрезы может быть задано по-разному. При невысоких требованиях к точности обработку паза можно выполнить по разметке. При более точных допусках рекомендуются другие способы настройки фрезы. Так, если боковая поверхность заготовки допускает риски, стол с ней подводят к фрезе до появления на поверхности слабого следа от вращающейся фрезы. Установив лимб винта поперечных подач на нулевое деление, заготовку отводят от фрезы в продольном направлении. Затем по лимбу стол перемещают в поперечном направлении в положение, соответствующее требуемому для обработки паза (на рис. 5.15, *а* – 56 мм).

Для установки фрезы можно применить плоскопараллельные концевые меры, которые обеспечивают высокую точность настройки. Угольник *1* (см. рис. 5.15, *б*) прижимают к поверхности закрепленной заготовки, а в пространство между ним и фрезой *2* помещают блок *3* из плиток (на рисунке – размером 44 мм). При перемещении стола с заготовкой блоком периодически проверяют





**Рис. 5.15. Схемы настройки фрезы относительно заготовки без установа**

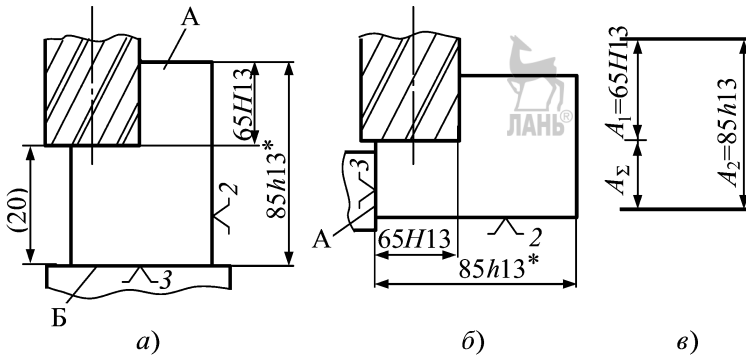
величину зазора. Установка считается выполненной, если блок плиток плотно и без качки проходит в пространство между угольником и фрезой.

Ориентацию фрезы относительно центра вала выполняют по схеме, показанной на рис. 5.15, в. Размер  $A$  между угольником и фрезой должен быть одинаковым как с одной стороны вала, так и с другой. Это определяется с помощью угольника и набора плиток или посредством универсального мерительного инструмента.

При обработке партии заготовок процесс настройки можно облегчить использованием устройства с двумя индикаторами, которое позволяет быстро и точно установить стол с заготовкой в требуемое положение после его смещения в поперечном и вертикальном направлениях. При настроенном станке индикаторы  $1$  и  $2$  устройства (см. рис. 5.13) устанавливают на ноль. Нулевое положение стрелки индикатора  $1$  определяет фиксированное положение стола в поперечном направлении, а индикатора  $2$  – в вертикальном. После смещения стола точная установка его в заданное положение не вызывает затруднений.

Погрешность в получении размеров при обработке во многом зависит от принятой схемы базирования заготовки в приспособлении (на станке). С целью уменьшения погрешности необходимо стремиться к совмещению базы технологической (установочной) с базой конструкторской (измерительной, исходной). Несоблюдение принципа единства баз приводит к появлению погрешности базирования  $\Delta_6$  или к необходимости пересчета допусков.

Если, например, при фрезеровании уступа в размер 65Н13 (+0,46) заготовку установить на плоскость Б (рис. 5.16, а), то появление погрешности базирования неизбежно. Это объясняется тем, что для обработки партии заготовок фреза настраивается относительно плоскости Б (на пересчетный размер – 20 мм), а измерительной (исходной) базой для заданного размера 65Н13 является плоскость А. Таким образом, возникает несовмещение баз. Поскольку на настроенном станке положение фрезы по высоте относительно плоскости Б будет неизменным, то в размер 65Н13 при обработке будет вноситься погрешность. Максимальная величина погрешности определится допуском на размер 85 мм, определяющим расстояние между поверхностями А и Б у заготовок (т.е. между базами). Этот допуск (0,54 мм) и определит погрешность базирования  $\Delta_6$ . Поскольку  $\Delta_6$  больше



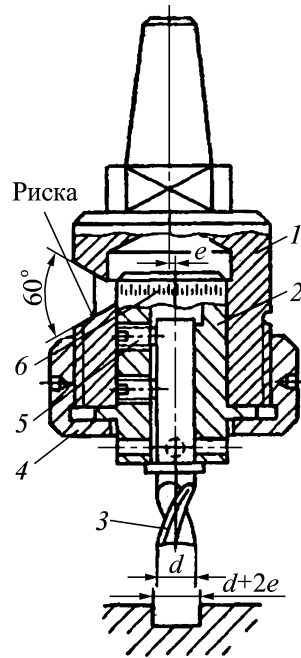
**Рис. 5.16. Схема возникновения погрешности базирования при фрезеровании концевыми фрезами**

допуска на размер 65 мм, то при обработке с принятой схемой базирования у части заготовок не будет выдержана точность в получении заданного размера. Избежать этого можно совмещением баз, если изменить положение заготовки в приспособлении (рис. 5.16, б). Составив размерную цепь (рис. 5.16, в), можно также пересчитать размеры и определить допуск на пересчетный размер  $A$ , который и выдерживают при обработке по принятой схеме.

Фрезерование шпоночных пазов на валах имеет ряд особенностей. Сквозные и открытые пазы (под призматические шпонки) с выходом канавки по окружности, радиус которой равен радиусу фрезы, обрабатывают дисковыми фрезами.

Закрытые и полузакрытые пазы (под призматические шпонки) фрезеруют концевыми или специальными шпоночными фрезами. При обработке паза концевой фрезой в крайней его части необходимо просверлить отверстие для ее установки, поскольку концевые фрезы не работают при осевых подачах.

Шпоночные фрезы имеют два режущих зуба с торцовыми режущими кромками. Фрезы могут работать с осевой подачей (как сверло) и с продольной подачей. Шпоночные фрезы обычно применяют для получения шпоночных пазов при обработке заготовок на специальных шпоночно-фрезерных станках с маятниковой подачей. Фреза здесь врезается на глубину 0,2...0,4 мм, и фрезерует паз по



**Рис. 5.17. Конструкция патрона, обеспечивающего компенсацию износа фрезы**

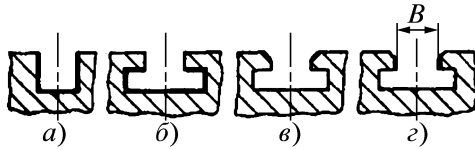


Рис. 5.18. Последовательность обработки Т-образного паза

всей длине. Затем паз фрезеруют снова на всю длину, но в другом направлении, и т.д.

Фрезерование пазов сегментных шпонок производят хвостовыми или насадными фрезами под сегментные шпонки, диаметр которых должен быть равен двойному радиусу канавки. Подача осуществляется в направлении, перпендикулярном оси вала.

Концевые фрезы после переточки изменяют свой рабочий диаметр. Поэтому для получения необходимой ширины паза переточенной фрезой применяют специальные патроны (см. рис. 5.17). Патрон состоит из корпуса 1, в который устанавливают втулку 2 с режущим инструментом 3. Колпачковая гайка 4 предназначена для крепления втулки в корпусе. Крепление фрезы во втулке осуществляется винтами 5. Ось отверстия втулки смещена относительно оси хвостовика на величину  $e = 0,3$  мм. Поворотом втулки в отверстии корпуса можно обеспечить смещение размера фрезеруемого паза (в пределах  $2e$  относительно диаметра фрезы  $d$ ). Величину поворота определяют по шкале 6. При закреплении фрезы следует следить за тем, чтобы ее зуб был расположен против нулевой отметки шкалы.

Фрезерование фасонных канавок, Т-образных пазов и пазов типа «ласточкин хвост» ведется по различным схемам.

Обработку Т-образных пазов обычно выполняют за несколько проходов. Сначала дисковой фрезой фрезеруют паз (см. рис. 5.18, а), затем Т-образной фрезой обрабатывают боковые поверхности (см. рис. 5.18, б), далее угловой фрезой снимают фаски (см. рис. 5.18, в) и, наконец, мерной фрезой обеспечивают получение заданного размера  $B$  паза (см. рис. 5.18, г).

## 5.8. ОТРЕЗАНИЕ И РАЗРЕЗАНИЕ ЗАГОТОВОК, ПРОРЕЗАНИЕ ПАЗОВ И ШЛИЦЕВ



*Отрезание* (отрезка) – процесс полного отделения части материала от целого (прутка, бруска, уголка и т.п.) режущим инструментом.

*Разрезание* (разрезка) – процесс полного разделения целого (прутка, бруска, уголка и т.п.) на равные или неравные части режущим инструментом.

*Прорезание* (прорезка) – процесс образования одного или нескольких мерных узких пазов (прорезей, шлицев) в заготовке режущим инструментом.

Отрезание заготовок на фрезерных станках осуществляется отрезными фрезами, а прорезание пазов и шлицев – прорезными (шлицевыми) фрезами. Отрез-

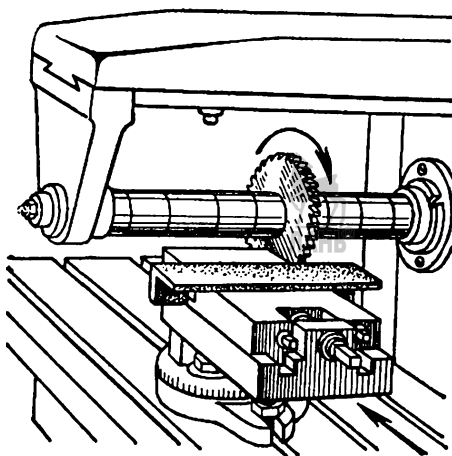


Рис. 5.19. Схема закрепления заготовки при отрезке

ные и прорезные фрезы имеют режущие кромки, расположенные по периферии. Отрезные фрезы предназначены для разрезания целого на части (например, разрезания заготовки на несколько равных или неравных частей) и отрезания от целой части (например, отрезания от бруска одной заготовки). Отрезные фрезы с мелким и средним зубом используются для обработки стали и чугуна, фрезы с крупным зубом – для обработки алюминиевых, магниевых и других легких сплавов.

Прорезные фрезы с мелким и средним зубом предназначены для прорезания в головках винтов или корончатых гайках неглубоких пазов, а с крупным зубом – для прорезания глубоких шлицев и пазов. При этом следует учитывать, что чем меньше диаметр отрезной фрезы, тем выше ее жесткость и виброустойчивость. Поэтому при отрезке фрезами малых диаметров можно получить более высокое качество обработанной поверхности, чем при работе отрезными фрезами большого диаметра. Стойкость фрез большого диаметра иногда меньше стойкости фрез меньшего диаметра и стоимость их выше.

При установке заготовки особое внимание необходимо уделять жесткости крепления заготовки и фрезы. Заготовку закрепляют в машинных тисках с упором на полку (рис. 5.19). Стол с закрепленной заготовкой подводят как можно ближе к станине. Отрезная фреза не должна задевать за тиски. Для большей жесткости крепления фрезу располагают на оправке ближе к шпинделю станка, а серьгу – ближе к фрезе. Для того чтобы фреза не вырывала заготовку из тисков, применяют попутное фрезерование (по подаче). При этом способе продольной подачи в соединении винт–гайка не должно быть люфта.

Отрезку тонкого листового материала и его разрезку на полосы предпочтительно производить при попутном фрезеровании, так как сила резания в этом случае будет прижимать заготовку к столу. Как отмечалось ранее, фрезерование по подаче можно производить лишь при отсутствии люфта в механизме про-

дольной подачи стола. Если заготовка крепится непосредственно на столе станка (без подкладок), то фрезу на оправке следует располагать против Т-образного паза в столе станка.

Фрезерование шлицев в головках винтов или корончатых гаек, как правило, осуществляют в приспособлении, имеющем устройство подвода заготовки к фрезе.

### 5.9. ФРЕЗЕРОВАНИЕ ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Фасонные поверхности, контур которых представляет собой кривые линии, имеют многие детали. Метод обработки таких поверхностей зависит от конфигурации, размеров, требуемой точности, материала заготовки, количества обрабатываемых деталей и других условий. Как правило, обработка деталей с фасонными поверхностями осуществляется на универсальных фрезерных станках, копировально-фрезерных станках и фрезерных станках с программным управлением.

Фасонные поверхности замкнутого контура в условиях единичного и мелкосерийного производства можно обрабатывать фрезерованием на вертикально-фрезерных станках с помощью ручного управления по разметке.

Фрезерование по разметке ведут преимущественно концевыми фрезами при одновременном перемещении стола в продольном и поперечном направлениях (рис. 5.20). Заготовку 1 устанавливают не на столе станка, а на подкладке 2, закрепив ее прихватами 3 с болтами так, чтобы фреза при обработке не касалась рабочей поверхности стола. При фрезеровании следят за тем, чтобы при перемещении стола фреза не срезала металл с разметочной линии. Заготовку следует закреплять так, чтобы при формировании фасонной поверхности движение стола в продольном направлении было более длительным. Если фасонная поверхность образована сравнительно плавной кривой, то иногда включают механическую подачу стола в продольном направлении, а необходимое перемещение стола в поперечном направлении обеспечивается ручной подачей.

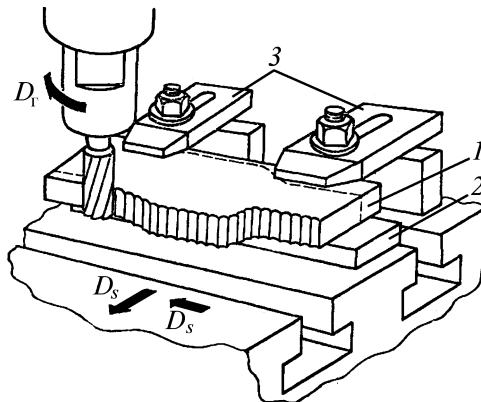
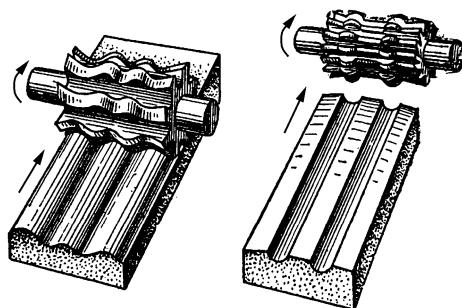
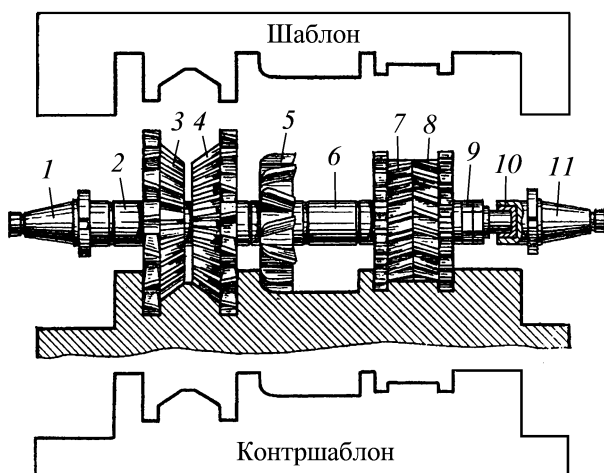


Рис. 5.20. Схема фрезерования фасонной поверхности по разметке



а)



б)



**Рис. 5.21. Обработка фасонных поверхностей:**  
а – фасонной фрезой; б – набором фрез

Обработку фасонной поверхности целесообразно осуществлять за два прохода: первый предварительный, второй – окончательный. При окончательном фрезеровании стол следует перемещать более плавно, внимательно наблюдая за положением фрезы относительно разметочной линии.

Фрезерование фасонных поверхностей незамкнутого контура в ряде случаев обрабатывают фасонными фрезами. Профиль зуба фасонных заточенных фрез должен соответствовать фасонному профилю детали, поскольку точность фасонного профиля обработанной детали зависит непосредственно от точности профиля фрезы.

