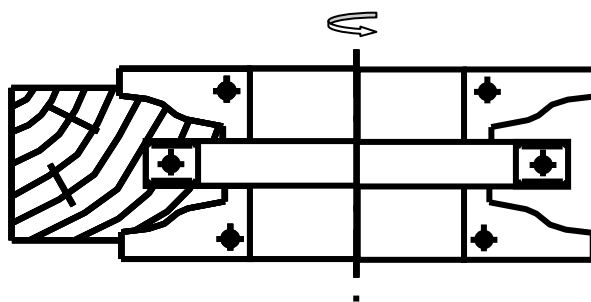




**И.Т. Глебов**

**ОБРАБОТКА  
ДРЕВЕСИНЫ  
МЕТОДОМ  
ФРЕЗЕРОВАНИЯ**

---



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**  
**Уральский государственный лесотехнический университет**

**И.Т. Глебов**

**ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ**  
**МЕТОДОМ ФРЕЗЕРОВАНИЯ**

Учебное пособие

Екатеринбург  
2007

УДК 674.05(075.8)

Рецензенты:

Дорожкин Е. М. – канд. с-х наук ректор председатель научно-методического совета Уральского института подготовки и повышения квалификации кадров лесного комплекса,

Гороховский А.Г. – канд. техн. наук директор ОАО УралНИИП-древ

**Глебов И.Т.**

***Обработка древесины методом фрезерования:*** Учебное пособие. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2007. – 192 с.

ISBN 978-5-94984-138-9

Даны общие сведения о резании древесины методом фрезерования и методика выполнения расчетов режима резания, описаны конструкции режущего инструмента и деревообрабатывающих станков, приведены их схемы и технические характеристики, а также организация рабочих мест. Книга адресована студентам специальности 250403 "Технология деревообработки" и может быть использована при выполнении курсовых и дипломных проектов.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Уральского государственного лесотехнического университета.

УДК 674.05(075.8)

ISBN 978-5-94984-138-9

© И.Т. Глебов, 2007

© Уральский государственный  
лесотехнический университет, 2007

## Предисловие

Предлагаемая книга написана с целью оказания помощи студентам в овладении знаниями по одному из разделов учебной дисциплины "Оборудование отрасли". Приведенные в книге методы расчета режимов резания, дереворежущий инструмент и технические характеристики станков могут быть успешно использованы на практических занятиях, при выполнении курсовых и дипломных проектов. Содержание книги полностью соответствует программе учебной дисциплины.

Книга адресована студентам специальности 250403 "Технология деревообработки" очной и заочной форм обучения.

Написана книга как учебное пособие. В ней изложен принципиально новый материал, полученный при научных исследованиях автора, или заимствованный из последних источников научно-технической информации.

Структура книги такова, что по каждому виду фрезерования древесины дана теория вопроса, приведена методика расчета режимов резания с пояснениями на примерах. В отдельных главах рассмотрены конструкции режущих инструментов и станков, а также приведены рекомендации по организации рабочих мест.

Для быстрого поиска информации даны подробное оглавление и алфавитно-предметный указатель. Для контроля знаний в каждой главе приведены контрольные вопросы и задания.

# Введение

В производстве пиломатериалов и деревянных деталей используют различные методы механической обработки древесины на станках: пиление, фрезерование, строгание, лущение, сверление, шлифование и др. Обработка древесины методом фрезерования – один из самых распространенных методов. В производственных условиях используются обрабатывающие центры, станки с числовым программным управлением, станки общего назначения.

В настоящее время на российском лесотехническом рынке продаются разнообразные отечественные и импортные станки и инструменты для обработки древесины методом фрезерования. Современные технические средства позволяют резко увеличить производительность труда, улучшить качество изделий и сделать труд более безопасным и приятным.

Для изготовления и эксплуатации современного оборудования необходимо освоить более точные методы расчета режимов резания и знать конструкции станков и режущих инструментов.

Теорией резания древесины разработано несколько альтернативных методов расчета режимов резания. К наиболее известным из них относятся следующие:

- расчет по методу А.Л. Бершадского;
- расчет по степенным формулам;
- расчет по табличной силе;
- расчет по объемной формуле мощности резания;
- расчет по уравнениям регрессии.

