



# Основы процесса фрезерования



Оборудование и  
инструмент

# Что такое

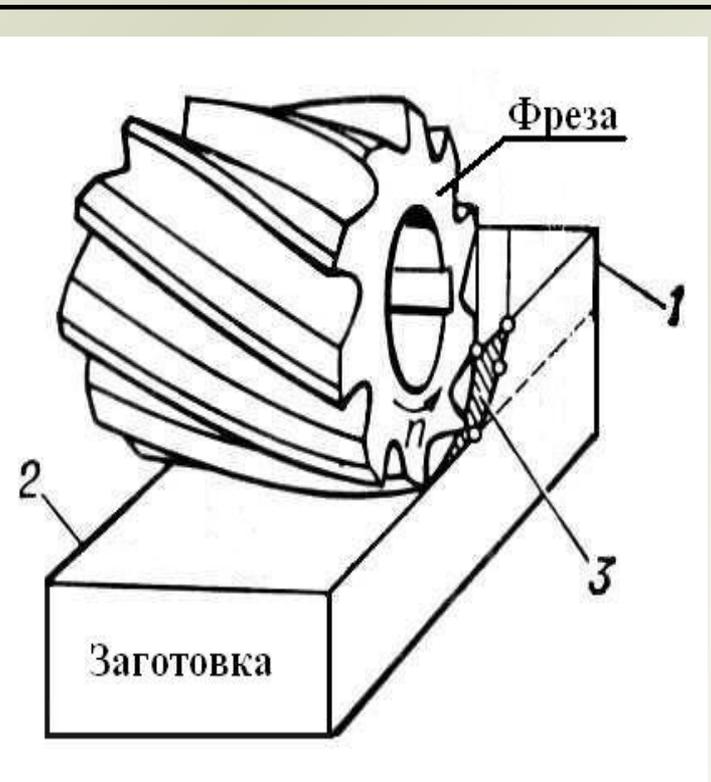
## фрезерование?

**Фрезерование** (фрезерная обработка) — обработка резанием металлических и неметаллических материалов при котором режущий инструмент - фреза - имеет вращательное движение, а обрабатываемая заготовка - поступательное.

В процессе фрезерования участвуют два объекта — **фреза и заготовка**.  
Заготовка — это будущая деталь.

Фреза и фрезерование изобретены в Германии и Австрии в XVII—XVIII веке, так как фрезерование требовало прочной станины станка с точными подшипниками, а радиально-упорные подшипники изобрёл Леонардо да Винчи.

Официальным изобретателем фрезерного станка является англичанин *Эли Уитни* который получил патент на такой станок в 1818 г.



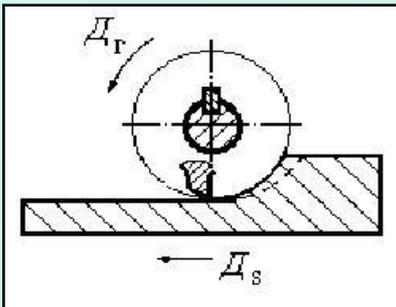
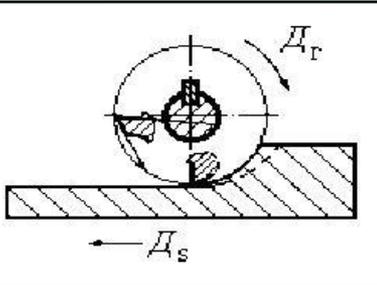
- 1 – обрабатываемая поверхность,
- 2 – обработанная поверхность,
- 3 – поверхность резанья

# Классификация фрезерования

1. По направлению  
вращения фрезы

1.1 Попутное

1.2 Встречное

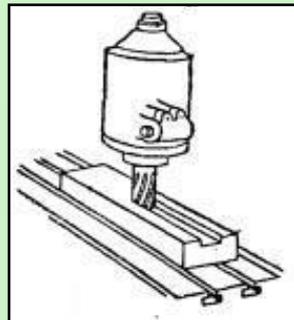
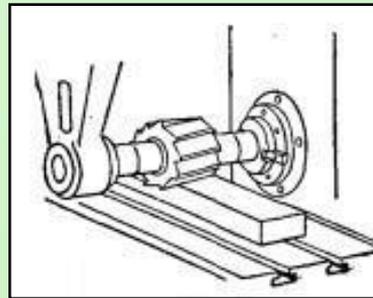


2. По расположению  
шпинделя

2.1 Вертикальное

2.2 Горизонтальное

2.3 Под углом



3. По типу  
инструмента

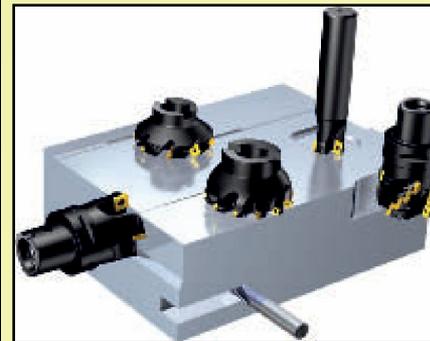
3.1 Концевое

3.2 Торцовое

3.3 Периферийное

3.4 Фасонное

3.5 и т. д.



4. По качеству  
поверхности

4.1 Черновое

4.2 Получистовое

4.3 Чистовое



# Основные параметры процесса фрезерования

**1. Глубина резания  $t$**  - толщина слоя металла, срезаемого за один проход.

**2. Скорость резания  $U$**  - окружная скорость наиболее удаленных от оси фрезы точек режущих кромок.

**3. Скорость подачи  $S$**  - скорость поступательного перемещения заготовки.

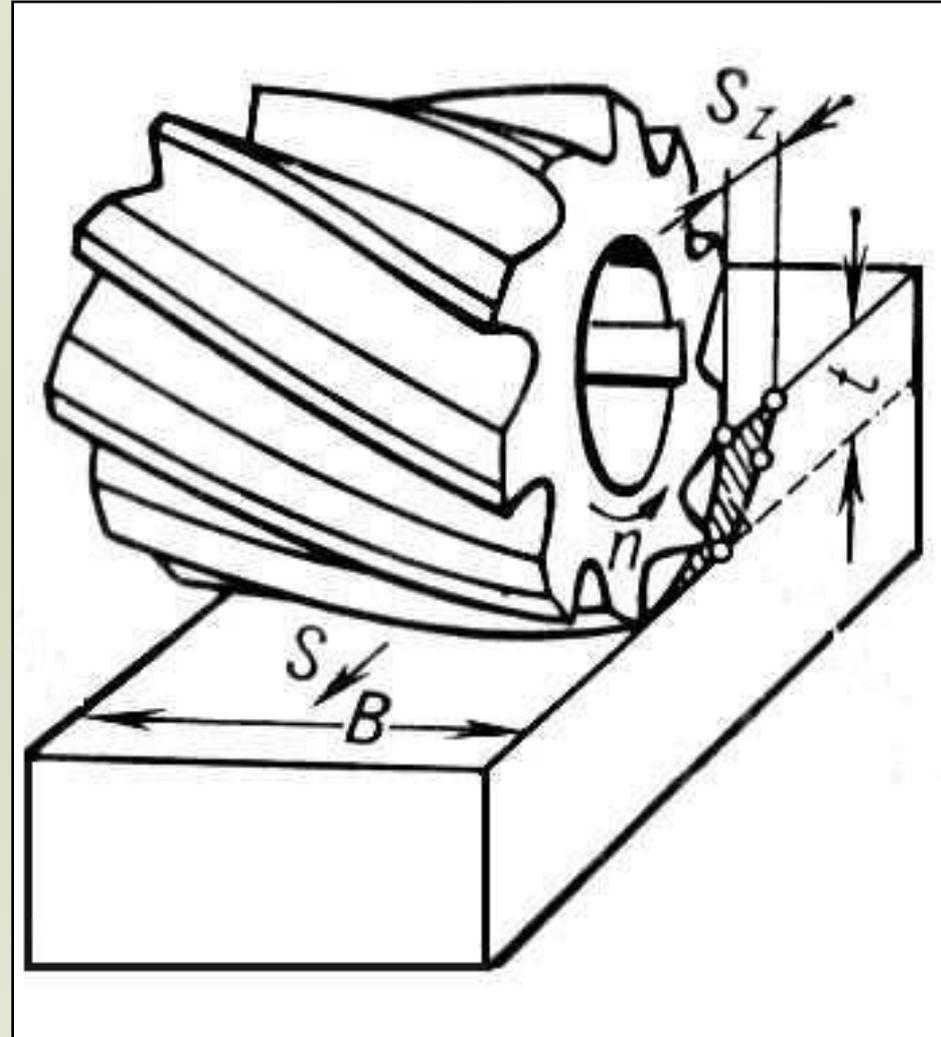
**3.1 Подача на зуб  $S_z$**  (мм/зуб) - величина перемещения заготовки за время поворота фрезы на один зуб,

**3.2 Подача на оборот фрезы  $S_o$**  (мм/об) - величина перемещения заготовки за время одного оборота фрезы

**3.3 Подача в минуту  $S_m$**  (мм/мин) - величина перемещения заготовки в минуту.

**4. Диаметр фрезы  $D_c$**  (мм)

**5. Главный угол в плане  $K_r$**  (градусы)



# Виды фрезерных

## 1. Станки консольно-фрезерные:

1.1 горизонтально-фрезерные (с неповоротным столом);

1.2 горизонтально-фрезерные с поворотным столом (универсальные);

1.3 вертикально-фрезерные;

1.4 широкоуниверсальные.