Применение фасонных фрез особенно эффективно при обработке узких и длинных фасонных поверхностей (рис. 5.21, а). Для фрезерования широких профилей применяют наборы фрез.

Оправка с набором фрез для обработки деталей на трех-, четырехшпиндельных продольно-фрезерных станках показана на рис. 5.21, б. На оправке 1 закрепляют комплект фрез: 3, 4, 5, 7 и 8. Между фрезами устанавливают распорные втулки 2 и 6. Весь набор крепят гайками 9.

Диаметр и профиль фрез выбирают в соответствии с профилем обрабатываемой детали. Оправку 1 устанавливают в один горизонтальный шпиндель станка, поддерживающую оправку 11 – в другой горизонтальный шпиндель. Шлифованный цилиндрический хвостовик оправки, установленной во втором шпинделе, входит в бронзовую втулку 10 оправки 11. Оправка 1 получает вращение от одного шпинделя, оправка 11 – от другого шпинделя станка. Таким образом, происходит одновременное вращение всего набора. Втулка является поддерживающе-центрирующей. Вращение в ней хвостовика оправки происходит только при пуске и выключении станка.

Контроль фасонного профиля обработанной поверхности осуществляют при помощи шаблона. Для проверки фрез служит контршаблон, изготовленный из листового материала в соответствии с профилем детали. Во избежание брака необходимо клеймить фрезу, шаблон и контршаблон.

Фрезерование фасонных поверхностей при использовании копиров, поворотных столов и других приспособлений имеет ряд особенностей. Некоторые схемы фасонного фрезерования с применением делительных головок рассмотрены в главе 6.



## Глава 6

# ФРЕЗЕРНЫЕ РАБОТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДЕЛИТЕЛЬНЫХ ГОЛОВОК

---

С помощью делительных головок выполняют следующие виды фрезерных работ:

- фрезерование многогранников;
- фрезерование прямых канавок на цилиндрических поверхностях;
- фрезерование пазов на торцовых поверхностях;
- деление заготовки по окружности на неравные части;
- фрезерование зубьев прямозубых цилиндрических и конических зубчатых колес;
- фрезерование торцовых зубьев кулачковых муфт и торцовых зубьев режущего инструмента;
- фрезерование винтовых канавок и спиралей;
- фрезерование зубьев зубчатых реек и др.



### 6.1. ФРЕЗЕРОВАНИЕ МНОГОГРАННИКОВ

Фрезерование граней многогранников (трехгранников, четырехгранников, пятигранников и т.д.) в зависимости от конфигурации детали и размера партии производят дисковыми, концевыми, цилиндрическими или торцовыми фрезами, а также набором дисковых фрез.

При обработке многогранников заготовки обычно имеют цилиндрическую форму. Размер  $a$  (рис. 6.1) грани при диаметре  $d$  описанной окружности заготовки может быть определен по формуле:

$$a = d \sin \frac{180^\circ}{n},$$

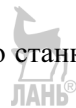
где  $n$  – число граней.

Для четырехгранника  $a = 0,707 d$ , а для шестигранника  $a = 0,5d$ . Для шестигранников в ряде случаев определяют размер  $S$  («под ключ»). С диаметром  $d$  этот размер для шестигранников связан соотношением  $d = 1,155S$ .

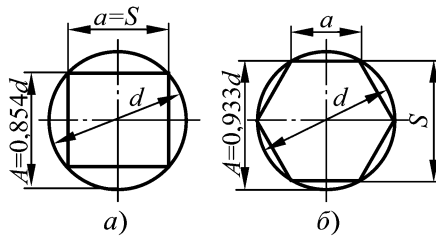
При обработке необходимо знать размер  $A$  (рис. 6.1), определяющий положение грани относительно образующей заготовки.

**Последовательность работ.** Для установки на столе фрезерного станка делительной головки и задней бабки необходимо:

1. Очистить стол и пазы от стружки, смазать тонким слоем смазки плоскости стола и основания делительной головки. Установить делительную головку и заднюю бабку фиксирующими сухарями в средний паз стола.







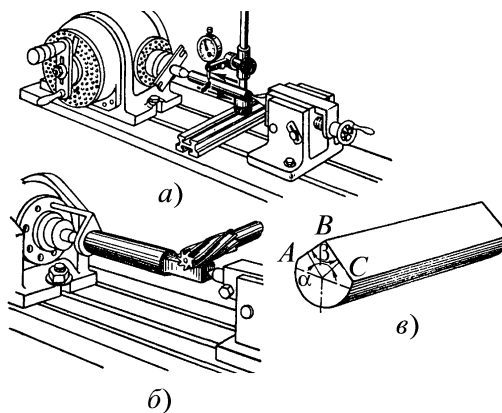
**Рис. 6.1. К расчету параметров заготовки при фрезеровании четырех- и шестигранников**

2. Ввести в паз стола крепежные болты делительной головки и задней бабки и затянуть их.

3. Проверить совпадение центров делительной головки и задней бабки с помощью контрольного валика и индикатора (рис. 6.2, а). Если при перемещении стойки индикатора параллельно оси валика отклонение стрелки не будет превышать заданное, то установка центров произведена правильно. В случае его превышения следует отрегулировать положение заднего центра установочным винтом в колодке. Снять контрольный валик с центром.

4. Освободить болты, крепящие заднюю бабку, отодвинуть ее от делительной головки на требуемое расстояние по длине заготовки и закрепить болтами.

5. Надеть на заготовку хомутик, закрепив его болтом. Установить заготовку в центрах, вставить загнутый конец (рог) хомутика в вырез подвода и закрепить его. На рис. 6.2, б показана установка заготовки для фрезерования квадрата концевой фрезой.



**Рис. 6.2. Фрезерование четырехгранника на горизонтально-фрезерном станке концевой фрезой:**

а – схема выверки делительной головки и задней бабки; б – схема фрезерования; в – определение угла поворота делительной головки

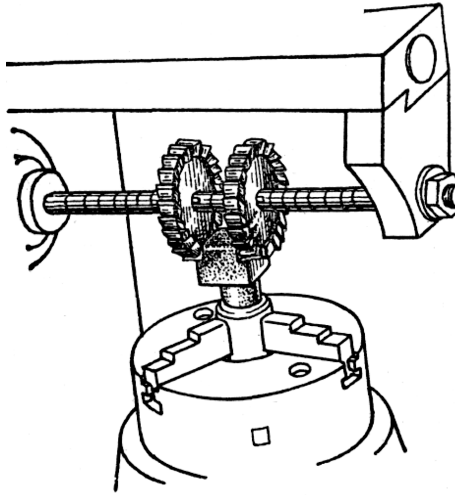


Рис. 6.3. Схема фрезерования граней головки винта набором фрез



6. Установить фрезу на размер. Фрезеровать грань. После того как профрезерована одна грань, шпиндель делительной головки поворачивают вместе с обрабатываемой заготовкой на  $90^\circ$  и производят фрезерование второй грани и т.д.

Если в многограннике угол между плоскостями  $AB$  и  $BC$  детали равен  $\beta$ , то при последовательной обработке этих граней заготовка должна быть повернута на угол  $\alpha$  (рис. 6.2, в), который определяют по формуле:

$$\alpha = 180 - \beta.$$



Поворот на угол  $\alpha$  можно осуществить методом непосредственного деления.

Определим частоту вращения  $n$  рукоятки, соответствующую повороту шпинделя на угол  $\alpha$ . Если рукоятка сделает 40 оборотов, то шпиндель повернется на один оборот, т. е. на  $360^\circ$ . Искомую частоту вращения легко получить из пропорции:

$$\frac{40}{360} = \frac{n}{\alpha},$$

откуда

$$n = \frac{40\alpha}{360}.$$

Фрезерование граней многогранника можно производить не одной фрезой, а набором дисковых фрез. Этот метод при обработке большой партии заготовок является более производительным и точным, чем фрезерование одной фрезой.

На рис. 6.3 показана схема фрезерования граней головки винта набором из двух фрез. Расстояние между внутренними боковыми поверхностями фрез должно быть равно расстоянию между противоположными боковыми гранями детали. Это достигается подбором установочных колец, как и при обработке уступов и пазов набором фрез. Заготовка должна быть установлена так, чтобы ее ось была перпендикулярна оси оправки фрезы.

Для фрезерования многогранников в крупносерийном и массовом производстве применяет многоместные делительные приспособления для одновременной обработки партии заготовок.

#### **Виды брака при обработке многогранников:**

1. Размер граней меньше требуемого из-за неправильно установленной глубины фрезерования. Причина – невнимательность при отсчете глубины фрезерования по шкале лимба.

2. Размер граней меньше требуемого из-за неправильно установленного расстояния между двумя дисковыми фрезами набора. Причина – неправильный подбор установочных колец.

3. Неверное расположение граней. Причина – неправильный отсчет делений по делительному диску.

4. Значительная шероховатость обработанной поверхности. Причины – большая подача на зуб, биение фрезы, вибрации, работа изношенной фрезой, большой люфт шпинделя делительной головки, неправильный подбор СОТС и др.

Фрезерование прямых канавок и шлицев на цилиндрических и конических поверхностях пазов на торцах заготовок ведется различным инструментом на вертикально- и горизонтально-фрезерных станках. Общая схема последовательности выполнения отдельных переходов по наладке станка и выполнению операций схожа с рассмотренной выше. Отметим, что при настройке станка на выполнение указанных работ особое внимание следует уделять правильности установки фрезы относительно заготовки.

## **6.2. ФРЕЗЕРОВАНИЕ ПРЯМОЗУБЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС**

Цилиндрические зубчатые колеса имеют определенные параметры (рис. 6.4).

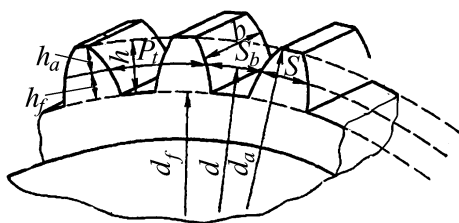
Диаметр вершин зубьев  $d_a$  соответствует диаметру наружной окружности, описанной по вершинам зубьев.

Диаметр делительной окружности  $d$  определяют по формуле, мм:

$$d = mz,$$

где  $m$  – модуль зубчатого колеса, мм;  $z$  – число зубьев.

Диаметр впадин  $d_f$  – диаметр окружности, проходящей через основание впадин зубьев. Расстояние между окружностями вершин зубьев и впадин называют высотой зуба  $h$ . Высота головки зуба  $h_a$  равна расстоянию между дели-



**Рис. 6.4. Параметры цилиндрического прямозубого зубчатого колеса:**

$h_f$  – высота ножки;  $h_a$  – высота головки;  $h$  – высоту зуба;  $S_b$  – ширина впадины;  $b$  – ширина венца;  $S$  – толщина зуба;  $d_a$  – окружность вершин;  $d$  – делительная окружность;  $d_f$  – окружность впадин

тельной окружностью зубчатого колеса и окружностью вершин, а расстояние между окружностями делительной и впадин определяет высоту ножки зуба  $h_f$ . Если принять высоту головки зуба  $h_a = m$ , то диаметр наружной окружности равен:

$$d_a = d + 2h_a = d + 2m = mz + 2m = m(z + 2).$$

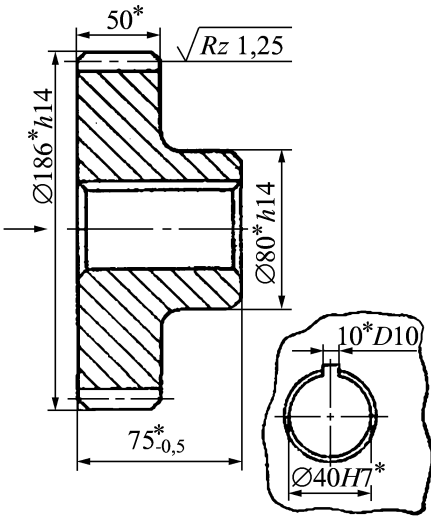
Окружной шаг  $P_t$  – расстояние между одноименными точками профиля соседних зубьев по дуге делительной окружности.

Все эти параметры, кроме  $d_a$ , должны быть обеспечены фрезеровщиком в процессе обработки зубчатого колеса. Значение допусков на неточность изготовления зубчатых колес зависит от степени точности (ГОСТ 1643–81).

Следует отметить, что системой допусков (независимо от степени точности изготовления зубчатых колес передачи) предусмотрено шесть видов сопряжений зубчатых колес, определяющих различную величину гарантированного бокового зазора. При изготовлении колес это положение в основном обеспечивается получением зуба требуемой толщины.

Обработку зубчатых колес на универсальных фрезерных станках осуществляют методом копирования. Он менее точен и менее производителен по сравнению с методом обкатки, используемым на специальных станках. Поэтому этот метод применяют при отсутствии специального оборудования, а также для предварительной обработки зубчатых колес большого диаметра и модуля. Метод копирования распространен в условиях единичного производства и при ремонтных работах. При обработке зубьев в качестве режущего инструмента применяют пальцевые модульные фрезы (на вертикально-фрезерных станках) и дисковые модульные фрезы (на горизонтально-фрезерных станках). Профиль зубьев этих фрез соответствует профилю впадины между зубьями нарезаемого зубчатого колеса.

При одном и том же модуле у эвольвентных колес профиль зуба зависит от числа зубьев колеса. Следовательно, для нарезания колеса с заданным числом зубьев необходима отдельная модульная фреза, обеспечивающая получение



**Рис. 6.5. Операционный эскиз для нарезания цилиндрического зубчатого колеса**

профиля, свойственного колесу с данным числом зубьев. Однако для каждого числа зубьев невозможно изготовить отдельную фрезу и поэтому используют ограниченное их число – наборы модульных фрез, которые состоят из 8, 15 и иногда из 26 фрез каждого модуля. Каждая фреза из набора данного модуля предназначена для обработки колес с количеством нарезаемых зубьев в определенном диапазоне. Стандартные наборы из 8 и 15 дисковых модульных фрез приведены в табл. 6.1.

Фрезерование зубьев у цилиндрического зубчатого колеса выполняется обычно на основании операционного эскиза (рис. 6.5), дополняемого таблицей его параметров (табл. 6.2).

Для фрезерования зубьев на горизонтально-фрезерном станке согласно операционной карте необходимы следующие

принадлежности и инструменты: делительная головка, задняя бабка, поводковый патрон, хомут, центр к задней бабке делительной головки, оправка требуемого диаметра для закрепления заготовки, фрезерная оправка с набором установочных колец, дисковая модульная фреза требуемого модуля из набора фрез, штангензубомер для контроля толщины зуба, контрольный валик, индикатор, шаблон. При нарезании зубчатого колеса с горизонтальным расположением шпинделя делительной головки оправку устанавливают в центрах делительной головки 1 и задней бабки 6 (рис. 6.6, а). На шпиндель делительной головки надевают поводковый патрон 2, который через хомут, закрепленный на оправке 5, передает вращательное движение со шпинделя головки на оправку с насаженной на ней заготовкой 3. Фрезу 4 устанавливают в диаметральной плоскости относительно заготовки.

Нарезание зубьев целесообразно выполнять в следующей последовательности:

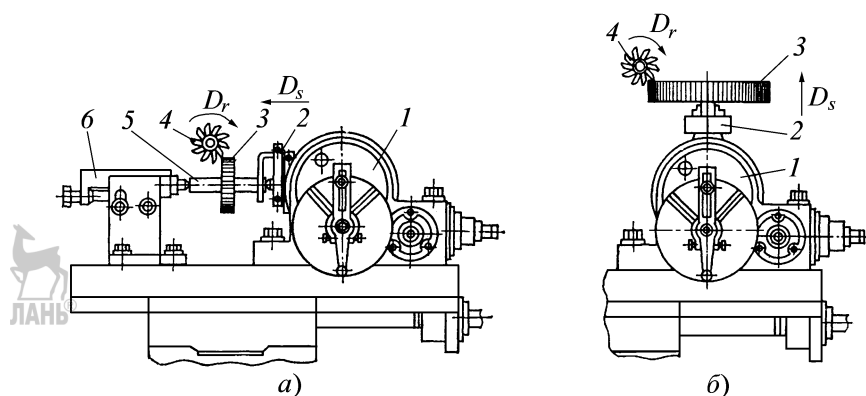
1. Изучить эскиз зубчатого колеса и маршрутную карту; получить необходимый режущий, вспомогательный и мерительный инструмент.
2. Установить на фрезерном станке запланированную технологическую оснастку.
3. Проверить биение наружной поверхности заготовки.
4. В соответствии с числом зубьев нарезаемого колеса подготовить делительную головку для деления на заданное число.
5. Установить режущий инструмент и проверить биение зубьев модульной фрезы.
6. Установить и закрепить заготовку.
7. Установить необходимую частоту вращения шпинделя и подачу.