С помощью расчетных методов решаются прямые и обратные задачи.

## Глава 1 Общие сведения о фрезеровании древесины

### 1.1. Определение фрезерования

Фрезерование – *процесс лезвийной обработки материала с вращательным главным движением резания при постоянном ра-*

*диусе его траектории и движением подачи (ГОСТ 25761-83). При этом припуск заготовки снимается путем последовательного срезания отдельных серповидных стружек. Движение подачи при фрезеровании обычно направлено перпендикулярно оси главного движения резания (в отличие от сверления, при котором движение подачи направлено вдоль оси вращения режущего инструмента).*

Фрезерование применяется для придания заготовкам заданной формы, размеров и шероховатости. Методом фрезерования обрабатывают плоские и профильные поверхности, выполняют пазы, шипы, гнезда, осуществляют копирование объемных деталей, измельчают древесину на щепу, стружку.

По принципу фрезерования работают станки фрезерные, фуговальные, рейсмусовые, четырёхсторонние продольно-фрезерные, шипорезные, копировальные, цепно-долбежные и др.

## 1.2. Классификация видов фрезерования

Виды фрезерования классифицируют по нескольким признакам.

*В зависимости от направления главного движения резания относительно направления подачи различают фрезерование встречное и попутное. Встречное фрезерование наиболее распространено. В этом случае проекция вектора скорости резания на направление подачи направлена навстречу вектору скорости подачи. При попутном фрезеровании направление вращения лезвий в зоне резания совпадает с направлением подачи заготовки.*

*По положению обработанной поверхности и направлению скорости главного движения относительно волокон древесины фрезерование может быть продольным, поперечным, торцовым и смешанным.*

*В зависимости от расположения режущих кромок относительно оси вращения режущего инструмента различают фрезерование цилиндрическое, коническое, торцовое, фасонное, цепное и сферическое (табл. 1).*

Таблица 1

Классификация видов фрезерования древесины

Цилиндрическое		Коническое		Фасонное
Одно-стороннее: встречное, попутное	Пазовое двустороннее	Одно-стороннее	Пазовое двустороннее	Встречное, попутное

Торцовое		Цепное		Сфери- ческое
Цилиндри-ческое	Кони-ческое	Долбежное	Пазовое	Профиль-ное
Открытое	Полузакрытое		Закрытое	

При цилиндрическом фрезеровании ось вращения режущего инструмента параллельна обработанной поверхности, а режущие кромки лезвий описывают в пространстве цилиндрические поверхности. Это самый распространенный вид фрезерования, который позволяет обрабатывать плоские широкие заготовки, но на обработанной поверхности образуется кинематическая волнистость.

При коническом фрезеровании ось вращения режущего инструмента составляет острый угол с обработанной поверхностью, а режущие кромки лезвий описывают в пространстве конические поверхности. При таком фрезеровании ширина обрабатываемых поверхностей ограничена, но и высота гребешков кинематической волнистости меньше.

При торцовом фрезеровании ось вращения режущего инструмента перпендикулярна обработанной поверхности. Основную работу при резании выполняют боковые режущие кромки, которые работают по принципу цилиндрического или конического фрезерования. Торцовые режущие кромки формируют обработанную поверхность, на которой кинематическая волнистость не образуется, поверхность получается гладкой.

Цепное фрезерование выполняется фрезерной цепью и применяется для обработки гнезд под зубчатые шипы и пазов. Обработка производится на цепно-долбежных станках.

При профильном фрезеровании обрабатываются детали сложного профиля концевыми цилиндрическими или сферическими фрезами. Для этих же целей применяется копирование, когда профиль обрабатываемой поверхности задан копиром.

По количеству режущих кромок лезвий режущего инструмента различают фрезерование открытое, полузакрытое и закрытое. При открытом фрезеровании лезвия режущего инструмента имеют по одной режущей кромке, при полузакрытом – две и при закрытом – три режущих кромки. При открытом фрезеровании обрабатываются поверхности плоские и профильные, при полузакрытом – четверти, а при закрытом – пазы, шипы.

## Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определения процесса фрезерования древесины.
2. Начертите схемы основных видов фрезерования.