## 2. Станки вертикально-фрезерные с крестовым столом (бесконсольные).



## 3. Станки продольно-фрезерные:

3.1 одностоечные;

3.2 двухстоечные.

## 4. Фрезерные станки непрерывного действия:

4.1 карусельно-фрезерные;

4.2 барабанно-фрезерные.

5. Станки копировально-фрезерные.

6. Станки шпоночно-фрезерные.

7. Торцефрезерные станки.

8. Станки фрезерные специализированные.





# Режущий инструмент для фрезерования



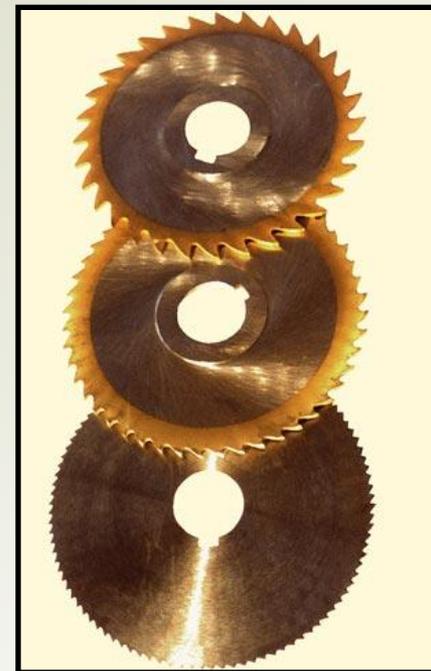
# Что такое

# фреза?



**Фреза** (от франц. fraise) - режущий многозубчатый (многолезвийный) инструмент в виде тела вращения для обработки металлов и других конструкционных материалов резанием (фрезерованием).

Фреза и фрезерование изобретены в Германии и Австрии в XVII—XVIII веке.



# Классификация

## 1. По типу (назначению)

цилиндрические, торцовые, дисковые пазовые (одно-, двух- и трёхсторонние), отрезные (прорезные), концевые, шпоночные, Т-образные пазовые, угловые, фасонные (в т. ч. модульно-дисковые и пальцевые), червячные;



# Классификация фрез

## 2. По конструкции

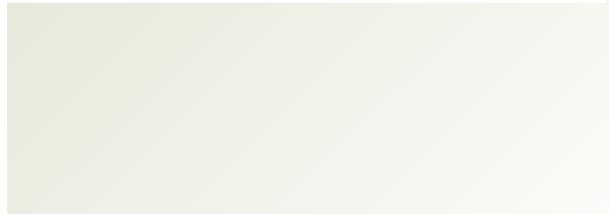
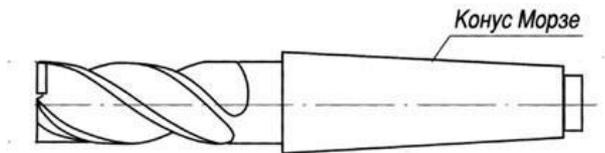
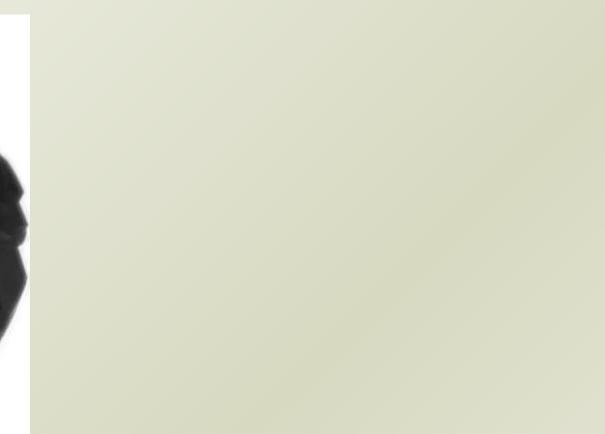
цельные, составные, сборные, со вставными зубьями (ножами), комплектные;



# Классификация

## 3. По способу крепления

насадные, с хвостовиком (конические или цилиндрические);



# Классификация

## фрез

4. По направлению  
винтовых канавок

с правыми и левыми канавками;

5. По сечению зуба

остроконечные, затылованные; по форме зубьев — с прямыми, винтовыми, разнонаправленными зубьями;

6. По материалу  
режущей части

из быстрорежущей стали, твёрдого сплава, композиционного материала.



Нижегородские инструментальные системы

# Типы фрез



Цилиндрическая



Торцевая



Дисковая



Концевая



Угловая



Шпоночная



Фасонная

Название	Изображение	Применение
Цилиндрическая		<p>Обработка плоскостей на станках с горизонтальным шпинделем. Для металла применяют цилиндрические фрезы с винтовыми зубьями, для дерева – с прямыми.</p>
Торцовая		<p>Фрезерование плоскостей (вертикальный шпиндель).</p>
Концевая		<p>Изготовление уступов, криволинейных контуров, выемок. Применяются на вертикально-фрезерных установках.</p>
Дисковая		<p>Выполняют пазы, канавки на горизонтальных станках.</p>
Шпоночная		<p>Делают канавки на машинах с вертикальным расположением шпинделя.</p>
Угловая		<p>Фрезеруют наклонные плоскости, скосы и канавки.</p>
Фасонная		<p>Получение фасонных поверхностей.</p>

- Фрезерование плоских поверхностей можно производить главным образом цилиндрическими фрезами на горизонтально-фрезерных станках, а торцовыми и концевыми фрезами как на горизонтально, так и вертикально-фрезерных станках.
- Плоские поверхности можно фрезеровать торцовыми Плоские поверхности можно фрезеровать торцовыми и цилиндрическими фрезами Плоские поверхности можно фрезеровать торцовыми и цилиндрическими фрезами. Фрезерование торцовыми фрезами более производительно, чем цилиндрическими. Это объясняется тем, что при торцовом фрезеровании происходит одновременное резание металла несколькими зубьями, причем возможно применение фрез большого диаметра с большим числом

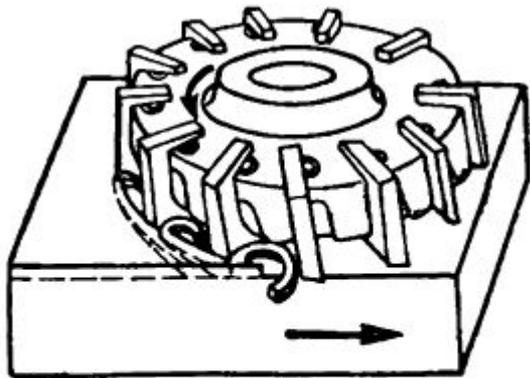


Рис. 83. Торцовая фреза в процессе резания



- Фрезерование цилиндрическими фрезами производится двумя способами. Первый способ — встречное фрезерование (рис. 2, а), когда вращение фрезы направлено против подачи; второй способ — попутное фрезерование (рис. 2, б), когда направление вращения фрезы совпадает с направлением подачи.