### 6.1. Наборы дисковых модульных фрез

Номер фрезы	Число зубьев, нарезаемых стандартным набором фрез	
	8 фрез	15 фрез
1	12...13	12
1 <sup>1/2</sup>	13	
2	14...16	14
2 <sup>1/2</sup>	15...16	
3	17...20	17...18
3 <sup>1/2</sup>	19...20	
4	21...25	21; 22
4 <sup>1/2</sup>	23...25	
5	26...34	26...29
5 <sup>1/2</sup>	30...34	
6	35...54	35...41
6 <sup>1/2</sup>	42...54	
7	55...134	55...79
7 <sup>1/2</sup>	80...134	
8	135	

### 6.2. Данные для изготовления прямозубого зубчатого колеса

Наименование параметра	Обозначение	Численное значение
Модуль, мм	$m$	2
Число зубьев	$z$	91
Угол наклона линии зуба, град	$\beta$	0
Нормальный исходный контур	—	По ГОСТ 13755–81
Коэффициент смещения	$x$	0
Точность по ГОСТ 1643–81	—	8-9-9-Ва
Длина общей нормали, мм	$W$	$96_{-0,30}^{-0,16}$
Толщина зуба по постоянной хорде, мм	$S_{nx}$	При обхвате 11 зубьев
Диаметр делительной окружности, мм	$d$	



**Рис. 6.6.** Схемы наладки станка для фрезерования зубчатого колеса дисковой модульной фрезой при горизонтальном (а) и вертикальном (б) расположении шпинделя делительной головки

8. Установить упоры автоматического выключения продольной подачи.

9. Нажать кнопку «Пуск станка».

10. Подвести заготовку к фрезе до касания фрезы наружной поверхности заготовки и зафиксировать на лимбе это положение.

11. Установить глубину фрезерования, равную высоте зуба  $h = 2,2 m$ , мм.

12. Включить систему охлаждения, механическую продольную подачу; после обработки шаблоном проверить профиль впадин. Если необходимо, ввести поправку на глубину фрезерования.

13. Отвести стол в исходное положение, отстопорить шпиндель делительной головки и повернуть заготовку на установленное число делений; закрепить шпиндель головки и профрезеровать вторую впадину.

14. Проверить штангензубомером толщину зуба по постоянной хорде.

15. Произвести фрезерование остальных зубьев зубчатого колеса.

16. Проверить заданную длину общей нормали (если это потребуется).

17. Выключить станок, снять заготовку и предъявить контролеру.

При нарезании зубчатого колеса с вертикальным расположением шпинделя делительной головки (рис. 6.6, б) заготовку 3 устанавливают в патроне 2, закрепленном на шпинделе делительной головки 1. Нарезание зубьев осуществляют при вертикальной подаче стола фрезерного станка.

### 6.3. ФРЕЗЕРОВАНИЕ ЗУБЬЕВ ЗУБЧАТЫХ РЕЕК

Рейку можно рассматривать как участок венца зубчатого колеса при бесконечном увеличении его диаметра. Рейки обрабатывают как на вертикально-фрезерных, так и на горизонтально-фрезерных станках.



Отсчет перемещения стола при обработке зубьев коротких и неточных реек можно производить по лимбу винта продольной подачи. Для отсчета перемещений стола при фрезеровании зубьев длинных и точных реек следует пользоваться универсальной делительной головкой или специальным приспособлением.

При обработке зубчатых реек на горизонтально-фрезерном станке с использованием делительной головки применяют также специальную фрезерную головку 1 (рис. 6.7), благодаря которой ось установленной дисковой модульной фрезы будет параллельна продольному перемещению стола. Обрабатываемую заготовку 2 устанавливают в приспособлении или на столе станка. После выверки по базовой поверхности ее закрепляют прихватами. Режущий инструмент 3 – дисковая модульная фреза для обработки реек.

Делительная головка 4 через набор шестерен 5 кинематически связана с винтом продольного перемещения стола. В продольном направлении стол перемещают вращением рукоятки делительной головки. Заданная величина этого перемещения может быть обеспечена путем подбора соответствующих шестерен и числа оборотов рукоятки. Кинематическая связь между этими элементами выражена зависимостью:

$$i_{\text{см}} = \frac{NP_t}{Pn_p} = \frac{Nm\pi}{Pn_p},$$

где  $i_{\text{см}}$  – передаточное отношение сменных зубчатых колес;  $N$  – характеристика делительной головки;  $P_t = \pi m$  – нормальный шаг зубьев фрезеруемой рейки, мм;  $P$  – шаг винта продольной подачи стола, мм;  $m$  – модуль нарезаемой рейки, мм.

При установленном передаточном отношении рассчитывают число оборотов рукоятки делительной головки  $n_p$ , которое равно:

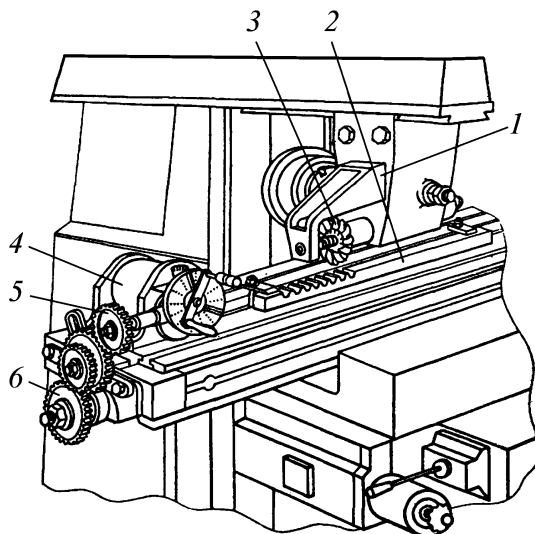
$$n_p = \frac{Nm\pi}{Pi_{\text{см}}}.$$

*Пример.* Настроить технологическую систему при фрезеровании зубьев прямозубой рейки модулем 2 мм ( $P = 6$  мм,  $N = 40$ ). Наиболее удобное передаточное число сменных шестерен  $i_{\text{см}} = 40/30$ . Подставим эти данные в формулу и определим число оборотов рукоятки делительной головки для перемещения стола на один шаг зубчатого зацепления:

$$n_p = \frac{40 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 30}{6 \cdot 40} = 31 \frac{26}{62}.$$

Выбираем делительную окружность делительного диска головки с числом отверстий 62, а сектор настраиваем на  $26 + 1 = 27$  отверстий. Таким образом, для перемещения стола с заготовкой на величину, соответствующую одному нормальному шагу, следует рукояткой делительной головки сделать 31 оборот и дополнительно повернуть на 26 отверстий. При повороте на 26 отверстий размер нормального шага уменьшится, а при повороте на 27 отверстий – возрастет. Погрешность при этом будет соответствовать





**Рис. 6.7.** Схема фрезерования рейки на горизонтально-фрезерном станке

перемещению стола при повороте на одно отверстие, и ее величина вполне допустима для зубчатых реек 8-й степени точности.

Если рейка имеет косые зубья, то величину перемещения стола определяют по шагу  $P$ , значение которого вычисляют по формуле:

$$P = \frac{m\pi}{\cos \alpha},$$

где  $m$  – модуль (нормальный), мм;  $\alpha$  – угол наклона зубьев рейки, °;  $\pi = 3,14$  (при точных работах принимают  $\pi = 3,1416$ ).

Эта формула справедлива лишь для случая, когда стол станка повернут к горизонтальной плоскости на угол  $\beta$ , а ось обрабатываемой рейки параллельна оси стола. Если стол станка не повернут, а ось рейки расположена под углом к оси стола, то  $P = mn$ .

При настройке станка необходимо помнить, что из сменных колес первое (ведущее) колесо 5 (см. рис. 6.7) необходимо устанавливать на валике шпинделя делительной головки, а последнее (ведомое) колесо 6 – на хвостовой части винта продольной подачи.

#### 6.4. ФРЕЗЕРОВАНИЕ ВИНТОВЫХ КАНАВОК

Нарезание винтовых канавок является одной из сложных операций, выполняемых с помощью делительных головок. При фрезеровании винтовых канавок фреза получает быстрое вращательное движение, определяющее скорость резания. Обрабатываемая заготовка имеет сложное движение – медленное вращательное движение вокруг своей оси и согласованное с ним по-

ступательное движение вдоль оси. Винтовые канавки (правые и левые) фрезеруют концевой фрезой на вертикально-фрезерном станке и дисковой фрезой – на горизонтально-фрезерном станке. Дисковыми фрезами можно обрабатывать винтовые канавки на специально приспособленных вертикально-фрезерных и бесконсольно-фрезерных станках с поворотными головками. Этот метод целесообразно применять при фрезеровании винтовых канавок с большим углом подъема, а также канавок на крупногабаритных заготовках. При настройке универсально-фрезерного станка и делительной головки необходимо определять величину угла и направление поворота стола станка, а также число зубьев сменных зубчатых колес, обеспечивающих заданное передаточное отношение.

Правильный профиль винтовой канавки будет обеспечен лишь при условии совпадения плоскости вращения дисковой фрезы с направлением канавки. Для этого стол станка следует повернуть на угол наклона винтовой канавки, определяемый по формуле

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\pi d}{T},$$

где  $\beta$  – угол поворота стола, °;  $d$  – диаметр заготовки, мм;  $T$  – шаг винтовой канавки, мм.

В этом случае ось дисковой фрезы будет расположена перпендикулярно развертке винтовой линии.

Угол  $\beta$  поворота стола отсчитывают по градусным делениям на лимбе поворотной части стола. Более точного отсчета не требуется, так как небольшое отклонение угла поворота стола приводит к очень незначительному изменению формы поверхности винтовой канавки.

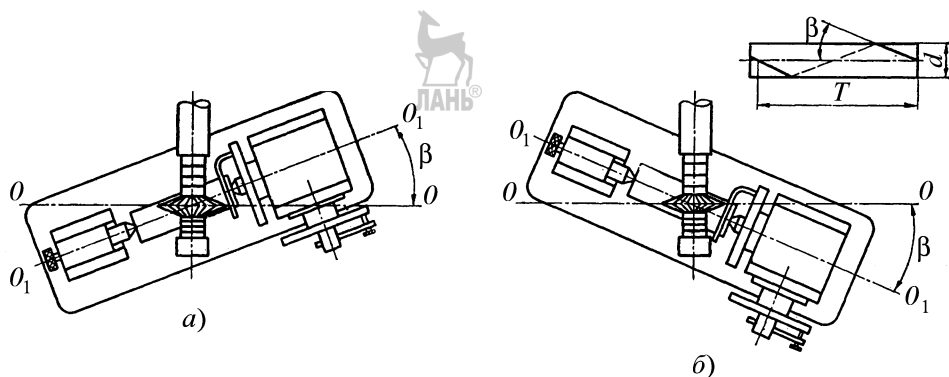
При фрезеровании винтовой канавки концевой фрезой стол станка должен быть установлен в обычном положении. При повороте стола необходимо учитывать направление винтовой канавки обрабатываемой заготовки. Для обработки левой винтовой канавки стол поворачивают по часовой стрелке, как показано на рис. 6.8, б; для обработки правой винтовой стрелки – как показано на рис. 6.8, а. Установку сменных зубчатых колес производят по определенным схемам.

*Пример.* Требуется настроить станок для фрезерования семи винтовых канавок шириной и глубиной 10 мм, шаг винтовой канавки 420 мм, наклон канавки правый, диаметр заготовки 80 мм. Характеристика делительной головки  $N = 40$ . Характеристика станка  $A = 240$ .

1. Делительную головку для деления окружности настраиваем на семь равных частей:

$$n_p = \frac{40}{7} = 5 + \frac{20}{28}.$$

Фиксатор устанавливаем на делительную окружность с числом отверстий 28, а сектор – на 21 отверстие. Отключаем защелку и вводим штифт фиксатора в отверстие делительного диска.



**Рис. 6.8. Направление поворота стола при фрезеровании винтовых канавок**

2. Стол станка поворачиваем на угол  $\beta$ . Угол поворота определяем по формуле:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\pi d}{T},$$

где  $d$  – диаметр заготовки, мм.

Таким образом, для рассматриваемого примера

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{3,14 \cdot 80}{420} = 0,5984.$$

По таблицам тригонометрических функций находим  $\beta = 30^{\circ}55'$ . Наклон канавки правый, поворот стола согласно рис. 6.8, а.

3. Определяем передаточное отношение сменных зубчатых колес:

$$i_{\text{см}} = \frac{240}{420} = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} = \frac{4}{7}.$$

4. Выбираем сменные зубчатые колеса в соответствии с рекомендуемыми схемами; проверяем их на условие сцепляемости. Примем:

$$\frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} = \frac{50}{100} \cdot \frac{80}{70}.$$

5. Устанавливаем заготовку и производим ее выверку.

6. Закрепляем режущий инструмент и проверяем биение зубьев фрезы.

7. Устанавливаем заданные частоту вращения шпинделя и величину продольной подачи.

8. Настраиваем станок на заданную глубину канавки.

9. Фрезеруем канавку и проверяем ее шаблоном; при необходимости ведем корректирование.

10. Выполняем обработку остальных канавок.

Этот метод применяется при фрезеровании винтовых канавок у сверл, фрез, метчиков и других аналогичных деталей, а также при обработке зубьев косозубых цилиндрических колес модульными фрезами.

### 6.5. ФРЕЗЕРОВАНИЕ КУЛАЧКОВ С ПРОФИЛЕМ ПО АРХИМЕДОВОЙ СПИРАЛИ

Плоские (дисковые) кулачки, применяемые в токарных автоматах и других машинах, имеют участки профиля, очерченные по спирали Архимеда. На рис. 6.9, *а* показан кулачок, рабочий профиль которого представляет собой один полный виток спирали. Размер  $P$  называется шагом спирали. В ряде случаев профиль кулачка состоит из нескольких спиралей с разным шагом, сопряженных между собой дугами окружностей и прямыми линиями. Так, например, кулачок на рис. 6.9, *б* имеет неполную спираль 1–2, охватываемую центральным углом  $\varphi_1$ , и спираль 3–4, охватываемую углом  $\varphi_2$ . Расстояния  $h_1$  и  $h_2$  называют подъемом спирали на участках, соответствующих центральным углам  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ . Если известен подъем спирали  $h$  и соответствующий ему центральный угол  $\varphi$ , то шаг спирали  $P$  можно определить по формуле:

$$P = \frac{360}{\varphi} h.$$

Обычно центральный угол, охватывающий центральный участок, задается не в градусах, а в сотых долях полной окружности, т.е. при построении профиля кулачка из его центра проводят не 360 лучей ( $360^\circ$ ), а 100 лучей. Тогда последняя формула примет вид:

$$P = \frac{100}{n} h,$$

где  $P$  – шаг спирали, отнесенный ко всей длине окружности, мм;  $n$  – число лучей (сотых долей окружности), занимаемых спиралью Архимеда;  $h$  – подъем спирали на участке, содержащем  $n$  лучей или сотых долей окружности.