## Глава 2

## Ци-

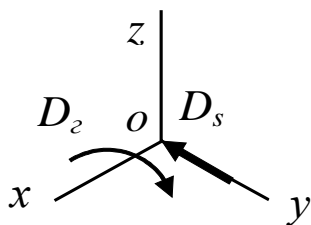
## линдрическое фрезерование

### 2. 1. Кинематика цилиндрического фрезерования

### фре-

#### 2.1.1. Скорости резания и подачи

Главное движение  $D_2$  при цилиндрическом фрезеровании – вращательное, оно осуществляется режущим инструментом (рис. 1). Движение подачи  $D_3$  – прямолинейное поступательное движение заготовки [1]. Результирующая скорость резания находится как



векторная сумма скорости главного движения и скорости подачи. Скорость главного движения равна 40...50 м/с, а скорость подачи 8...150 м/мин. Последняя в 20...150 раз меньше скорости главного движения. Поэтому результирующую скорость резания принимают равной скорости главного движения и находят по формуле, м/с

Рис.1. Принципиальная кинематическая схема цилиндрического фрезерования

$$V = \frac{\pi D n}{60000}, \quad (1)$$



где  $D$  – диаметр окружности резания фрезы, мм;

$n$  – частота вращения фрезы,  $\text{мин}^{-1}$ .

Скорость подачи при фрезеровании, м/мин

$$V_s = \frac{S_o n}{1000} = \frac{S_z z n}{1000}, \quad (2)$$

где  $S_o$  – величина подачи на один оборот фрезы, мм;

$S_z$  – подача на один зуб фрезы, мм;

$z$  – число зубьев фрезы.

Скорость главного движения при цилиндрическом фрезеровании принимается в пределах 30...80 м/с, скорость подачи 6...50 м/мин, частота вращения режущего инструмента 4000... 24000  $\text{мин}^{-1}$ .

### 2.1.2. Траектория движения зуба фрезы

Пусть к фрезе жестко присоединен ролик радиуса  $r$  (рис. 2), перекатывающийся вместе с фрезой по горизонтальной направляющей без скольжения со скоростью подачи  $V_s$ . При частоте вращения фрезы  $n$  радиус ролика равен, мм

$$r = \frac{1000V_s}{2\pi n} = 159,24V_s / n.$$

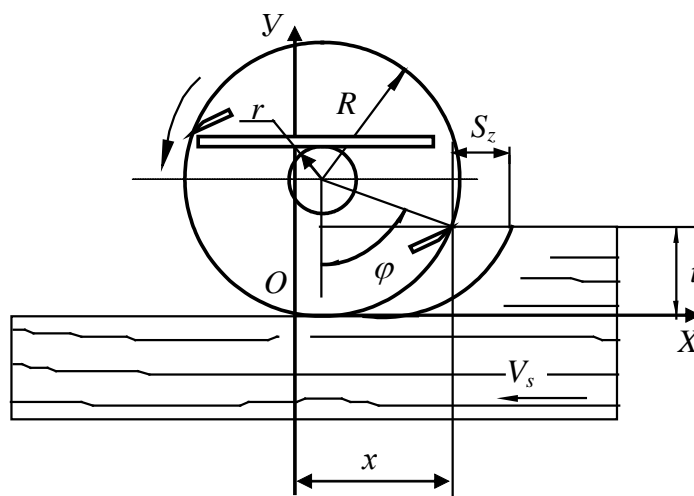


Рис. 2. Схема к расчету траектории движения зуба фрезы в древесине

В системе координат XOY при повороте ролика на угол  $\varphi = \pi$  центр ролика сместится вдоль направляющей на величину  $\pi r$ , т.е. на  $r\varphi$ . Тогда координата X режущей кромки фрезы при встречном фрезеровании будет равна

$$X = r\varphi + R\sin\varphi.$$

При попутном фрезеровании

$$X = -r\varphi + R\sin\varphi.$$

Режущая кромка зуба фрезы движется по циклоиде с уравнениями

$$X = R\sin\varphi \pm r\varphi,$$

$$Y = R(1 - \cos\varphi). \quad (3)$$

### 2.1.3. Геометрия срезаемого слоя при цилиндрическом фрезеровании

При цилиндрическом фрезеровании лезвие фрезы удаляет с заготовки серповидный срезаемый слой  $ABB_1A_1$ , размеры которого можно получить, если провести окружности радиусом фрезы из центров  $O$  и  $O_1$  (рис. 3). Расстояние  $OO_1$  равно величине подачи на один зуб  $S_z$ .