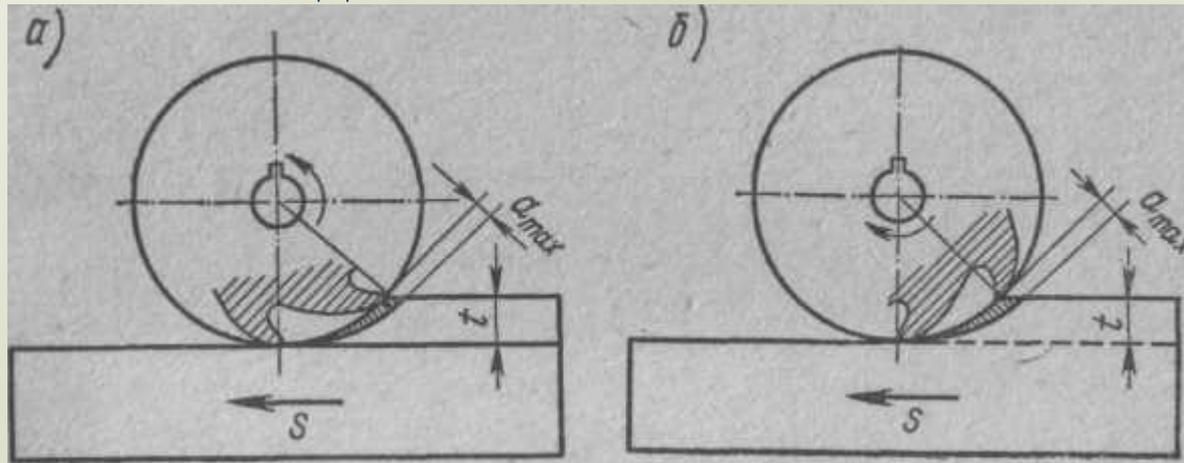


Рис. 2. Схемы фрезерования: а — встречное; б — попутное  
При встречном фрезеровании нагрузка на зуб увеличивается постепенно. При попутном фрезеровании зуб фрезы начинает работать со срезания слоя наибольшей толщины.

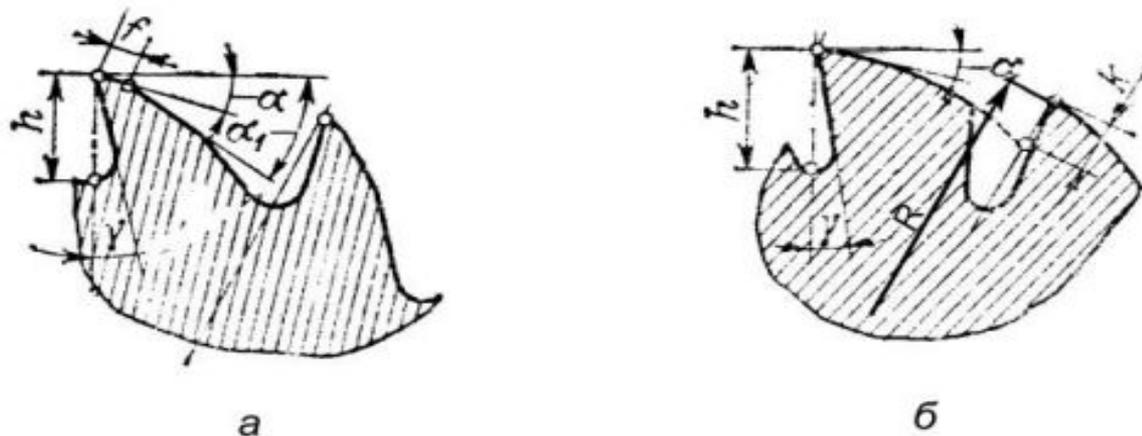


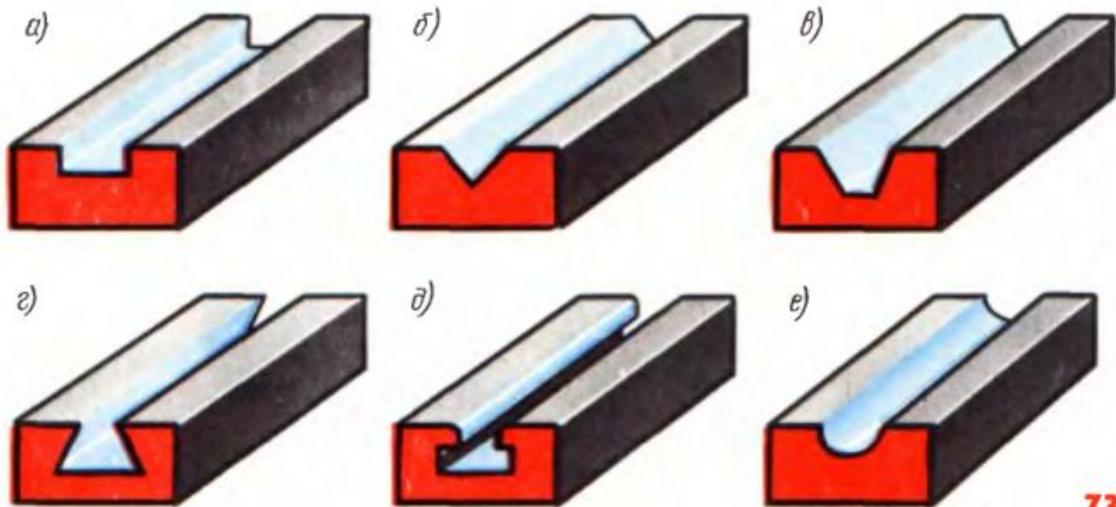
Рис. 2. Формы профилей зубьев: а – острозаточенная; б – затылованная;  
*h* – высота зуба; *γ* – передний угол; *f* – фаска на задней поверхности;  
*R* – радиус фрезы *α*<sub>1</sub> – задний угол спинки зуба

Фрезы общего назначения делаются в основном острозаточенными (остроконечными), и только при обработке фасонных поверхностей применяются затылованные фрезы. Острозаточенные зубья, имеющие прямолинейную или стандартизированную криволинейную форму, затачивают по задней поверхности. Заточка фрез с затылованными зубьями осуществляется по передней поверхности. Прорезные и отрезные фрезы затачиваются по передней и задней поверхностям зубьев.

# Фрезерование пазов и уступов

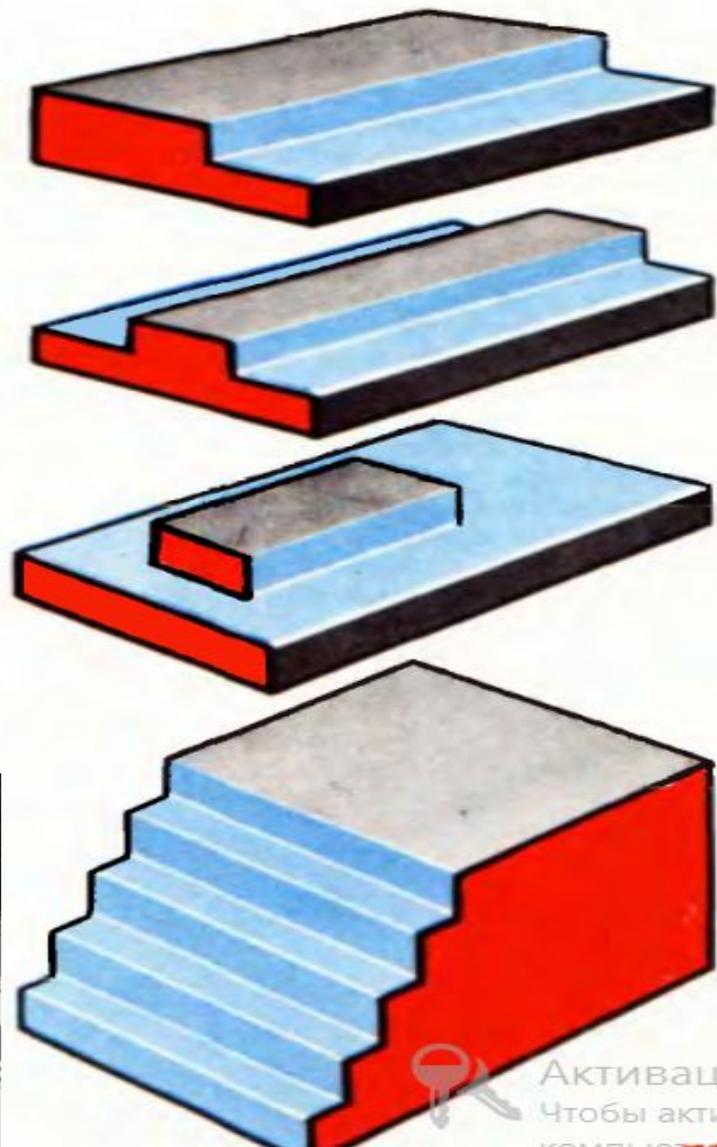
Уступом называют выемку, ограниченную двумя взаимно перпендикулярными плоскостями, образующими ступень. Деталь может иметь один, два и более уступов.

Паз — выемка в детали, ограниченная плоскостями или фасонными поверхностями. В зависимости от формы выемки пазы делятся на прямоугольные, Т-образные и фасонные. Пазы любого профиля могут быть сквозными, открытыми или с выходом и закрытыми.