В большинстве случаев фрезерование спиралей производится на горизонтально-фрезерных станках концевыми фрезами, закрепляемыми в поворотном шпинделе накладной фрезерной головки. Обрабатываемый кулачок центрируют и закрепляют на консольной оправке, установленной в шпинделе делительной

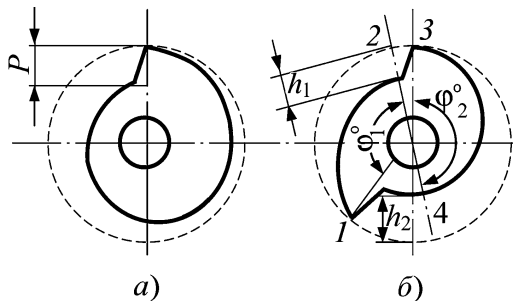


Рис. 6.9. Параметры рабочего профиля кулачка

головки. При фрезеровании кулачков оси шпинделей фрезерной и делительной головок всегда расположены параллельно. Если шпиндель головки установлен вертикально (рис. 6.10, *а*), то передаточное отношение сменных зубчатых колес, соединяющих винт продольной подачи стола станка с валиком привода головки, определяют по той же формуле, что и при обработке винтовых канавок:

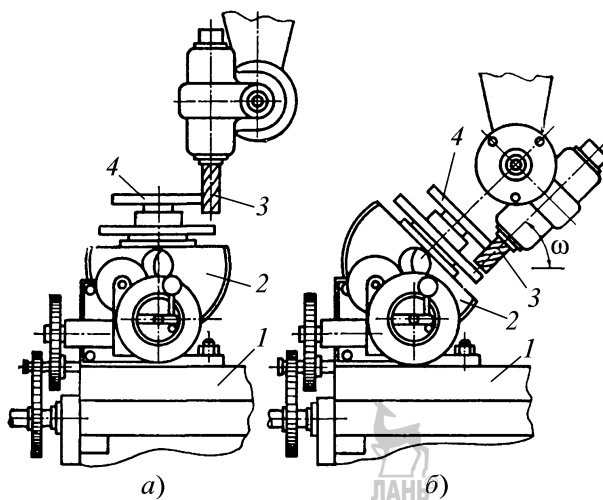
$$i_{\text{см}} = \frac{A}{P}.$$

При малых значениях шага спирали  $P$  ведущие сменные зубчатые колеса получаются настолько большими, что передача вращательного движения винта шпинделю делительной головки становится невозможной. Поэтому обработку кулачков с такими спиралями производят при наклонно установленных делительной головке и шпинделе. Передаточное отношение сменных зубчатых колес, соединяющих винт продольной подачи стола с валиком привода делительной головки, при наклонном положении шпинделя (рис. 6.10, *б*) находят по формуле:

$$i_{\text{см}} = \frac{A \sin \omega}{P}$$

где  $A$  – характеристика станка;  $P$  – шаг спирали, отнесенный к полной окружности, мм;  $\omega$  – угол наклона шпинделя делительной головки к направлению продольной подачи стола.

Наладка станка для обработки плоских кулачков, выполненных по спирали Архимеда, производится следующим образом:



**Рис. 6.10. Схемы фрезерования профиля кулачка при вертикальном (*а*) и наклонном (*б*) расположении оси шпинделя делительной головки:**  
 1 – стол; 2 – делительная головка; 3 – фреза; 4 – заготовка

- 1) устанавливают сменные зубчатые колеса для фрезерования винтовой канавки с произвольным шагом;
- 2) шпиндель делительной головки и фрезы располагают под углом  $\omega$ , величину которого находят по формуле:

$$\sin \omega = \frac{P_k}{P},$$

где  $P_k$  – шаг спирали данного кулачка, отнесенный к полной окружности, мм;  $P$  – шаг винтовой канавки, для фрезерования которой выбраны сменные зубчатые колеса, мм.

Установив сменные зубчатые колеса для фрезерования винтовой канавки с продольным шагом  $P$ , можно обрабатывать кулачок с несколькими спиралями, не меняя установку зубчатых колес, а только изменяя угол наклона шпинделя делительной головки и фрезы при переходе от одного участка кулачка к другому.

Если подлежащая обработке спираль ограничивает кулачок только на некотором участке и характеризуется подъемом  $h$ , то угол наклона шпинделя делительной головки определяют по следующим формулам:

– для спирального участка, ограниченного центральным углом:

$$\sin \omega = \frac{360h}{\beta P};$$

– для спирального участка, выраженного в сотых долях полной окружности:

$$\sin \omega = \frac{100h}{nP},$$

где  $h$  – подъем спирали на участке, соответствующем центральному углу, мм;  $n$  – число сотых долей окружности, содержащихся в данном участке;  $P$  – шаг винтовой канавки, для обработки которой установлены сменные зубчатые колеса, мм.

Длина режущей части фрезы должна быть больше толщины кулачка.

## Глава 7

# СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА И ОХРАНА ТРУДА ФРЕЗЕРОВЩИКА

---

---

### 7.1. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА

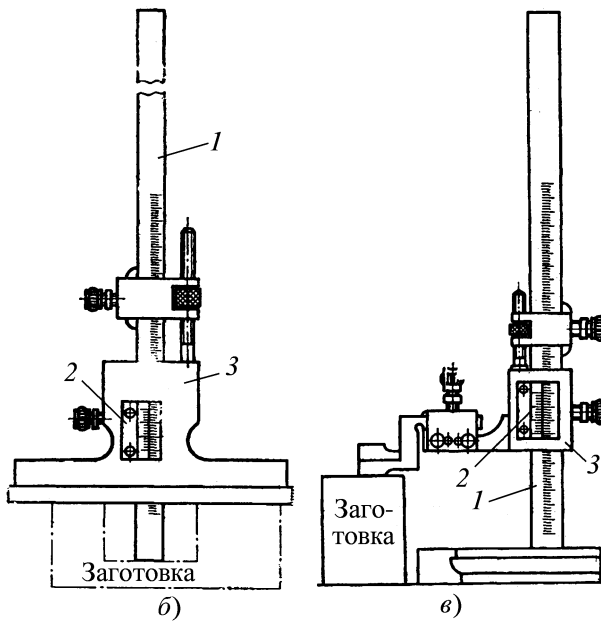
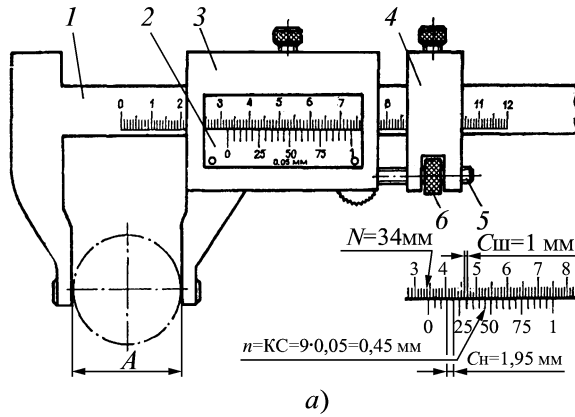
При фрезеровании наиболее распространенными измерительными средствами являются: штангенинструменты, микрометрические инструменты, приборы с индикаторами часового типа, калибры, пробки, скобы, маятниковые угломеры.

К штангенинструментам относятся: штангенциркуль, (рис. 7.1, *а*), предназначенный для контроля линейных и диаметральных размеров; штангенглубиномер (рис. 7.1, *б*), при помощи которого измеряют глубину паза или уступа; штангенрейсмус (рис. 7.1, *в*), позволяющий производить разметку и измерение линейных и диаметральных размеров.

Штангенинструменты имеют две шкалы: одну основную, нанесенную на штанге 1, с ценой деления 1 мм, и вторую, расположенную на нониусе 2, который является отсчетным устройством. Наиболее распространенная цена деления  $c_{\text{н}}$  шкалы нониуса соответствует 0,05 и 0,1 мм.

Перед началом измерения необходимо отжать стопорные винты рамки 3 и ползуна 4, сдвинуть рамку вправо и протереть контактные поверхности инструмента фланелевой ветошью. Затем большим пальцем правой руки передвинуть рамку влево до соприкосновения подвижной губки с неподвижной. У исправного инструмента сдвинутые губки должны плотно соприкасаться (допускаемый зазор для штангенциркуля с ценой деления 0,1 мм не более 6 мкм), а нулевые риски основной шкалы и нониуса – совпадать. Рамка должна перемещаться по штанге свободно, но без качки. Если эти требования не выполняются, то штангенциркуль необходимо заменить.

При измерении штангенциркуль держат правой рукой за штангу и большим пальцем перемещают рамку до соприкосновения губок с измеряемой поверхностью детали. Для ускорения и облегчения процесса измерения штангенинструменты снабжены узлом микроподачи, который состоит из винта 5, гайки 6 и ползуна 4. После предварительной установки ползун закрепляют стопорным винтом. Более точная его установка осуществляется посредством вращения гайки 6. После окончательной установки винтом необходимо закрепить рамку штангенциркуля и произвести отсчет действительного размера. Зажимать рамку следует так, чтобы губки инструмента могли свободно, но без качки скользить по измеряемой поверхности детали. При отсчете размера на шкалу смотрят под прямым углом, иначе возможна ошибка вследствие параллакса.



**Рис. 7.1. Штангенинструменты:**

*а* – штангенциркуль; *б* – штангенглубиномер; *в* – штангенрейсмус

При определении результата измерения штангенинструментами придерживаются следующей последовательности:

1. Сначала по основной шкале устанавливают количество целых миллиметров  $N$  в измеряемой величине, чему соответствует последнее деление основной шкалы перед нулевым делением нониуса. Для примера на рис. 7.1, *а* – 34 мм.

2. Затем определяют количество дробных долей миллиметра  $K$ . Для этого на шкале нониуса находят деление, совпадающее с одним из делений на основной шкале. Порядковый номер этого деления (не считая нулевого деления) умножают на цену деления шкалы нониуса  $c_{\text{ш}}$ , которая на нем проставлена.



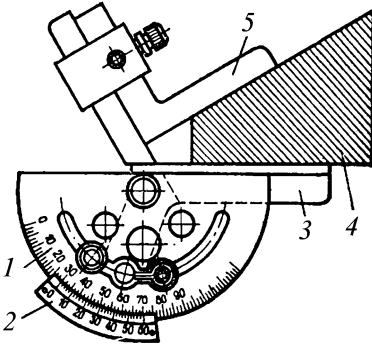


Рис. 7.2. Универсальный угломер

Контроль и измерение угловых размеров выполняют с помощью универсальных угломеров (рис. 7.2). На дуге угломера 1 нанесена основная шкала с ценой деления  $1,5^\circ$ . Цена деления шкалы нониуса 2 составляет  $2'$ . Опорную планку 3 ориентируют по поверхности заготовки 4, а подвижную планку 5 поворачивают до соприкосновения с контролируемой поверхностью. Между планками угломера и поверхностями контролируемой заготовки не должно быть зазора. После закрепления стопорных винтов по основной шкале и шкале нониуса определяют угловой размер.

Угломеры предназначены для измерения углов до  $180^\circ$ .

Микрометр (рис. 7.3) измеряют линейные и диаметральные размеры. Основные детали микрометра – микрометрический винт и стебель с гайкой, которые изготовлены с относительно высокой точностью. Микрометр имеет скобу 1, в которую запрессованы неподвижная пятка 2 и стебель, внутри которого нарезана резьба для ввинчивания микрометрического винта. На коническую поверхность винта 3 насажен барабан 4 с корпусом предохранительного механизма – трещотки 5. Трещотка имеет на торце односторонние зубья, к которым посредством пружины (сила  $7 \pm 2$  Н) прижимается штифт 6. При превышении нагрузки штифт утапливается и скользит по зубьям трещотки, что определяет постоянство усилия поджима контактных поверхностей щетки и винта к детали при измерении. Гайка 7 служит для закрепления микрометрического винта в фиксированном положении.

Отсчетное устройство микрометра состоит из двух шкал: продольной 8, расположенной на стебле, и круговой 9, находящейся на барабане.

Результат измерения  $A$  складывается из отсчета целых делений продольной шкалы и отсчета дробной части  $K$ . Если ни один из штрихов барабана не совпадает с продольной риской, обычно выбирают то деление, которое ближе к ней.

Подготовку микрометрических инструментов к выполнению измерений целесообразно выполнять в следующей последовательности. Сначала протирают контактные поверхности микрометра фланелевой ветошью. Затем при помощи трещотки микрометрический винт вращают до соприкосновения стержня винта с пяткой (у микрометров с пределами измерения более 25 мм до соприкоснове-

Окончательно контролируемый размер  $A = N + Kc_{ш}$ , для нашего случая  $A = 34 + 9 \cdot 0,05 = 34,45$  мм.

Аналогичная последовательность приемов измерения сохраняется также в случае применения штангенглубиномера, штангенрейсмуса и других штангенинструментов.

При измерении штангенциркулем диаметра отверстия или ширины паза следует учитывать размер губок штангенциркуля, который указан на них. Эту величину нужно добавить к размеру  $A$ .

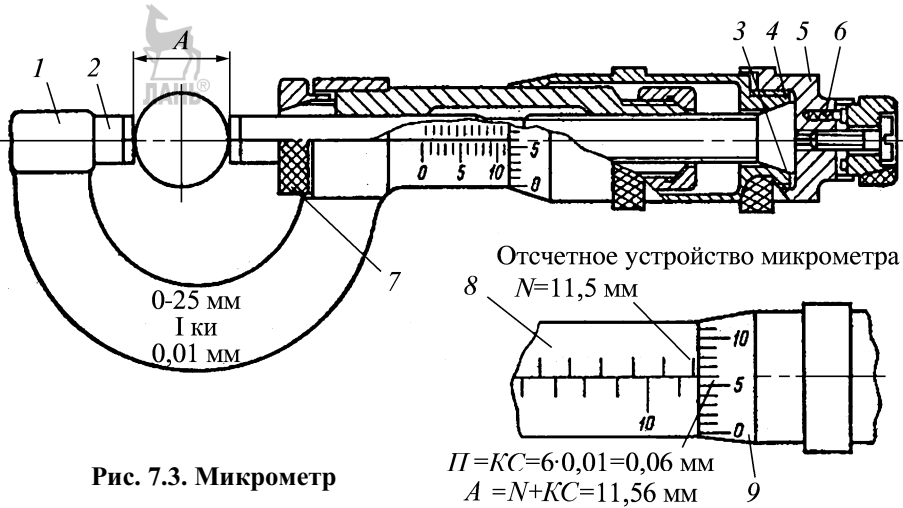


Рис. 7.3. Микрометр

ния с установочной мерой). При этом нулевое деление барабана должно быть совмещено с нулевой риской, а срез барабана – с первым делением стебля.

В случае несовпадения рисок микрометр необходимо установить на нулевое положение. Для этого при соприкасающихся контактных поверхностях микрометра гайкой 7 фиксируют микрометрический винт, отворачивают корпус трещотки (резьба правая), и легким нажатием на корпус барабана, влево сдвигают его с конической поверхности. Вращая барабан, совмещают нулевую риску круговой шкалы и риску стебля, а затем корпусом трещотки закрепляют барабан.

Микрометр – относительно точный инструмент, и его не следует применять для измерения грубо обработанных поверхностей. При измерении детали скобу микрометра обычно закрепляют на стойке и, вращая трещотку, подводят стержень микрометрического винта к измеряемым поверхностям. Вращение прекращают после срабатывания механизма трещотки. После закрепления винта микрометр снимают с изделия и производят отсчет действительного размера. Чтобы не сместить барабан, микрометр необходимо держать только за скобу. Для примера, на рис. 7.3 размер  $A = 11,56$  мм.

Погрешность измерения и затраты времени на контроль размеров значительно снижаются в случае применения предельных рабочих калибров. Эти калибры предназначены для контроля предельных размеров – проходной Р-ПР и непроходной Р-НЕ сторон. Контроль охватываемых поверхностей осуществляют калибром пробкой (рис. 7.4, а), а охватываемых – скобами (рис. 7.4, б).

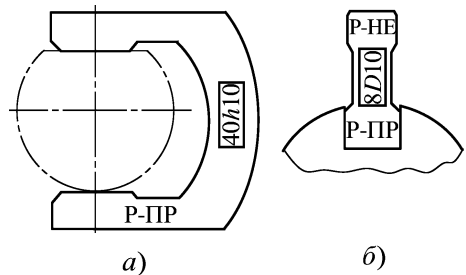


Рис. 7.4. Предельные рабочие калибры:

а – калибр скоба; б – калибр пробка

На калибрах нанесены размер, квалитет, а также допустимые отклонения. Они должны обязательно совпадать с размером, квалитетом и отклонениями, проставленными на чертеже для контролируемого размера.

## 7.2. КОНТРОЛЬ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

Проверка точности узлов станков регламентируется государственными стандартами. Установленные стандартом (ГОСТ 17734–80) для фрезерных станков нормы точности справедливы для новых и прошедших ремонт станков. У фрезерных станков выполняют следующие проверки:

### 1. Контроль отклонения от плоскостности рабочей поверхности стола.

Проверку выполняют в следующей последовательности. На рабочей поверхности стола *1* (рис. 7.5, *а*) в крайних его положениях помещают мерные подкладки *2*, а на них – поверочную линейку *3*. Ползушку *4* с измерительным прибором, например индикатором с ценой деления шкалы 0,001 мм, устанавливают в положение *А*, а стрелку индикатора – в нулевое положение. Затем ползушку медленно передвигают в положение *Б*, фиксируя отклонение стрелки регистрирующего прибора, которое не должно превышать значений, представленных в табл. 7.1.

Контроль осуществляют в продольном и поперечном направлениях стола. Выпуклость (стрелка индикатора отклоняется вправо относительно нулевого положения) рабочей поверхности стола не допускается.

### 2. Контроль отклонения от прямолинейности среднего паза стола.

Проверку выполняют в следующей последовательности. На рабочей поверхности стола *1* (рис. 7.5, *б*) в средний его паз (на концах стола) помещают упоры *2* и к ним прижимают поверочную линейку *3*. Выверку производят по стороне паза, ближней к станине. На столе станка устанавливают ползушку и ориентируют ее по контролируемой поверхности паза. Затем ползушку перемещают вдоль стола и следят за отклонением стрелки индикатора, которое не должно превышать значений (числитель дроби), указанных в табл. 7.1. Значение этой погрешности необходимо учитывать при ориентации приспособлений по среднему пазу.

### 3. Контроль отклонения от параллельности среднего паза стола траектории его продольного перемещения.

Проверку выполняют в следующей последовательности. Салазки и консоль станка закрепляют в среднем положении. В паз стола *1* (рис. 7.5, *в*) вводят упоры *2* и поперечную линейку *3*. На неподвижной части станка в поперечной плоскости, проходящей через ось шпинделя, укрепляют измерительный прибор *4* с индикатором, который устанавливают в нулевое положение. При этом ножка индикатора должна касаться поверхности линейки и быть ей перпендикулярна. Затем стол с линейкой вручную перемещают в продольном направлении. Разность показаний индикатора на всей длине перемещения не должна превышать значений (знаменатель дроби), указанных в табл. 7.2.

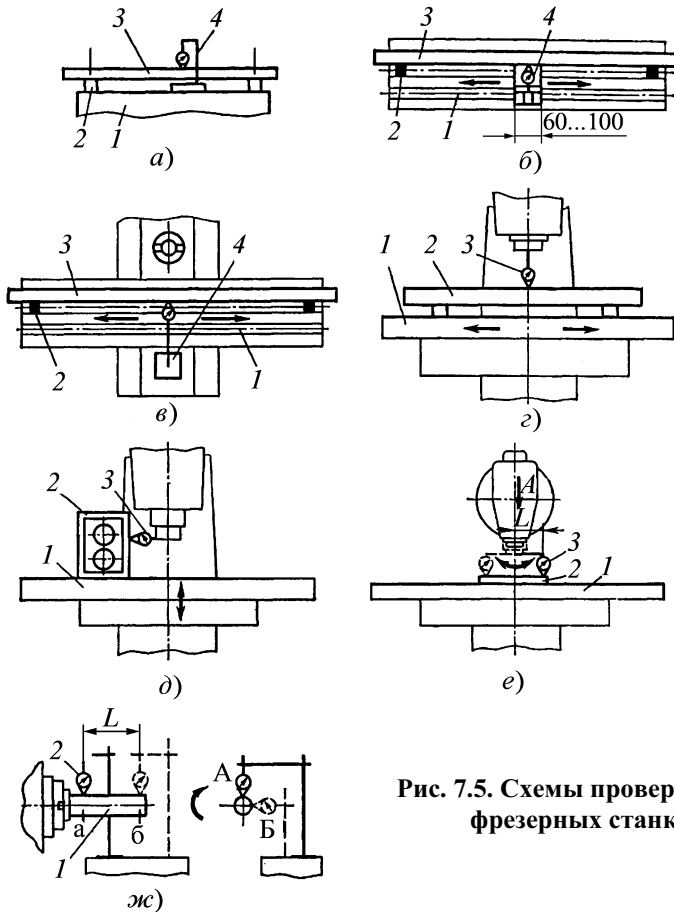


Рис. 7.5. Схемы проверки узлов фрезерных станков

4. **Контроль отклонения от параллельности рабочей поверхности стола траектории его продольного и поперечного перемещения.** Проверку выполняют в следующей последовательности. Поверочную линейку 2 устанавливают на упоры, а индикатор 3 закрепляют на оправке, установленной в коническое отверстие шпинделя. Затем стол 1 вручную перемещают в продольном (или поперечном) направлении и фиксируют отклонения регистрирующей стрелки индикатора, которые не должны превышать значений, приведенных в табл. 7.3.

5. **Контроль отклонения от перпендикулярности рабочей поверхности стола траектории его вертикального перемещения в продольной и поперечной плоскостях.** Проверку выполняют в следующей последовательности. Стол станка и салазки закрепляют в среднем положении. На рабочей поверхности стола (рис. 7.5, д) устанавливают поверочный прямоугольник 2, который ориентируют в плоскости, проходящей через середину стола. На неподвижной части станка закрепляют индикаторный прибор 5, измерительный наконечник которого должен касаться поверхности прямоугольника и быть ей перпендику-

лярным. Стрелку индикатора устанавливают в нулевое положение и вручную поднимают стол в вертикальном направлении. Изменения показаний индикатора при смене направления движения (подъем или опускание) не учитывают.

### 7.1. Допуск плоскостности рабочей поверхности фрезерных станков



Длина измерения, мм	Допуск для станков классов точности, мкм	
	Н	П
До 250	16	10
Св. 250 до 400	20	12
Св. 400 до 600	25	16
Св. 600 до 1000	30	20
Св. 1000 до 1600	40	25
Св. 1600	50	30

### 7.2. Допуск прямолинейности среднего паза и параллельности траектории его продольного перемещений

Длина рабочей поверхности стола (длина перемещения), мм	Допуск для станков классов точности, мкм	
	Н	П
До 400	12/16	8/10
Св. 400 до 630	16/20	10/12
Св. 630 до 1000	20/25	12/16
Св. 1000 до 1600	25/30	16/20
Св. 1600	30/30	20/20



### 7.3. Допуск параллельности рабочей поверхности стола траектории его продольного и поперечного перемещений

Длина перемещения, мм	Допуск, мкм, для станков классов точности	
	Н	П
До 400	20	12
Св. 400 до 630	25	16
Св. 630 до 1000	30	20
Св. 1000	40	30

Величина отклонения будет равна наибольшей алгебраической разности показаний измерительного прибора на всей длине перемещения. Она не должна превышать 20 или 12 мкм для станков классов точности соответственно Н и П при длине перемещения стола до 250 мм. Если длина перемещения превышает 250 мм, то величина допуска возрастает в 1,2 раза.

**6. Контроль отклонения от перпендикулярности рабочей поверхности стола к геометрической оси вращения шпинделя в продольной и поперечной плоскостях.** Проверку выполняют в следующей последовательности. Стол, салазки и консоль закрепляют в среднем положении. На рабочей поверхности стола 1 (см. рис. 7.5, е) размещают мерные прокладки 2, а в коническом отверстии шпинделя – оправку с измерительным прибором 3. Измерения выполняют при верхнем положении гильзы; перед испытанием шпиндельную гильзу зажимают.

Затем рукояткой изменяют частоту вращения шпинделя устанавливая нейтральное положение и, поворачивая оправку, фиксируют отклонение стрелки индикатора. Полученное отклонение равно наибольшей алгебраической разности показаний индикатора последовательно в каждой из плоскостей. Для станков с шириной стола более 150 мм допуск на данный параметр равен 25 мкм, станок класса Н и 16 мкм, станок класса П.

**7. Контроль радиального биения конического отверстия шпинделя.** В коническое отверстие шпинделя устанавливают контрольную оправку 1 (рис. 7.5, ж), а на столе станка – стойку с индикатором 2. Радиальное биение проверяют в двух сечениях а и б. Первое сечение расположено в непосредственной близости от шпинделя, а второе – на расстоянии, указанном в табл. 7.4. Поворачивая вручную шпиндель, фиксируют отклонение стрелки индикатора. Радиальное биение будет равно наибольшей алгебраической разности показаний индикатора за один оборот шпинделя. При этом радиальное биение конического отверстия шпинделя не должно превышать значений, указанных в табл. 7.4.

#### 7.4. Допуск радиального биения конического отверстия шпинделя

Ширина стола, мм	Размер $L$ , мм	Сечение	Допуск для станков классов точности, мкм	
			Н	П
До 250	150	а	10	6
		б	12	8
Св. 250	300	а	10	6
		б	20	12

#### 7.3. РАБОЧЕЕ МЕСТО ФРЕЗЕРОВЩИКА И ЕГО ОБСЛУЖИВАНИЕ

**Рабочее место** – это закрепленная за рабочим (бригадой) часть производственной площади, оборудованная и оснащенная техническими средствами и устройствами в соответствии с характером выполняемых работ. Рациональная организация рабочего места, предусматривающая систему мер, обеспечивающих оптимальное расположение оборудования и устройств, максимальное использование их технических возможностей, бесперебойное материально-техническое обеспечение всем необходимым для выполнения операции, технологическую дисциплину, соблюдение чистоты и порядка при самодисциплине рабочего, наряду с обязательным выполнением норм и правил по охране труда, способствует высокопроизводительной работе с наименьшей затратой времени и сил. При должной организации рабочего места фрезеровщику не надо тратить время на поиски приспособления, заготовок и инструментов, уточнение технологической документации, выполнять лишние движения.

Набор элементов и их расположение на рабочем месте зависят от вида производимых работ и условий производства. Как видно из рис. 7.6, на рабочем месте фрезеровщика размещен фрезерный станок 1 и шкаф 2 с инструментами и принадлежностями к станку. Верх шкафа предназначен для технологической документации. Вызов мастера или механика осуществляется с пульта 3. Справа от рабочего расположен контейнер 4 с обработанными или предназначенными для фрезерования заготовками. Обтирочную ветошь складывают в ящик 5, а стружку – в бункер 6. Необходимо помнить, что промасленную ветошь нельзя оставлять в ящике длительное время. По правилам охраны труда у станка должна быть деревянная подставка 7. В шкафу 8 размещают приспособления, а на стеллаже 9 – фрезерные оправки.

Все элементы рабочего места должны располагаться на возможно близком расстоянии друг от друга и в строго определенном порядке. Только в этом случае рабочий сможет быстро и точно находить необходимый инструмент, приспособление, заготовку.

Не следует загромождать проходы, подход к органам управления и узлам станка должен быть свободным. В процессе работы необходимо следить за тем, чтобы масло и смазочно-охлаждающая жидкость не вытекали из станка на пол.

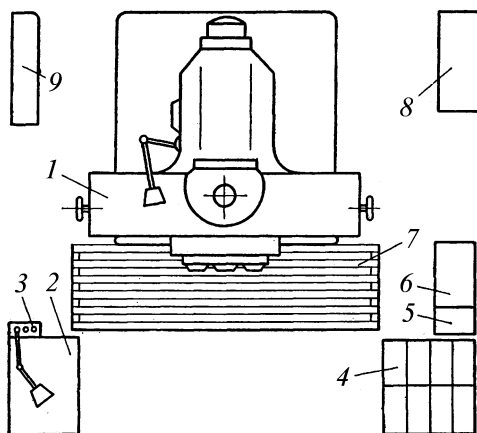


Рис. 7.6. Схема рабочего места фрезеровщика

На рабочем месте должна находиться оснастка, предназначенная только для выполнения данной операции. Инструменты, малогабаритные устройства, а также справочники, техническую документацию хранят в инструментальном шкафу. Режущий инструмент раскладывают в шкафу по типоразмерам: мелкий – в верхних ячейках, крупный – в нижних. Фрезы не должны касаться друг друга, а их режущие кромки необходимо предохранять от соприкосновения с металлическими деталями с помощью пластмассовых чехлов или деревянных подставок. Мерибельный инструмент необходимо хранить в чехлах отдельно от режущего.

Освещенность на рабочем месте должна соответствовать нормативам. Недостаточная или повышенная освещенность приводит к быстрому утомлению рабочего и снижению производительности его труда. Норма освещенности в зоне обработки – 200...500 лк, уровень шума на рабочем месте – не выше 70 дБ, температура воздуха зимой – не ниже (+18 °С), а летом – не выше (+28 °С). Выполнение последнего требования особенно важно при эксплуатации высокоточных станков и станков с числовым программным управлением.

**Прежде чем приступить к работе, фрезеровщик должен:**

- привести в порядок свою одежду;
- проверить исправность станка, наличие заземления и ограждения; последовательно проконтролировать работу всех его механизмов, систем охлаждения и смазки; о всех неисправностях немедленно сообщить мастеру и сотрудникам службы механика;
- произвести смазку узлов станка, заполнив масленки маслом до указанного уровня;
- изучить технологическую документацию, проверить наличие и исправность соответствующей оснастки;
- закрепить на станке самостоятельно или совместно с наладчиком приспособление и режущий инструмент, установить согласно операционной карте частоту вращения шпинделя и минутную подачу;



- осмотреть заготовки и проверить соответствие размеров заданным;
- удалить с рабочего места все посторонние предметы;
- убедиться в правильности наладки станка.

Во время работы фрезеровщик должен:

- строго соблюдать настройку станка на заданный режим;
- работать только исправным, хорошо заточенным инструментом;
- детали, инструменты и приспособления класть только на свои места и использовать только по прямому назначению;
- не класть режущий и измерительный инструмент, ключи, заготовки и детали на рабочие поверхности станка;
- следить за прочностью крепления обрабатываемых заготовок, инструмента и приспособлений;
- постоянно следить за работой системы смазки, так как ее неисправность может привести к поломке узлов станка, не производить измерений и не сметать стружку во время работы станка;
- следить за правильным подводом СОТС в зону резания;
- не допускать работы станка вхолостую, обязательно выключать станок при перерывах в подаче электроэнергии, уборке и смазке станка, а также при закреплении и измерении обрабатываемой заготовки.

**По окончании работы** фрезеровщик должен:

- выключить станок;
- сдать обработанные детали;
- очистить станок от стружки;
- инструменты убрать в шкаф.

При двух- и трехсменной работе станок сдают сменщику, обязательно сообщая ему или мастеру о замеченных неполадках в работе станка.

В организационно-техническом обслуживании рабочего места большое значение имеет своевременное получение рабочим сменного производственного задания, задания на декаду, на месяц. Это дает возможность фрезеровщику заранее ознакомиться с чертежом, техническими условиями, заблаговременно затребовать и подготовить необходимый режущий и измерительный инструмент и приспособления.

Действующими нормативами для серийного и массового производства предусмотрены следующие основные условия по **организационному обслуживанию рабочего места**:

- наряды на работу, заготовки, инструменты и приспособления доставляются к рабочему месту вспомогательным персоналом;
- инструменты затачиваются в централизованном порядке;
- рабочее место обеспечивается необходимыми комплектами технологической оснастки (комплектами оправок, быстродействующими гидравлическими и пневматическими приспособлениями и т.д.), способствующими сокращению затрат времени на выполнение вспомогательных операций.