Пазы

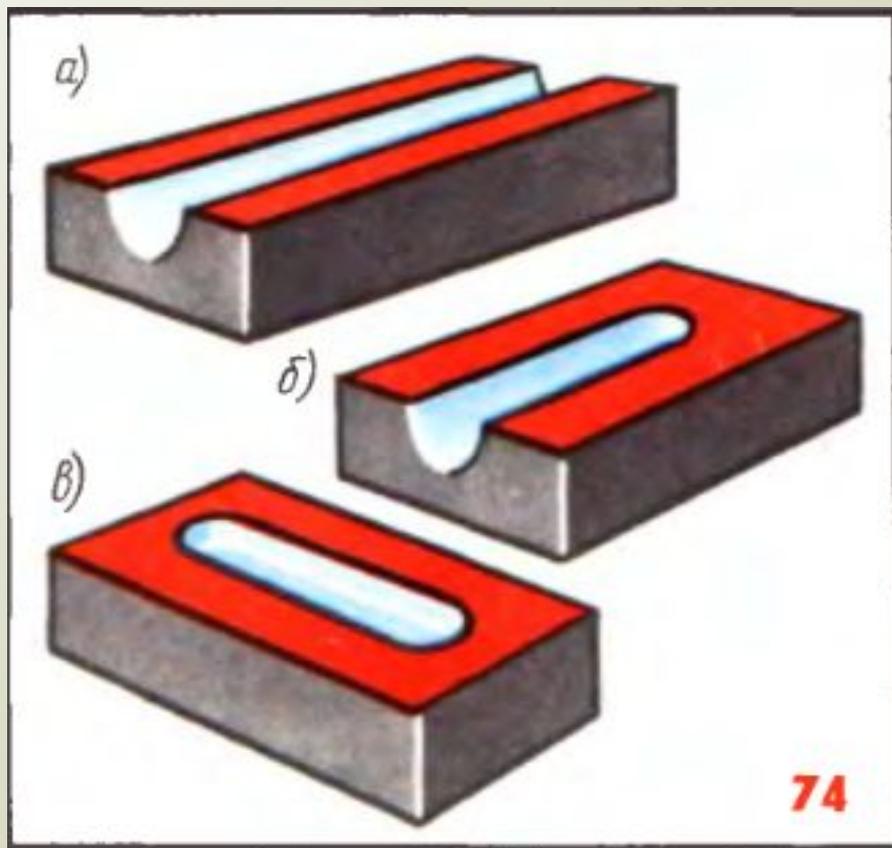
73



Уступы

Активация  
Чтобы активи  
комп

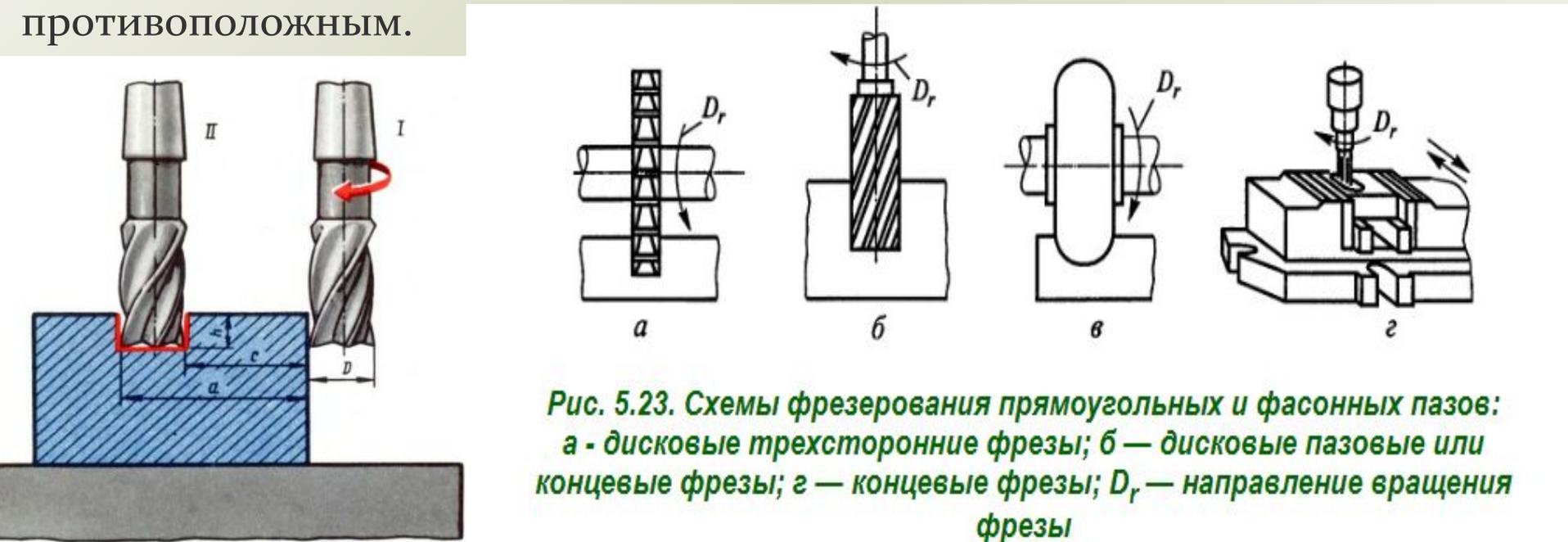
Пазы любого профиля могут быть: а) сквозными, б) открытыми или с выходом и в) закрытыми.



Пазы

Обработка пазов является распространенной операцией на фрезерных станках различных типов и осуществляется дисковыми, концевыми и фасонными фрезами (рис. 5.23).

Сквозные прямоугольные пазы чаще всего фрезеруют дисковыми трехсторонними фрезами (рис. 5.23, а), дисковыми пазовыми или концевыми фрезами (рис. 5.23, б). При фрезеровании точных пазов ширина дисковой фрезы (диаметр концевой фрезы) должна быть меньше ширины паза, а фрезерование на заданный размер производят за несколько проходов. Обработка пазов концевыми фрезами требует правильного выбора направления вращения шпинделя станка относительно винтовых канавок фрез. Оно должно быть взаимно противоположным.



Фрезерование замкнутых пазов производят на вертикально-фрезерных станках концевыми фрезами (рис. 5.23, г). Диаметр фрез следует принимать на 1...2 мм меньше ширины паза. Врезание на заданную глубину резания осуществляют перемещением стола с заготовкой в продольном и вертикальном направлениях, затем включают продольное движение подачи стола и фрезеруют паз на необходимую длину с последующими чистовыми проходами по боковым сторонам паза.

Фрезерование пазов специальных профилей — Т-образных, типа «ласточкин хвост» — осуществляют на вертикально- или продольно-фрезерных станках за три (Т-образные пазы) или два (пазы типа «ласточкин хвост») перехода. Учитывая неблагоприятные условия работы Т-образных и одноугловых фрез, используемых при выполнении указанных операций, подача на зуб  $S$ , не должна превышать 0,03 мм/зуб; скорость резания — 20...25 м/мин.

## Особенности фрезерования шпоночных пазов

Шпоночные пазы на валах подразделяют на сквозные, открытые, закрытые и полузакрытые. Они могут быть призматическими, сегментными, клиновыми и др. (соответственно сечениям шпонок). Заготовки валов удобно закреплять на столе станка в призмах. Для коротких заготовок достаточно одной призмы.

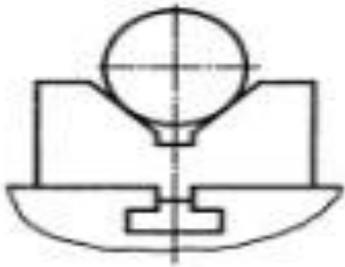
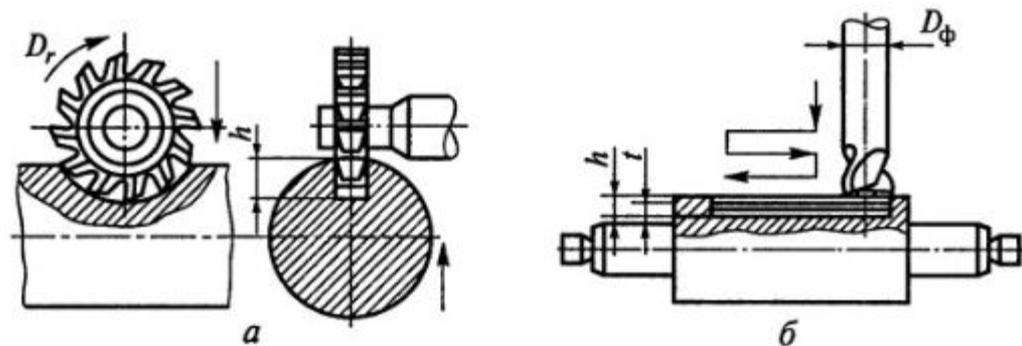


Рис. 5.24. Установка призмы на столе станка

Гнезда под сегментные шпонки фрезеруют хвостовыми и насадными фрезами на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках. Направление движения подачи — только к центру вала (рис. 5.25, а).