## 7.4. ОХРАНА ТРУДА ФРЕЗЕРОВЩИКА

Охрана труда – это система законодательных актов и лечебно-профилактических мероприятий, обеспечивающих безопасность и работоспособность работника в процессе труда. Задача охраны труда заключается в сведении к минимуму вероятности травмы или заболевания работающего.

Фрезеровщик обязан знать и выполнять правила и нормы по охране труда, изложенные в специальных инструкциях. Наряду с общими сведениями инструкции содержат конкретные указания по предотвращению возникновения опасной ситуации при работе на фрезерных станках. При фрезеровании источниками опасности являются: вращающаяся фреза; отлетающая с большой скоростью стружка; вылет поломанных зубьев фрезы; вращающиеся маховички ручного перемещения стола; внезапный останов фрезы в случае неожиданного прекращения подачи электроэнергии; плохо закрепленные режущий инструмент или заготовка и др.

Конструкции современных фрезерных станков предусматривают элементы, которые сводят к минимуму возможность появления вышеупомянутых ситуаций. Все станки снабжены защитными экранами, ограждающими зону обработки и защищающими рабочего от отлетающей стружки. Исключена возможность вращения шпинделя при незакрепленном режущем инструменте или заготовке. Маховички ручных перемещений стола оснащены специальными муфтами или пружинами, что не позволяет использовать ручное перемещение во время механической подачи.

Вопросы безопасности и охраны труда при работе на металлорежущих станках подробно изложены в специальной литературе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Краткий справочник металлиста** / под общ. ред. А.Е. Древаля, Е.А. Скороходова. 4-е изд. М.: Машиностроение. 2005. – 960 с.
2. **Смазочно-охлаждающие** технологические средства. Справочник / под ред. Л.В. Худобина. М.: Машиностроение, 2006. – 544 с.
3. **Справочник конструктора-инструментальщика**. 2-е изд. / под ред. В.А. Гречишникова и С.В. Кирсанова. М.: Машиностроение, 2006. – 542 с.
4. **Справочник инструментальщика** / под ред. А.Р. Маслова. М.: Машиностроение, 2005. – 464 с.

# Приложение. НАЦИОНАЛЬНЫЕ СТАНДАРТЫ НА ФРЕЗЫ, ВВЕДЕННЫЕ В ДЕЙСТВИЕ С 1 ЯНВАРЯ 2010 г. И 1 ЯНВАРЯ 2011 г.

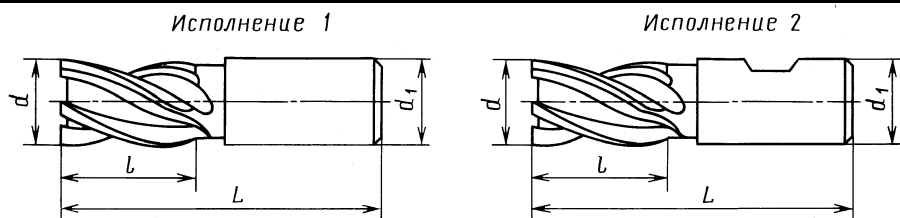
## III. Фрезы концевые, оснащенные винтовыми твердосплавными пластинами

ГОСТ Р 53413-2009 (ИСО10145-1:1993) распространяется на концевые фрезы с цилиндрическим хвостовиком и цилиндрическим хвостовиком с лыской, оснащенные винтовыми твердосплавными пластинами, предназначенны для обработки стали, чугуна и бронзы, а также труднообрабатываемых сталей и сплавов.

Фрезы следует изготавливать исполнений:

- 1 – с гладким цилиндрическим хвостовиком;
- 2 – с цилиндрическим хвостовиком с лыской.

**Основные размеры концевых фрез исполнений 1 и 2, мм**



dk12	d <sub>1</sub>	l		L+2
		Номин.	Пред. откл.	
12	12	14	+2	70
12	12	20		75
		25		80
16	16	25		88
		32		95
20	20	32	97	
		40	105	
25	25	40	+3	11
		50		121
32	32	40		120
		50		130
40	40	50		140
		63		153

Продолжение табл. 1П

Пример условного обозначения концевой фрезы диаметром 16 мм, с гладким цилиндрическим хвостиком – исполнение 1, длиной рабочей части 32 мм:

**Фреза 16-1-32 ГОСТ Р 53413–2009**

Фрезы следует изготавливать праворежущие, леворежущие – по заказу.

Стыки пластин на смежных зубьях должны располагаться в шахматном порядке. Допускается зазор между пластинами не более 0,5 мм.

Стружкоразделительные канавки должны располагаться в месте стыка пластин и быть выполнены с углом профиля 120°. Глубина впадины стружколома – 0,5 мм, ширина – не более 2 мм.

Размеры и предельные отклонения хвостиков фрез – по ГОСТ Р 52965. Центровые отверстия – по ГОСТ 14034.

Число зубьев, угол наклона стружечной канавки и пластины приведены в табл. А.1.

**А.1. Число зубьев, угол наклона стружечной канавки и пластины**

dk12	l		Число зубьев	Угол наклона стружечной канавки	Пластины по ГОСТ 25414	
	Номин.	Пред. откл.			Номер пластины	Число пластин на зубе
10	14	+2	2	20°	36350	1
12	20			24°	36350	1
	25				36370	1
					36350	1
	16		25		30°	36370
36350				1		
32			36370	2		
			20	30°		36390
36410	1					
36390	1					
36410	1					
25	40		36°	36390	1	
		36410		1		
	50	36390		1		
		36410		2		
32	40	40°	36010	1		
			36110	2		
	50		36010	1		
			36110	2		

Продолжение табл. 1П

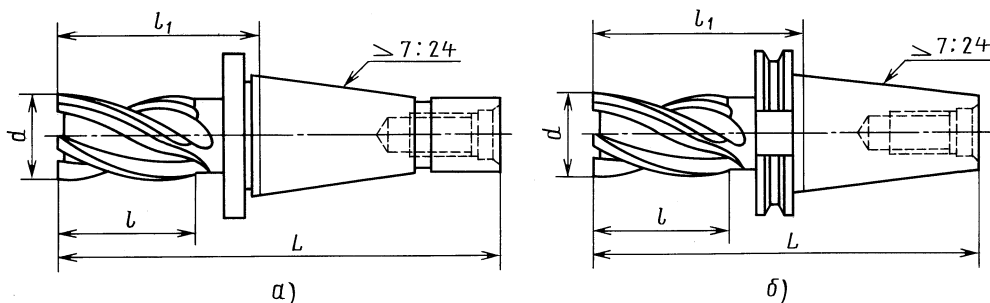
40	50		6	34°	36030	1
	63				36130	2
					36030	2
					36130	1

**ГОСТ Р 53414–2009 (ИСО10145-2:1993)** распространяется на концевые фрезы с хвостовиком конусностью 7:24, оснащенные винтовыми твердосплавными пластинами, предназначенны для обработки стали, чугуна и бронзы, а также труднообрабатываемых сталей и сплавов.

Фрезы следует изготавливать исполнений с коническим хвостовиком 7:24:

- 1 – для ручной смены;
- 2 – для автоматической смены.

**Основные размеры конических концевых фрез, мм**



dk12	l+3	Хвостовик № 40		Хвостовик № 50	
		l <sub>1</sub> +3	L	l <sub>1</sub> +3	L
32	40	84/91	177,4/159,4	–	–
	50	94/101	187,4/169,4	–	–
40	50	94/101	187,4/169,4	103/107	229,8/208,75
	63	107/114	200,4/182,4	116/120	242,8/221,75
50	50	94/101	187,4/169,4	103/107	229,8/208,75
	80	124/131	217,4/199,4	133/137	259,8/238,75
63	63	–	–	116/120	242,8/221,75
	100	–	–	153/157	279,8/258,75

Примечание. В числителе приведены размеры фрез исполнения 1 (а), в знаменателе – исполнение 2 (б).

Продолжение табл. 1П

Пример условного обозначения концевой фрезы диаметром 40 мм, с коническим хвостиком 7:24, исполнения 1, длиной рабочей части 63 мм, хвостовиком № 50:

**Фреза 40-1-63 № 50 ГОСТ Р 53414–2009**

Фрезы следует изготавливать праворежущие, леворежущие – по заказу.

Стыки пластин на смежных зубьях должны располагаться в шахматном порядке. Допускается зазор между пластинами не более 0,5 мм.

Стружкоразделительные канавки должны располагаться в месте стыка пластин и быть выполнены с углом профиля 120°. Глубина впадины стружколома – 0,5 мм, ширина – не более 2 мм.

Размеры конусов 7:24 – по ГОСТ 25827. Центровые отверстия – по ГОСТ 14034.

Число зубьев, угол наклона стружечной канавки и пластины приведены в табл. А.2.

**А.2. Число зубьев, угол наклона стружечной канавки и пластины**

dk12	l+3	Число зубьев	Угол наклона стружечной канавки, °	Пластины по ГОСТ 25414	
				Номер пластины	Число пластин на зубе
32	40	4	40	36010	1
				36110	2
	50			36010	1
				36110	2
40	50	6	34	36030	1
				36130	2
	63			36030	2
				36130	1
50	50	40	40	36030	1
				36130	2
	80			36030	2
				36130	2
63	63	8	30	36430	1
				36450	2
	100			36430	2
				36450	2

## 2П. Фрезы концевые с цилиндрическим, коническим хвостовиками и хвостовиком конусностью 7:24 по ГОСТ Р 53002–2008

Стандарт распространяется на концевые фрезы с цилиндрическим, коническим хвостовиком Морзе и хвостовиком конусностью 7:24, предназначенные для обработки поверхностей и уступов.

Фрезы концевые следует изготавливать типов: 1 – с нормальным зубом; 2 – с крупным зубом.

Фрезы каждого типа изготавливают исполнений: А – с цилиндрической ленточкой; Б – острозаточенные.

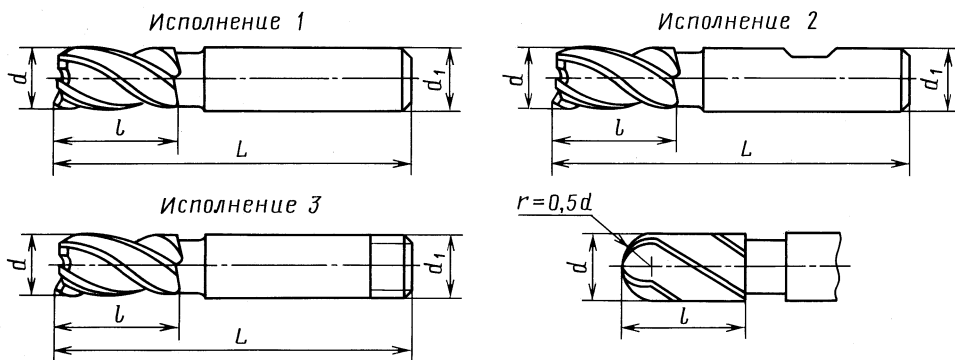
По форме хвостовика фрезы каждого типа изготавливают исполнений:

- 1 – с гладким цилиндрическим хвостовиком;
- 2 – с цилиндрическим хвостовиком с лыской;
- 3 – с цилиндрическим хвостовиком с резьбой;
- 4 – с коническим хвостовиком Морзе;
- 5 – с коническим хвостовиком 7:24 для ручной смены;
- 6 – с коническим хвостовиком 7:24 для автоматической смены.

Фрезы концевые изготавливают серий: нормальной и длинной.



### Основные размеры концевых фрез исполнений 1, 2 и 3, мм



d	d <sub>1</sub>		Нормальная серия			Длинная серия			Число зубьев для фрез типа	
	Ряд		l	L		l	L			
	1	2		Ряд			Ряд		1	2
2,0	4*	6	7	39	51	10	42	54	3	2
2,5			8	40	52	12	44	56		
3,0			10	42	54	15	47	59		
3,5			11	43	55	19	51	63		
4,0	5*	6	13	47	57	24	58	68	4	3
5,0			6	13	57		24	68		
6,0										
7,0	8	10	16	60	66	30	74	80		



Продолжение табл. 2П

8,0	8	10	19	63	69	38	82	88		
9,0	10				69			88		
10,0			22		72		95			
11,0		79			102					
12,0	12		26	83	53	110		5	4	
14,0										
16,0	16		32	92	63	123				
18,0										
20,0; 22,0	20		38	104	75	141		6		
24,0; 25,0; 28,0	25		45	121	90	166				
32,0; 36,0	32		53	133	106	186		8	-	
40,0; 45,0	40		63	155	125	217				
50,0;56, 0	50		75	177	150	252				
63,0	50	63	90	192	202	180	282	292		
71,0	63				202			292		

\*Только для гладких цилиндрических хвостиков.

Примечание. Два ряда общей длины фрез  $L$  соответствуют двум рядам диаметров хвостиков.

Независимо от серии фрез разность длин  $L-l$  должна быть постоянной и равна указанной ниже.

$d$	$L-l$	
	Ряд	
	1	2
От 2 до 4 вкл.	32	44
« 4 « 5 «	34	
« 5 « 6 «	44	
« 6 « 8 «	44	50
« 8 « 10 «	50	
« 10 « 14 «	57	
« 14 « 18 «	60	
« 18 « 22 «	66	
« 22 « 28 «	76	
« 28 « 36 «	80	

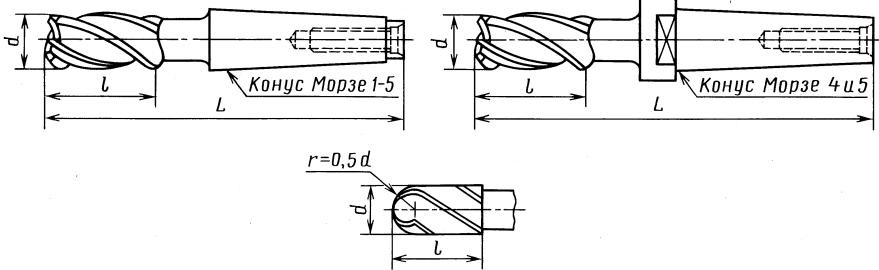




Продолжение табл. 2П

От 36 до 45 вкл.	92	
« 45 « 56 «	102	
« 56 « 63 «	102	112
« 63 « 71 «	112	

## Основные размеры концевых фрез исполнения 4, мм



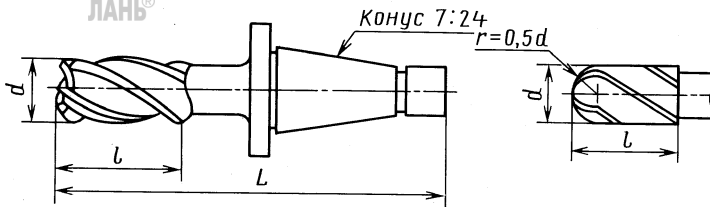
d	Нормальная серия		Длинная серия				Конус Морзе	Число зубьев для фрез типа	
	l	L	l	L		1		2	
		Ряд		Ряд					
		1		2	1				2
6	13	83	24	94		1	4	3	
7	16	86	30	100					
8; 9	19	89	38	108					
10; 11	22	92	45	115					
12; 14	26	96	53	123					
		111		138					
16; 18	32	117	63	148		2	5		
20; 22	38	123	75	160					
		140		177					
25; 28	45	147	90	192		3	6	4	
32; 36	53	155	106	208					
		178   201		231   254					
40; 45	63	188   211	125	250   273	4	6	4		
		221   249		283   311					
50; 56	75	200   223	150	275   298	4	8	5		
		233   261		308   336					
63	90	248   276	180	338   366	5	8	5		

Независимо от серии фрез разность длин  $L-l$  должна быть постоянной и равна указанной ниже.