**Рис. 5.25. Фрезерование шпоночных пазов:**  
**а** — дисковыми фрезами с вертикальным или поперечным движением подачи; **б** — шпоночными фрезами с маятниковым движением подачи;  $D_r$  — направление движения резания;  $h$  — глубина фрезерования;  $D_ф$  — диаметр концевой фрезы;  $t$  — припуск, снимаемый за один проход инструмента

Для получения точных по ширине пазов обработку ведут на специальных шпоночно-фрезерных станках с маятниковой подачей (рис. 5.25, б). При этом способе фреза врезается на 0,2...0,4 мм и фрезерует паз по всей длине, затем опять врезается на ту же глубину и фрезерует паз на всю длину, но в другом направлении.

Для фрезерования шпоночных пазов рекомендуется применять шпоночные фрезы с  $S_ = 0,02...0,04$  мм/зуб при скорости резания  $v = 15... 20$  м/мин; дисковые пазовые фрезы с  $S_ = 0,03... 0,06$  мм/зуб при скорости резания  $v = 25...40$  м/мин.



Фреза шпоночная

# Фрезерование пазов сложной формы

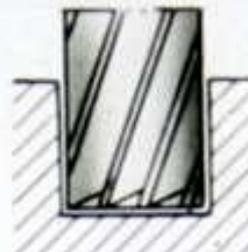
T-образного

1-й переход

1-й вариант  
Дисковой фрезой

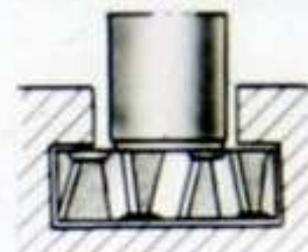


2-й вариант  
Концевой фрезой



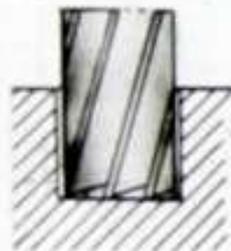
2-й переход

Специальной фрезой

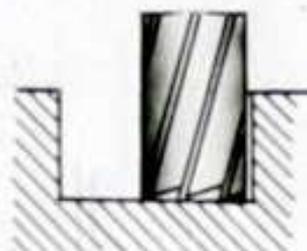


Типа „ласточкин хвост“

1-й переход



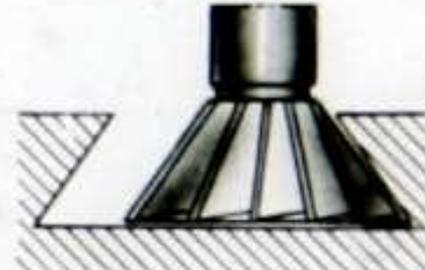
2-й переход



3-й переход



4-й переход



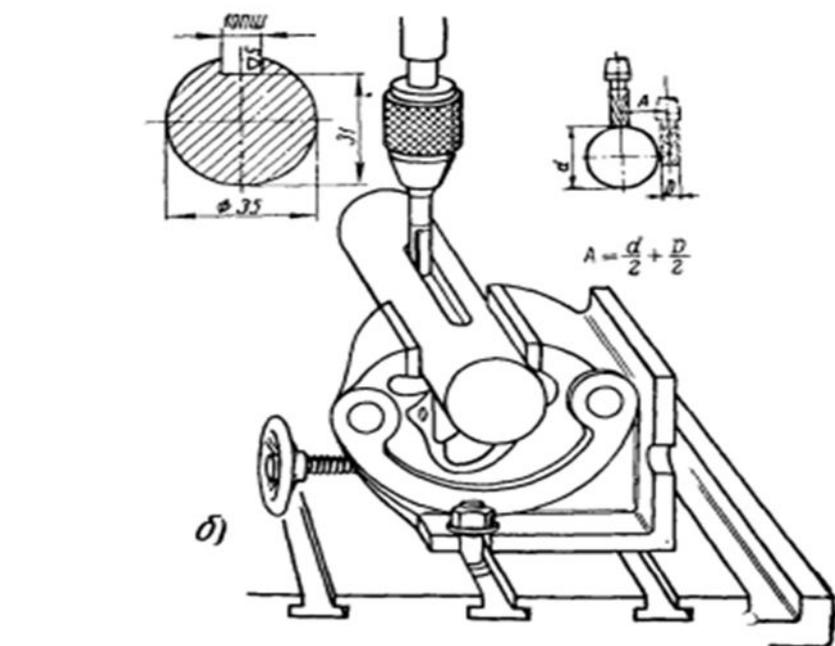
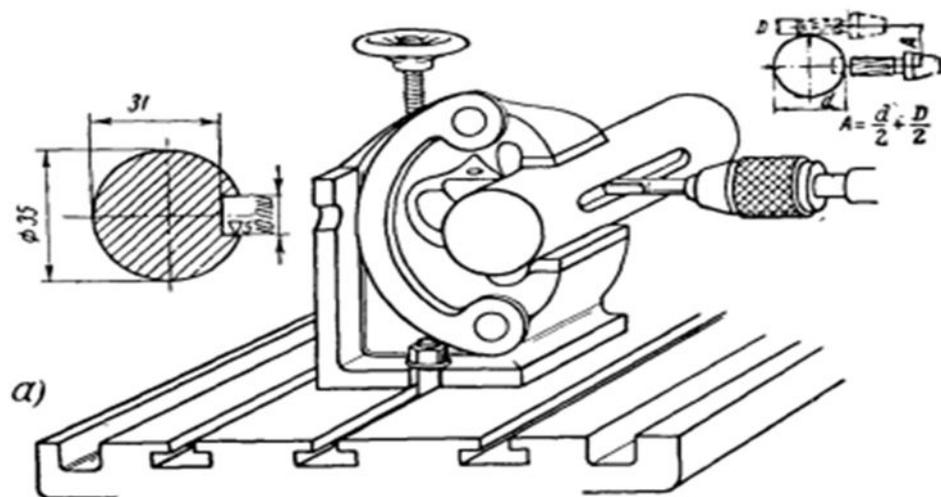
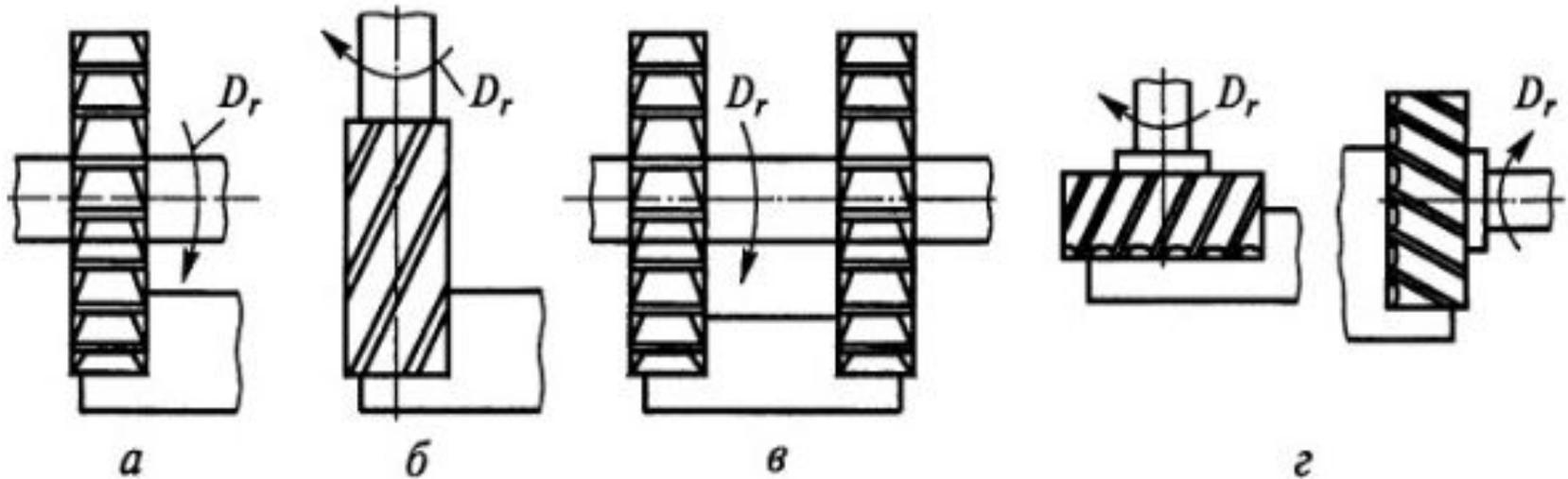


Рис. 137. Фрезерование закрытой шпоночной канавки в валу:  
 а — на горизонтально-фрезерном станке, б — на вертикально-фрезерном станке

## Фрезерование уступов

Две взаимно-перпендикулярные плоскости образуют уступ. На заготовках может быть один или несколько уступов. Обработка уступов — это распространенная операция, которую и осуществляют дисковыми или концевыми фрезами, или набором дисковых фрез (рис. 5.27, а — в) на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках так же, как и обработку пазов. Уступы, имеющие большие размеры, фрезеруют торцовыми фрезами (рис. 5.27, г).