Продолжение табл. 2П

Конус Морзе	1	2	3	4		5	
				Ряд		Ряд	
				1	2	1	2
L-1	70	85	102	125	148	158	186

**Основные размеры концевых фрез исполнения 5, мм**

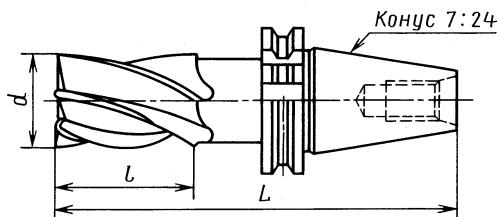


$d$	Нормальная серия		Длинная серия		Конус 7:24	Число зубьев для фрез типа	
	$l$	$L$	$l$	$L$		1	2
24; 25; 28	45	150	90	195	30	5	3
32; 36	53	158	106	211	40	6	4
		188		241			
		208		261			
40; 45	63	198	125	260	40	8	5
		218		280			
		240		302			
		210		285			
50; 56	75	230	150	305	45	8	5
		252		327			
		245		335			
63; 71	90	267	180	357	50	8	5
		283		212			
80	106	283	212	389	50	8	5

Независимо от серии фрез разность длин  $L-l$  должна быть постоянной и равна указанной ниже.

Конус 7:24	40	50
$L-l$	118	156

**Основные размеры концевых фрез исполнения 6, мм**



Продолжение табл. 2П

$d$	Нормальная серия		Длинная серия		Конус 7:24	Число зубьев для фрез типа	
	$l$	$L$	$l$	$L$		1	2
32;36	53	171	106	224	40	6	4
40; 45	63	181	125	243	50		
		219		281			
50; 56	75	193	150	268	40	8	5
		231		306	45		
63; 71	90	246	180	336	50		
80	106	262	212	368			

Независимо от серии фрез разность длин  $L-l$  должна быть постоянной и равна указанной ниже.

Конус 7:24	40	50
$L-l$	118	156

Пример условного обозначения концевой фрезы диаметром 8 мм, типа 1, исполнения А, с гладким цилиндрическим хвостовиком – исполнение 1, диаметром 10 мм, общей длиной 69 мм:

**Фреза 8-1-А-10-69 ГОСТ Р 53002–2008**

Пример условного обозначения концевой фрезы диаметром 36 мм, типа 2, исполнения А, с коническим хвостовиком Морзе – исполнение 4, общей длиной 254 мм:

**Фреза 36-2-А-4-254 ГОСТ Р 53002–2008**

Пример условного обозначения концевой фрезы диаметром 45 мм, типа 1, исполнения А, с коническим хвостовиком 7:24 – исполнение 5, общей длиной 260 мм:

**Фреза 45-1-А-5-260 ГОСТ Р 53002–2008**

Фрезы следует изготавливать праворежущие, леворежущие – по заказу. В хвостовиках леворежущих фрез с коническим направлением резьбы – левое.

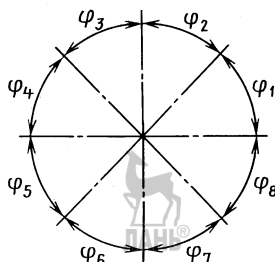
Фрезы изготавливают с неравномерным окружным шагом зубьев, приведенным в табл. А.3. Допускается изготовление фрез с равномерным окружным шагом. Фрезы диаметром до 4 мм изготавливают без торцовых зубьев.

Угол наклона стружечных канавок: 30...35° – для фрез типа 1; 35...45° – для фрез шейки.

Размеры хвостовиков фрез исполнений 1, 2 и 3 – по ГОСТ Р 52965. Размеры конусов Морзе – по ГОСТ 25557. Размеры конусов 7:24 – по ГОСТ 25827. Центровые отверстия – по ГОСТ 14034. Технические требования – по ГОСТ 17024.

Продолжение табл. 2П

**А.3. Разбивка окружных шагов зубьев концевых фрез**



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

**3П. Фрезы шпоночные с цилиндрическим, коническим хвостовиками и хвостовиком конусностью 7:24 по ГОСТ Р 53003–2008**

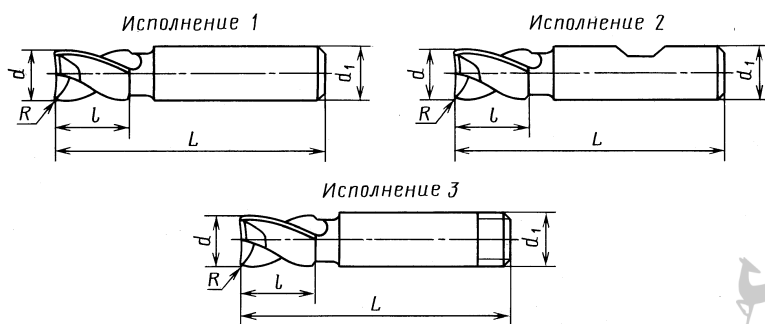
Стандарт распространяется на шпоночные фрезы с цилиндрическим, коническим хвостовиком Морзе и хвостовиком конусностью 7:24, предназначенные для обработки шпоночных пазов по ГОСТ 23360 в изделиях из стали.

Фрезы шпоночные следует изготавливать исполнений:

- 1 – с гладким цилиндрическим хвостовиком;
- 2 – с цилиндрическим хвостовиком с лыской;
- 3 – с цилиндрическим хвостовиком с резьбой;
- 4 – с коническим хвостовиком Морзе;
- 5 – с коническим хвостовиком 7:24.

Фрезы шпоночные изготавливают двух серий: короткой и нормальной.

**Основные размеры шпоночных фрез исполнений 1, 2 и 3, мм**



Продолжение табл. 3П

$d$	$d_1$		Короткая серия			Нормальная серия			$R$ , не более
	Ряд		$l$	$L$		$l$	$L$		
				Ряд			Ряд		
	1	2		1	2		1	2	
2	4*	6	4	36	48	7	39	51	0,1
3			5	37	49	8	40	52	
4			7	39	51	11	43	55	
5	5*		8	42	52	13	47	57	0,2
6	6			52			57		
7	8	10	10	54	60	16	60	66	
8			11	55	61	19	63	69	
10	10		13	63		22	72		0,3
12; 14	12		16	73		26	83		
16; 18	16		19	79		32	93		
20; 22	20		22	88		38	104		
24; 25; 28	25		26	102		45	121		0,4
32 36	32		32	112		53	133		
40; 45	40		38	130		63	155		0,8
50 56	50		45	147		75	177		
63	50	63	53	155	165	90	192	202	1,2
70	63			165			202		

\*Только для гладких цилиндрических хвостиков.

Примечания: 1. Два ряда общей длины фрез  $L$  соответствуют двум рядам диаметров хвостиков.

2. Допускается заменять радиус  $R$  фаской  $c \times 25$  при  $c = R$ .

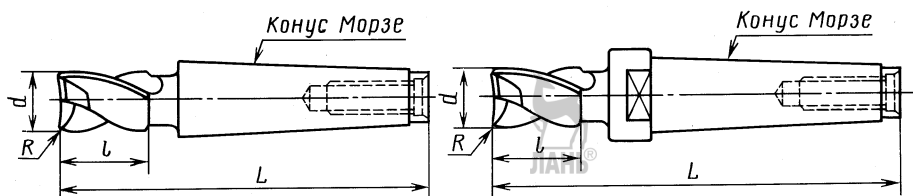
Независимо от серии фрез разность длин  $L-l$  должна быть постоянной и равна указанной ниже.

Диаметр рабочей части $d$	$L-l$	
	Ряд	
	1	2
От 2 до 4 вкл.	32	44
« 4 « 5 «	34	
« 5 « 6 «	44	
« 6 « 8 «		50
« 8 « 10 «	50	
« 10 « 14 «	57	
« 14 « 18 «	60	
« 18 « 22 «	66	
« 22 « 28 «	76	

Продолжение табл. 3П

От 28 до 36 вкл.	80	
« 36 « 45 «	92	
« 45 « 56 «	102	
« 56 « 63 «	102	112
« 63 « 70 «	112	

**Основные размеры шпоночных фрез исполнения 4, мм**



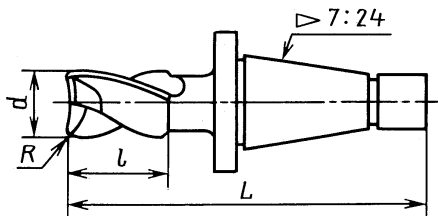
d	Короткая серия		Нормальная серия		Конус Морзе	R, не более	
	l	L	l	L			
		Ряд		Ряд			
		1	2	1	2		
6	8	78		13	83		0,2
7	10	80		16	86		
8	11	81		19	89		
10	13	83		22	92		
12; 14	16	86		26	96		0,3
		101			111		
16; 18	19	104		32	117		
20; 22	22	107		38	123		
		124			140		
24; 25; 28	26	128		45	147		0,8
32; 36	32	134		53	155		
		157	180		178	201	
40; 45	38	163	186	63	188	211	
		196	224		221	249	
50; 56/	45	170	193	75	200	223	4
		203	231		233	261	
63; 70	53	211	239	90	248	276	1,2

Примечание. Допускается заменять радиус R фаской  $c \times 45^\circ$  при  $c = R$ .

Независимо от серии фрез разность длин  $L-l$  должна быть постоянной и равна указанной ниже.

Продолжение табл. 3П

Конус Морзе	1	2	3	4		5	
				Ряд		Ряд	
				1	2	1	2
L-1	70	85	102	125	148	158	186

**Основные размеры шпоночных фрез исполнения 5, мм**

d	Короткая серия		Нормальная серия		Конус 7:24	R, не более
	l	L	l	L		
24; 25; 28	26	131	45	150	30	0,4
32; 36	32	137	53	158	40	
		167		208	45	
		187		40	50	
40; 45	38	173	198			40
		193	218			45
		215	240	50		
50; 56	45	180	75	210	40	
		200		230	45	
		222		252	50	
63; 71	53	208	90	245	45	1,2
		230		267		
80	63	240	106	283	50	2,0

Примечание. Допускается заменять радиус R фаской  $c \times 45^\circ$  при  $c = R$ .

Независимо от серии фрез разность длин  $L-l$  должна быть постоянной и равна указанной ниже.

Конус 7:24	30	40	45	50
L-l	105	135	155	177

Пример условного обозначения праворежущей шпоночной фрезы диаметром 3 мм, исполнения 1, с хвостовиком диаметром 4 мм, общей длиной 37 мм для обработки шпоночного паза с полем допуска N9:

**Фреза 3-1-4-37-N9 ГОСТ Р 53003-2008**

Пример условного обозначения праворежущей шпоночной фрезы диаметром 14 мм, исполнения 4, общей длиной 111 мм для обработки шпоночного паза с полем допуска N9:

**Фреза 14-4-111-N9 ГОСТ Р 53003-2008**

*Продолжение табл. 3П*

Пример условного обозначения праворежущей шпоночной фрезы диаметром 32 мм, исполнения 5, общей длиной 188 мм для обработки шпоночного паза с полем допуска N9:

***Фреза 32-5-188-N9 ГОСТ Р 53003–2008***

Фрезы следует изготавливать праворежущие, леворежущие – по заказу потребителя. Угол наклона винтовых канавок 20°. Допускается изготавливать фрезы с углом наклона винтовых канавок 25°.

Размеры и предельные отклонения хвостовиков фрез исполнений 1, 2, 3 – по ГОСТ Р 52965. Размеры конусов Морзе – по ГОСТ 25557. Размеры конусов 7:24 – по ГОСТ 25827. Центровые отверстия – по ГОСТ 14034, форма А.

Фрезы следует изготавливать из быстрорежущей стали по ГОСТ 19265.

Допускается изготавливать фрезы из других марок быстрорежущей стали, обеспечивающих стойкость фрез в соответствии с настоящим стандартом. Фрезы диаметром свыше 14 мм следует изготавливать сварными. В месте сварки не допускаются раковины, непровар, поджог и пережог металла, кольцевые трещины и свищи. Хвостовики сварных фрез следует изготавливать из стали марки 40Х по ГОСТ 4543 или из стали 45 или 50 по ГОСТ 1050.

Твердость рабочей части фрез должна быть:

62...65 HRC – для фрез диаметром до 8 мм вкл.; 63...66 HRC – св. 8 мм.

Твердость рабочей части фрез из быстрорежущей стали с содержанием ванадия не менее 3 % и кобальта не менее 5 % должна быть выше на 1–2 единицы HRC.

Твердость цилиндрического хвостовика цельных (несварных) фрез должна быть 37...57 HRC, торцовой части конического хвостовика – 32...52 HRC.

Твердость цилиндрического хвостовика сварных фрез на участке не менее ½ длины от торца хвостовика и торцовой части конических хвостовиков должна быть 32...52 HRC.

Допускается изготавливать цельные фрезы диаметром от 2 до 8 мм включительно с твердостью цилиндрического хвостовика, равной твердости рабочей части.

Шлифованные поверхности фрез не должны иметь забоин, трещин, заусенцев, черновин, выкрошенных мест, следов коррозии, а режущая часть – прижогов.

Параметры шероховатости поверхностей фрез по ГОСТ 2789 должны быть, мкм, не более:

*Rz* 3,2 – для передних и задних поверхностей режущей части;

*Ra* 0,63 – для поверхности хвостовика;

*Rz* 6,3 – для конических поверхностей центровых отверстий;

*Ra* 2,5 – для поверхности шейки;

*Rz* 10 – для поверхностей спинок зубьев и стружечных канавок;

*Rz* 20 – для остальных поверхностей.



Продолжение табл. 3П

Примечание. Для фрез диаметром св. 12 мм параметр шероховатости передних поверхностей должен выдерживаться на высоте не менее 2 мм от режущей кромки.

На задней поверхности зубьев фрез вдоль главных режущих кромок допускается цилиндрическая ленточка шириной не более 0,05 мм.

Предельные отклонения размеров фрез должны быть, мм, не более:

f8 – для диаметра рабочей части фрезы для обработки паза с допуском по N9;

e8 – для диаметра рабочей части фрезы для обработки паза с допуском по P9;

$j_s$  16 – для общей длины фрезы L;

степени точности AT8 по ГОСТ 2848 – для конуса Морзе;

степени точности AT5 по ГОСТ 19860 – для конуса 7:24.

Для фрез с цилиндрическим хвостовиком, изготавливаемых без шейки, предельное отклонение диаметра хвостовика должно быть в пределах поля допуска диаметра рабочей части фрезы.

Рекомендуются диаметры рабочей части фрез от 2 до 10 мм включительно изготавливать ближе к нижнему предельному отклонению полей допусков e8 и f8.

Допускаемое уменьшение диаметра фрезы по направлению к хвостовику (обратная конусность) не должно быть более 0,02 мм на длине рабочей части.

Увеличение диаметра по направлению к хвостовику (прямая конусность) на рабочей части фрезы не допускается.

Допуск радиального биения режущих кромок зубьев относительно оси хвостовика должен быть не более 0,02 мм.

Допуск торцового биения режущих кромок зубьев относительно оси хвостовика должен быть, мм, не более:

0,03 – для фрез диаметром до 22 мм вкл.; 0,04 – св. 22 мм.

Средний  $T$  и установленный  $T_v$  периоды стойкости при условиях испытаний, приведенных в ГОСТе, должны соответствовать указанным ниже.

Диаметр фрезы, мм	$T$ , мин	$T_v$ , мин
2	10	4
3	12	5
4	15	6
5	17	7
6	45	18
7; 8	50	20
От 10 до 25 вкл.	60	24
Св. 25	70	28

Критерием отказа фрез является превышение предельных отклонений размеров обрабатываемого шпоночного паза, указанных в ГОСТ 23360, и значений параметров шероховатости.

**4П. Фрезы для обработки Т-образных пазов по ГОСТ Р 53004–2008**

Стандарт распространяется на фрезы из быстрорежущей стали для обработки Т-образных пазов по ГОСТ 1574.