**Рис. 5.27. Схема обработки уступов:**

**а — дисковыми фрезами; б — концевыми фрезами; в — набором фрез;  
г — торцовыми фрезами:  $D_r$  — направление движения резания**

Торцовые фрезы используют при фрезеровании заготовок с широкими уступами на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках. Деталь с симметрично расположенными уступами обрабатывают на двухпозиционных поворотных столах. После фрезерования первого уступа деталь в приспособлении поворачивают на  $180^\circ$ .

Для легкообрабатываемых материалов и материалов средней трудности обработки с большой глубиной фрезерования применяют дисковые фрезы с нормальными и крупными зубьями. Фрезерование труднообрабатываемых материалов следует вести фрезами с нормальными и мелкими зубьями. При фрезеровании уступа следует брать дисковую фрезу, ширина которой на 5...6 мм больше ширины уступа. В этом случае точность размера уступа по ширине не зависит от ширины фрезы.

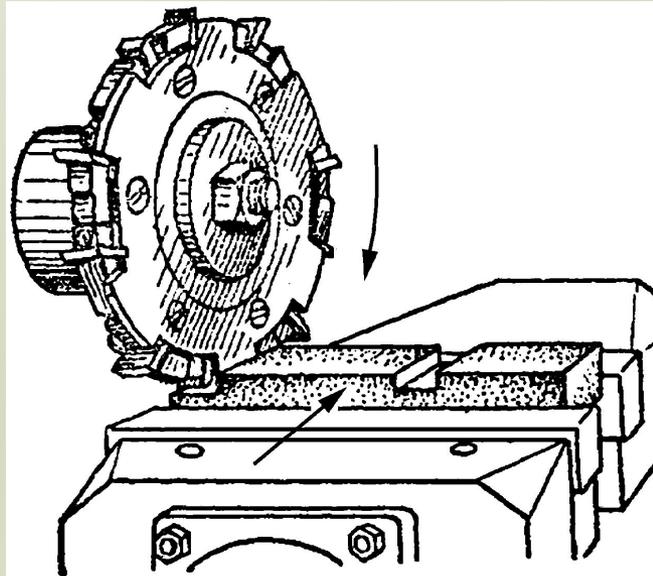
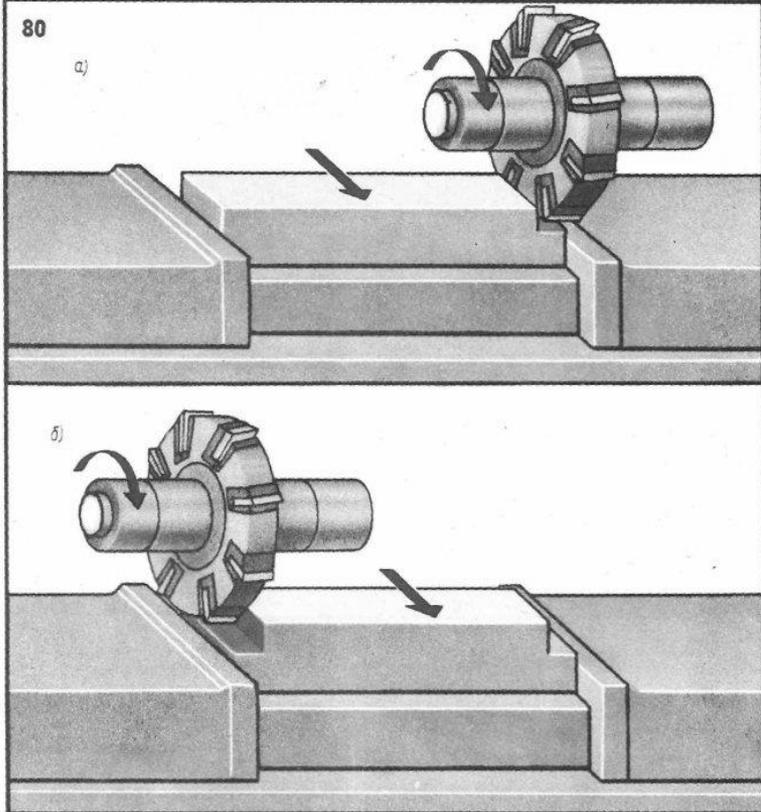


Рис. 5.12. Схема фрезерования уступа дисковой фрезой на горизонтально-фрезерном станке.



Фрезерование уступа дисковой фрезой

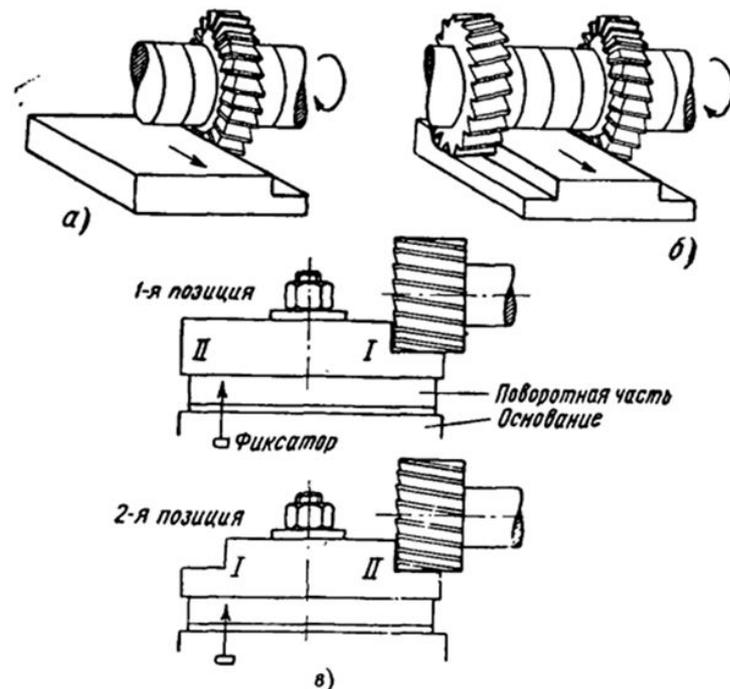


Рис. 134. Варианты обработки уступов:  
 а — одной дисковой фрезой, б — набором двух дисковых фрез,  
 в — в поворотном двухпозиционном приспособлении