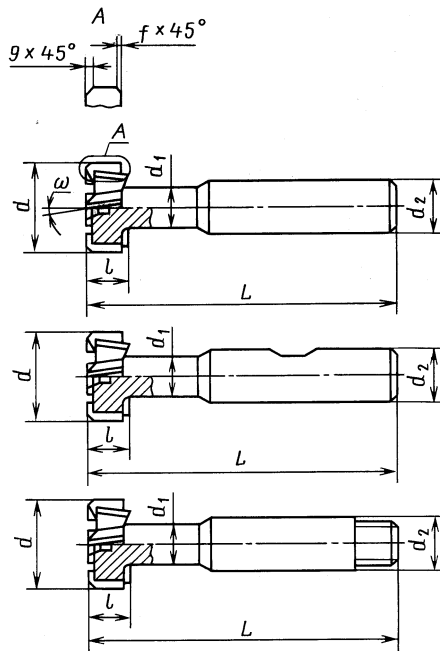
Фрезы следует изготавливать типов: 1 – с нормальными зубьями; 2 – с крупными зубьями.

Фрезы типа 1 изготавливают исполнений:

- 1 – с гладким цилиндрическим хвостовиком;
- 2 – с цилиндрическим хвостовиком с лыской;
- 3 – с цилиндрическим хвостовиком с резьбой;
- 4 – с коническим хвостовиком Морзе.

Фрезы типа 2 изготавливают только исполнения 4 – с коническим хвостовиком Морзе.

**Основные размеры фрез исполнений 1, 2, 3, мм**

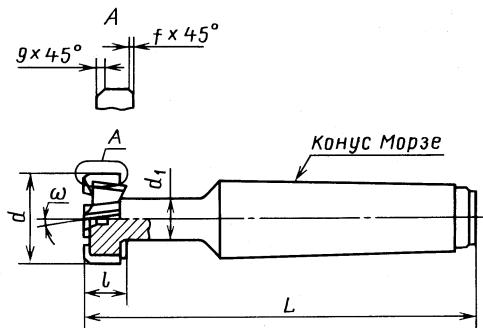


Номинальный размер Т-образного паза	$d$ h12	$d_1$ не более	$d_2$	$l$ h12	$L$	$f$ , не более	$g$ , не более	Число зубьев
5	11,0	4	10	3,5	53,5	0,6	1,0	6
6	12,5	5		6,0	57,0			
8	16,0	7		8,0	62,0			
10	18,0	8			12			

Продолжение табл. 4П

12	21,0	10	12	9,0	74,0	0,6	1,0	8
14	25,0	12	16	11,0	82,0		1,6	
18	32,0	15		25	14,0	90,0	1,0	
22	40,0	19	32	18,0	108,0			
28	50,0	25		22,0	124,0			
36	60,0	30		28,0	139,0			

## Основные размеры фрез исполнения 4, мм



Номинальный размер Т-образного паза	$d$ h12	$d_1$ , не более	$l$ h12	$L$	$f$ , не более	$g$ , не более	Конус Морзе	Число зубьев		
								1	2	
6	12,5	5	6	73	0,6	1,0	1	6	—	
8	16,0	7	7	77					4	
10	18,0	8	8	82		1,0	1,6	2	8	6
12	21,0	10	9	98						
14	25,0	12	11	103	2,5		3	4	—	8
18	32,0	15	14	111						
22	40,0	19	18	138	1,6	4,0	5	—	8	
28	50,0	25	22	173						
36	60,0	30	28	188	2,0	6,0	5	—	8	
42	72,0	36	35	229						
48	85,0	42	40	240						
54	95,0	44	44	251						

Продолжение табл. 4П

Пример условного обозначения фрезы типа 1, исполнения 1, с номинальным размером паза 6 мм:

**Фреза 1 - 1 - 6 ГОСТ Р 53004 – 2008**

То же, исполнения 2:

**Фреза 1 - 2 - 6 ГОСТ Р 53004 – 2008**

То же, исполнения 3:

**Фреза 1 - 3 - 6 ГОСТ Р 53004 – 2008**

То же, исполнения 4:

**Фреза 1 - 4 - 6 ГОСТ Р 53004 – 2008**

То же, фрезы типа 2, исполнения 4, с номинальным размером паза 12 мм:

**Фреза 2 - 4 - 12 ГОСТ Р 53004 – 2008**

Хвостовики фрез исполнений 1,2,3 – по ГОСТ Р 52965.

Размеры конусов Морзе – по ГОСТ 25557. Центровые отверстия по ГОСТ 14034. Фрезы типа 1 изготавливают с углом наклона стружечной канавки  $\omega = 10^\circ$ ; фрезы типа 2 – с углом наклона стружечной канавки  $\omega = 15...25^\circ$ .

Фрезы следует изготавливать из быстрорежущей стали по ГОСТ 79265 сварными. В месте сварки не допускаются раковины, непровар, поджог и пережог металла, кольцевые трещины и свищи.

Фрезы исполнений 1, 2, 3 для пазов с номинальным размером до 12 мм включительно допускается изготавливать цельными.

Хвостовики сварных фрез следует изготавливать из стали 40Х по ГОСТ 4543 или из стали 45 по ГОСТ 1050.

Твердость рабочей части фрез должна быть 63...66 HRC.

Твердость рабочей части фрез из быстрорежущей стали с содержанием ванадия не менее 3 % и кобальта не менее 5 % должна быть выше на 1–2 единицы HRC.

Твердость цилиндрического хвостовика цельных (несварных) фрез должна быть 37...57 HRC.

Твердость цилиндрического хвостовика сварных фрез на участке не менее 1/2 длины от торца хвостовика и торцевой части конического хвостовика должна быть 32...52 HRC.

На рабочей поверхности фрез не должно быть обезуглероженного слоя и мест с пониженной твердостью.

На поверхности фрез не должно быть трещин, следов коррозии; на шлифованных поверхностях – черновин, выкрошенных мест; на режущих кромках – забоин, прижогов; на хвостовике и центровых отверстиях – заусенцев.

Параметры шероховатости поверхностей фрез по ГОСТ 2789 должны быть, мкм, не более:

*Rz* 3,2 – для передних и задних поверхностей зубьев;

*Ra* 0,63 – для поверхности хвостовика;

*Rz* 10 – для поверхностей спинок зубьев, шейки и стружечных канавок;

*Rz* 20 – для остальных поверхностей.

Окончание табл. 4П

На задней поверхности зубьев фрез вдоль режущих кромок допускается цилиндрическая ленточка шириной не более 0,05 мм.

Предельные отклонения размеров фрез должны быть, мм, не более:

$\pm IT\ 16/2$  – для длины фрезы  $L$ ;

степени точности АТ8 по ГОСТ 2848 – для конуса Морзе.

Допуск радиального биения главных режущих кромок зубьев фрез относительно оси хвостовика должен быть, мм, не более:

0,02 – на двух смежных зубьях – для фрез диаметром до 40 мм вкл.;

0,04 – на всей фрезе для фрез диаметром до 40 мм вкл.;

0,03 – на двух смежных зубьях – для фрез диаметром св. 40 мм;

0,05 – на всей фрезе для фрез диаметром св. 40 мм.

Допуск торцового биения рабочей части фрез относительно оси хвостовика должен быть, мм, не более:

0,04 – для фрез диаметром до 40 мм вкл.; 0,05 – св. 40 мм.

Средний  $T$  и установленный  $T_y$  периоды стойкости фрез при обработке чугуна СЧ 18 и стали 45 должны быть:  $T = 60$  мин,  $T_y = 25$  мин.

Критерием затупления фрез является достижение допустимого износа по задней поверхности, указанного ниже.

Диаметр фрезы $d$	Допустимый износ при обработке	
	чугуна	стали
11,0	0,40	-
12,5	0,45	-
16,0	0,50	-
18,0	0,55	0,40
21,0	0,60	0,45
25,0	0,70	0,50
32,0	0,80	0,60
40,0	0,90	0,65
50,0	1,00	0,75
60,0	1,10	0,85
72,0	–	1,00
85,0	–	1,10
95,0	–	1,20

**5П. Фрезы для обработки пазов сегментных шпонок по ГОСТ Р 53412–2009 (ИСО 12197:1996)**

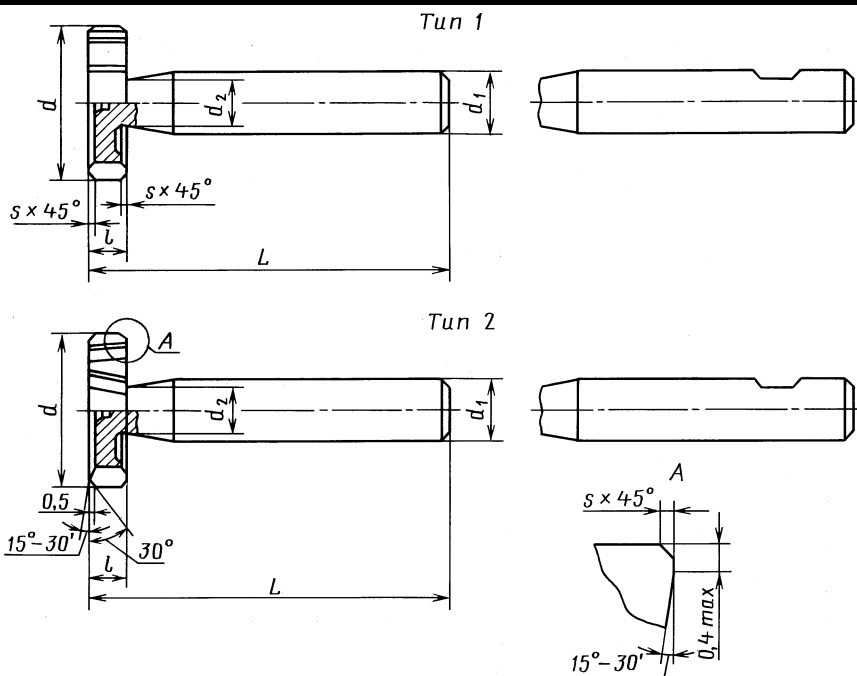
Стандарт распространяется на фрезы, предназначенные для обработки пазов под сегментные шпонки по ГОСТ 24071.

Фрезы следует изготавливать типов: 1 – с прямым зубом; 2 – с разнонаправленным зубом.

По форме хвостовика фрезы каждого типа изготавливают исполнений:

- 1 – с гладким цилиндрическим хвостовиком;
- 2 – с цилиндрическим хвостовиком с лыской.

**Основные размеры фрез, мм**



Номинальный размер шпонки (диаметр × ширина)	d		l	L	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	s, не более
	Номин.	Пред. откл.					
4 × 1,0	4	+0,5 +0,4	1,0	50	6	1,8	0,12
7 × 1,5	7		1,5			2,8	
7 × 2,0			2,0			3,2	
10 × 2,0			10			2,0	
10 × 2,5	2,5						
13 × 3,0	13		3,0			56	
16 × 3,0	16	3,0					

Продолжение табл. 5П

16 × 4,0	16	+0,5	4,0	56	10	4,6	0,20
16 × 5,0		+0,4	5,0			5,0	
19 × 4,0	19	+0,5 +0,3	4,0	63		5,6	
19 × 5,0			5,0			6,0	
22 × 5,0	22		5,0			6,5	
22 × 6,0			6,0			7,5	
25 × 6,0	25		6,0			8,5	
28 × 8,0	28		8,0			9,3	
32 × 10,0	32		10,0		71	12	0,32

Примечания: 1. Фаски  $0,5 \times 30^\circ$  и  $s \times 45^\circ$  на соседних зубьях выполняются в шахматном порядке. 2. Допускается фаску  $s \times 45^\circ$  заменить радиусом  $r$ , равным  $s$ .

Пример условного обозначения фрезы для шпонки с номинальными размерами  $4 \times 1,6$  мм, типа 1, исполнения 1, с полем допуска по N9:

**Фреза  $4 \times 1,0 - 1 - 1 - N9$  ГОСТ Р 53412 – 2009**

То же, для паза с полем допуска по P9:

**Фреза  $4 \times 1,0 - 1 - 1 - N9$  ГОСТ Р 53412 – 2009**

Фрезы типа 2 изготавливают с углом наклона стружечной канавки  $15^\circ$ .

Размеры и предельные отклонения хвостовиков фрез – по ГОСТ Р 52965. Центровые отверстия – по ГОСТ 14034.

Фрезы следует изготавливать из быстрорежущей стали по ГОСТ 19265. Фрезы диаметром не менее 13 мм следует изготавливать сварными. В месте сварки не допускаются раковины, непровар, кольцевые трещины, поджог и пережог металла.

Допускается изготавливать фрезы цельными.

Хвостовики сварных фрез следует изготавливать из стали марки 40X по ГОСТ 4543 или стали марок 45 и 50 по ГОСТ 1050.

Твердость рабочей части фрез:

62...65 HRC – для диаметров до 10 мм;

63...66 HRC – для диаметров св. 10 мм.

Твердость рабочей части фрез из быстрорежущей стали с содержанием ванадия не менее 3 % и кобальта не менее 5 % должна быть выше на 1–2 единицы HRC.

Твердость хвостовика цельных (несварных) фрез должна быть 36... 56 HRC.

Твердость хвостовика сварных фрез на участке не менее 1/2 длины от торца хвостовика должна быть 32... 52 HRC.

На рабочей поверхности фрез не должны быть обезуглероженный слой и места с пониженной твердостью.

Параметры шероховатости поверхностей фрез по ГОСТ 2789 должны быть, мкм, не более:

$Rz$  3,2 – для передних, задних главных и вспомогательных поверхностей режущей части;

$Ra$  0,63 – для поверхности хвостовика;

Окончание табл. 5П

$Rz\ 10$  – для поверхностей спинок зубьев, шейки и стружечных канавок;

$Rz\ 20$  – для остальных поверхностей.

На задней поверхности зубьев фрез вдоль главных режущих кромок допускается цилиндрическая ленточка шириной не более 0,05 мм.

Предельные отклонения размеров фрез должны быть, мм, не более:

$f_8$  – для длины рабочей части фрезы  $l$  для обработки паза с полем допуска по N9;

$e_8$  – для длины рабочей части фрезы  $l$  для обработки паза с полем допуска по P9;

$j_s\ 16$  – для общей длины фрезы  $L$ .

По заказу потребителя допускается изготавливать фрезы для обработки пазов с полем допуска по ПШ. Предельные отклонения длины рабочей части фрезы для обработки паза по ПШ приведены в приложении А.

Допуск радиального биения режущих кромок двух смежных зубьев относительно оси хвостовика должен быть не более 0,03 мм, двух противоположных зубьев – не более 0,05 мм.

Допуск торцового биения режущих кромок относительно оси хвостовика должен быть не более 0,02 мм.

Средняя наработка до отказа и установленная безотказная наработка фрез из стали марки Р6М5 при условиях испытаний, приведенных в ГОСТе, должны быть не менее указанных ниже.

Диаметр фрезы $d$ , мм	Средняя наработка до отказа	Установленная безотказная наработка
	Число пазов	
До 13 вкл.	50	20
Св. 13 до 19 вкл.	70	28
Св. 19	100	40

Критерием затупления фрез является технологический износ – выход ширины паза за нижний предельный размер.



Справочное издание

**БЕРДНИКОВ Л.Г., БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ В.Ф., КРЫЛОВ В.Н.,  
БОЛЬШАКОВ Е.М., МОТРЕНКО П.Д.**

## **СПРАВОЧНИК ФРЕЗЕРОВЩИКА**

Редактор *Е.М. Нуждина*

Дизайнер *Н.А. Свиридова*

Технический редактор *Г.Ю. Корабельникова*

Корректор *М.Я. Барская*

Сдано в набор 18.03.09. Подписано в печать 14.04.10.

Формат 70×100 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 22,1. Уч.-изд. л. 21,7.

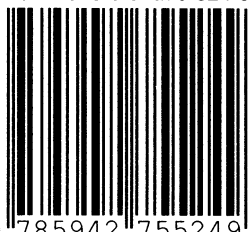
Тираж 1000. Заказ

ООО «Издательство Машиностроение»,  
107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Отпечатано в ГУП ППП «Типография "Наука"» РАН,  
121099, Москва, Шубинский пер., 6



ISBN 978-5-94275-524-9



9 785942 755249