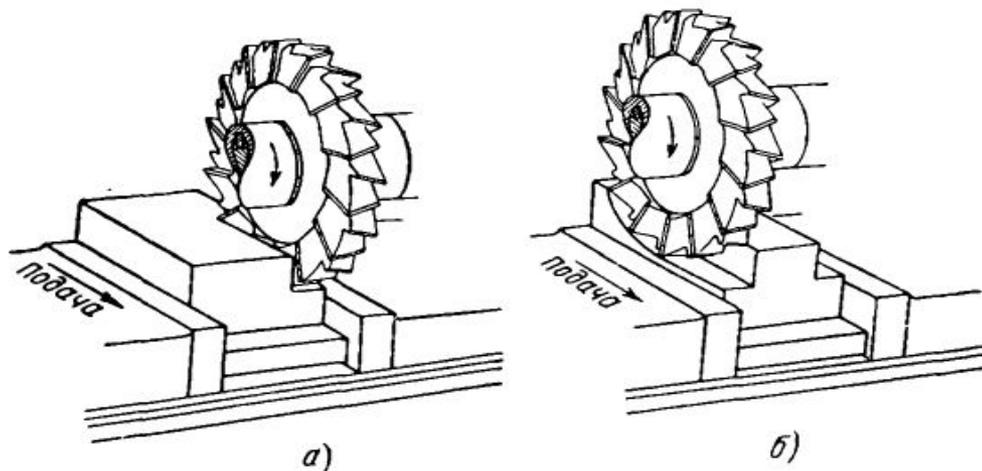
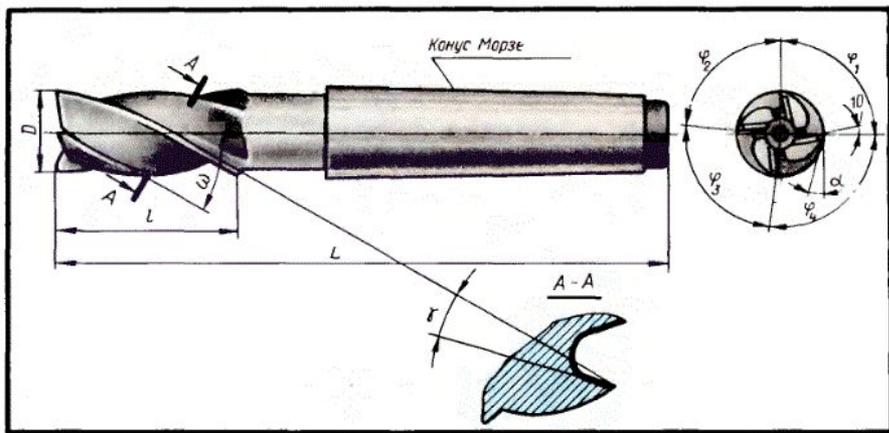
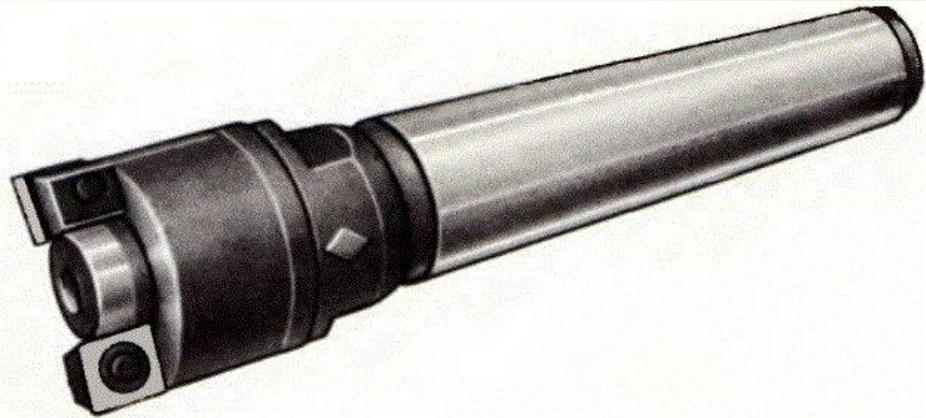


Рис. 127. Фрезерование уступов дисковой фрезой:  
 а — правого, б — левого

Фрезерование уступов можно выполнять концевыми фрезами на вертикально-фрезерном и горизонтально-фрезерных станках.



Концевая фреза с коническим хвостовиком



цилиндрическая концевая фреза с твердосплавными пластинами

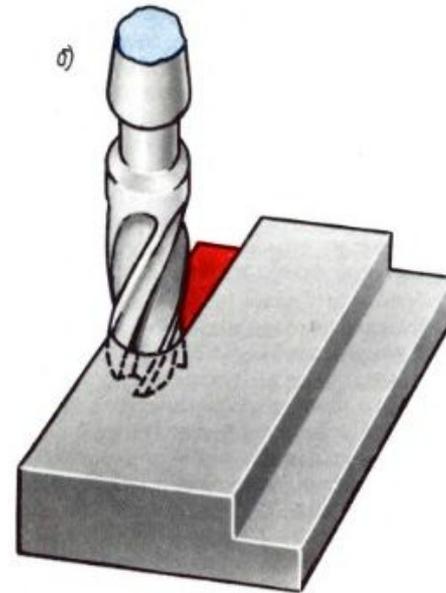
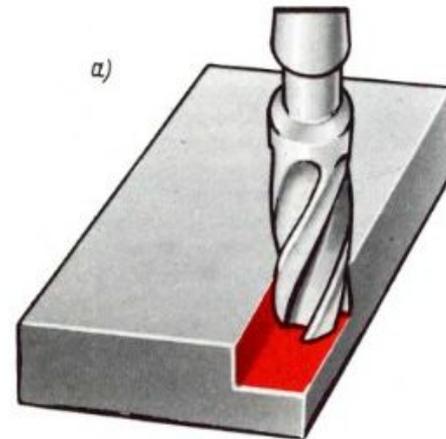
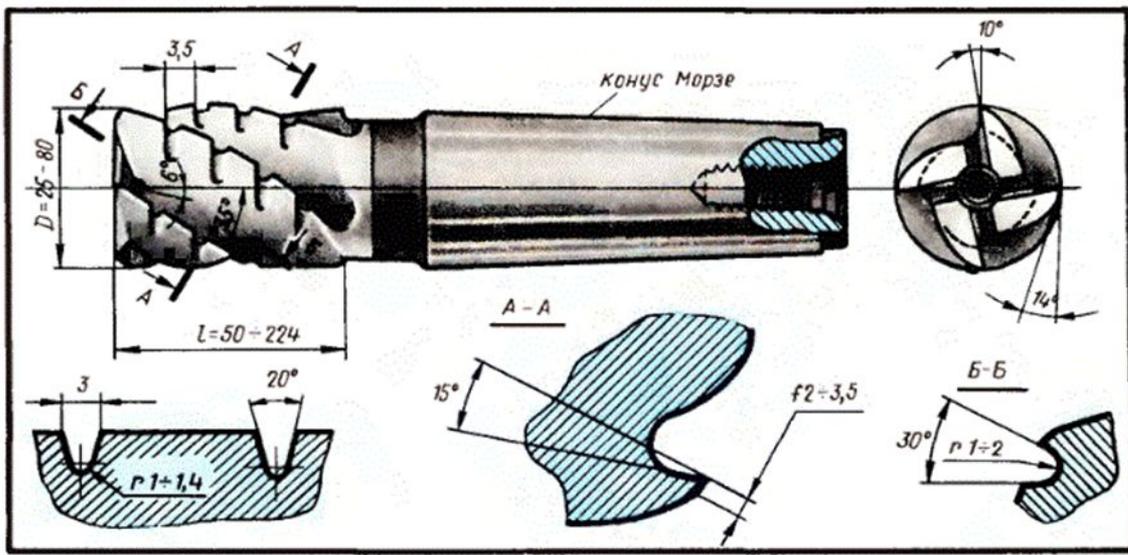


Рис. 66. Фрезерование уступа концевой фрезой



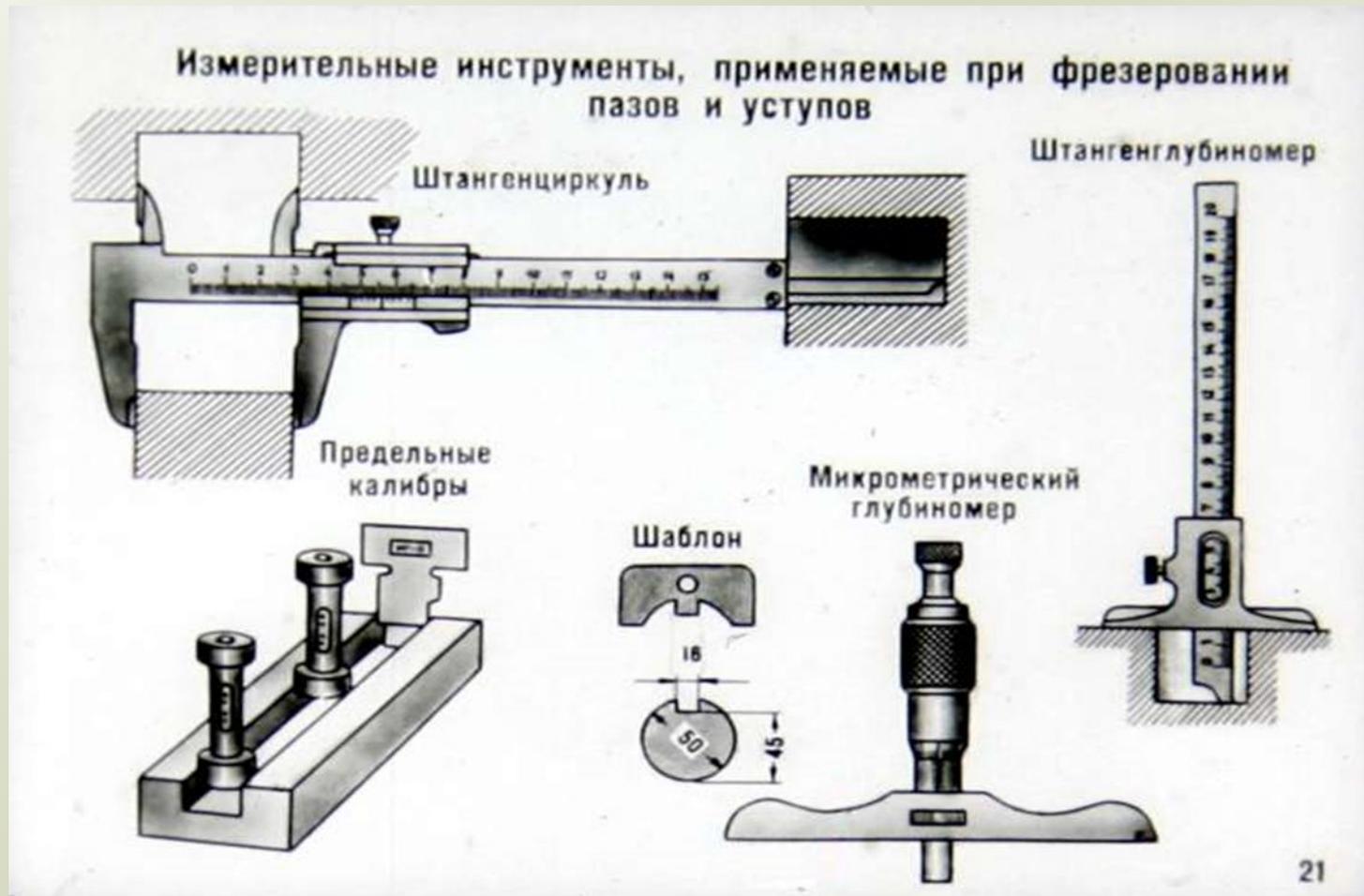
Контроль пазов, уступов и разрезанных заготовок. Эту операцию производят измерительным инструментом (табл. 5.1).

**Таблица 5.1 Измерительный инструмент для контроля деталей после фрезерования**

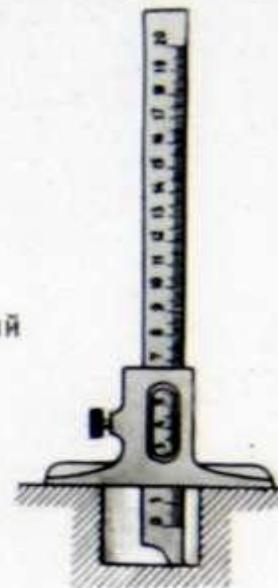
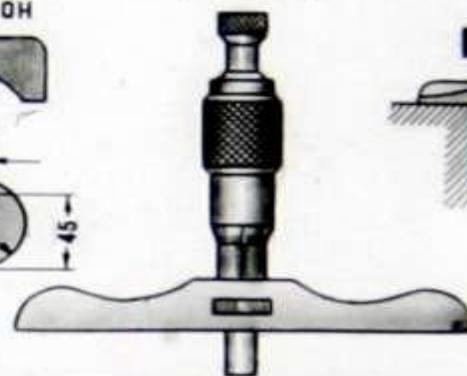
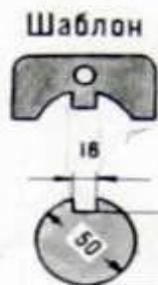
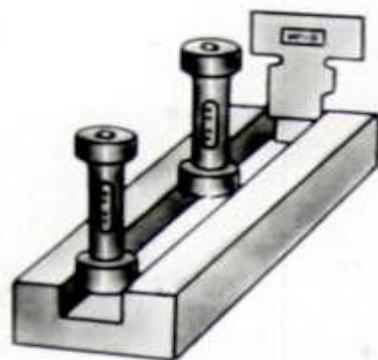
Вид обрабатываемой поверхности	Режущий инструмент	Станок	Приспособление	Измерительный инструмент
Сквозные прямоугольные пазы	Дисковая трехсторонняя фреза	Горизонтально-фрезерный	Тиски	Штангенциркуль, рейсмас, индикатор, измерительная линейка, шаблон
	Концевая фреза	Вертикально-фрезерный		
Шпоночные пазы	Дисковая трехсторонняя фреза	Горизонтально-фрезерный	Специальные тиски, призмы, прихваты	Штангенциркуль, рейсмас, шаблон, угольник
	Шпоночная фреза	Вертикально-и горизонтально-фрезерный		
Уступ с одной или с двух сторон	Дисковая двух- и трехсторонняя фреза	Горизонтально-фрезерный	Тиски	Штангенциркуль, рейсмас, измерительная линейка
		Вертикально-фрезерный		

## Контроль размеров пазов и канавок

Контроль размеров пазов и канавок можно производить как штриховыми измерительными инструментами (штангенциркуль, штанген-глубиномер), так и калибрами. Измерение и отсчет размеров пазов с помощью универсальных инструментов не отличаются от измерений других линейных размеров (длина, ширина, толщина, диаметр). Контроль ширины паза может быть произведен круглыми и листовыми предельными калибрами — пробками. Глубина паза контролируется предельным шаблоном — глубиномером.



# Измерительные инструменты, применяемые при фрезеровании пазов и уступов



## Тест для проверки

**1. Как называются приспособления, применяемые для закрепления непосредственно на столе станка заготовок больших размеров?**

1. Машинные тиски; 2. Прихваты.

**2. Выберите виды работ, которые выполняются на фрезерном станке:**

1. Обработка цилиндрических поверхностей;
2. Обработка плоскостей
3. Обработка уступов и пазов;
4. Обработка конических поверхностей;
5. Обработка винтовых канавок;
6. Отрезание металла.

**3. Какое назначение имеет вспомогательный инструмент?**

1. Для выверки приспособлений;
2. Для установки режущего инструмента;
3. Для установки заготовок;
4. Для установки необходимой частоты вращения;
5. Для измерения заготовок.

**4. Какое название имеет выемка в детали?**

1. Уступ; 2. Паз.

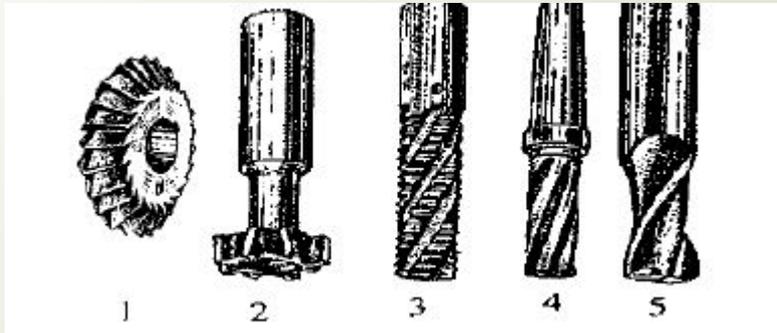
**5. Верно ли утверждение, что пазы небольших размеров принято называть канавками?**

1. Да. 2. Нет.

**6. Какие бывают фрезы по способу крепления?**

1. Хвостовые и насадные; 2. Концевые и насадные.

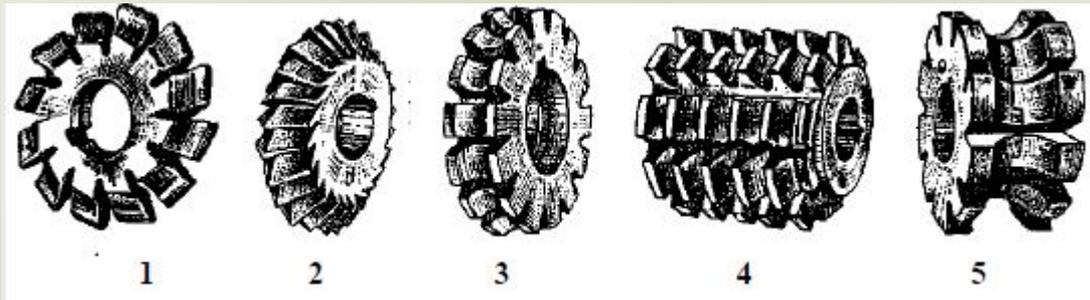
7. На каком рисунке показана концевая шпоночная фреза?



8. Фрезы по конструкции классифицируются на...

1. Хвостовые, насадные;
2. Острозаточенные, затылованные;
3. Быстрорежущие твердосплавные;
4. Цельные, сборные, составные;

9. Указать, на каком рисунке показана червячная модульная фреза



10. Определите частоту вращения фрезы, диаметром 100мм, если обработка заготовки производится со скоростью 50м/мин,

1. 100 об/мин;
2. 1500 об/мин;
3. 145 об/мин
4. 150 об/мин;
5. 1600 об/мин