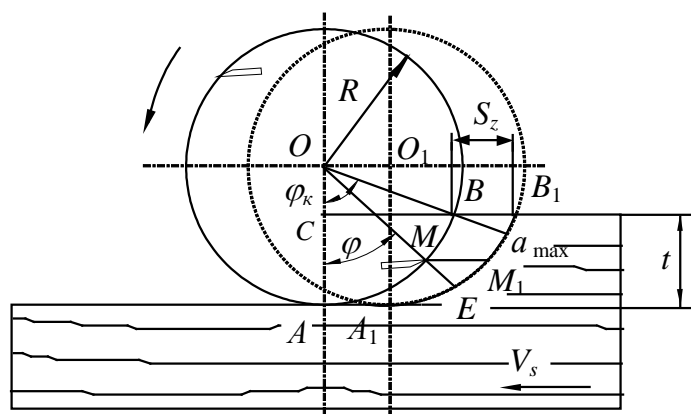


Рис. 3. Геометрия срезаемого слоя

Из схемы цилиндрического фрезерования имеем:

$$\cos \varphi_K = \frac{OC}{OB} = \frac{R-t}{R} = 1 - \frac{2t}{D}, \quad (4)$$

$$\sin \varphi_K = \sqrt{1 - \left(1 - \frac{2t}{D}\right)^2} = 2\sqrt{\frac{t}{D} - \frac{t^2}{D^2}},$$

где  $\varphi_K$  – угол контакта лезвия с древесиной;

$t$  – глубина фрезерования, мм.

Разложив  $\cos \varphi_K$  в ряд и ограничившись двумя членами разложения ряда, получим с учетом (4):

$$\cos \varphi_K = 1 - \frac{\varphi_K^2}{2} = 1 - \frac{2t}{D}.$$

Отсюда имеем

$$\varphi_{K(\text{рад})} \approx 2\sqrt{\frac{t}{D}}; \quad \varphi_{K(\text{град})} \approx 115\sqrt{\frac{t}{D}}. \quad (5)$$

При  $\varphi_K \leq 30^\circ$  эти формулы дают достаточно точный для практики результат:

$$\sin \frac{\varphi_K}{2} = \sqrt{\frac{(1 - \cos \varphi_K)}{2}} = \sqrt{\frac{t}{D}}; \quad (6)$$

$$\cos \frac{\varphi_K}{2} = \sqrt{\frac{(1 + \cos \varphi_K)}{2}} = \sqrt{1 - \frac{t}{D}}.$$

Серповидный срезаемый слой  $ABB_1A_1$  (см. рис. 3) характеризуется толщиной  $a$ , которая измеряется в направлении радиуса окружности. Если допустить, что фигура  $MM_1E$  – прямоугольный треугольник, в котором  $MM_1 = S_z$ , то получим формулу Фишера для толщины срезаемого слоя:

$$a = S_z \sin \varphi. \quad (7)$$

Формула Фишера не учитывает действительной траектории движения зуба. Она не является совершенно точной и для движения зуба по окружности, так как выведена с допу-

щениями. При всем этом выражение Фишера оказалось наиболее простым и достаточно точным для практических расчетов.

Толщина срезаемого слоя изменяется от нуля при врезании лезвия до максимального значения при выходе его из древесины:

$$a_{\max} = S_z \sin \varphi_K = 2S_z \sqrt{\frac{t}{D} - \frac{t^2}{D^2}} \approx 2S_z \sqrt{\frac{t}{D}}. \quad (8)$$

В расчетах используется среднее значение толщины среза

$$a_{cp} = S_z \sin \frac{\varphi_K}{2} = S_z \sqrt{\frac{t}{D}}. \quad (9)$$

Длина дуги контакта с учетом (5):

$$l_K = \frac{\pi D \varphi_K}{360}; \quad l_K = \frac{D}{2} \varphi_K = \frac{D}{2} 2 \sqrt{\frac{t}{D}} = \sqrt{tD}. \quad (10)$$

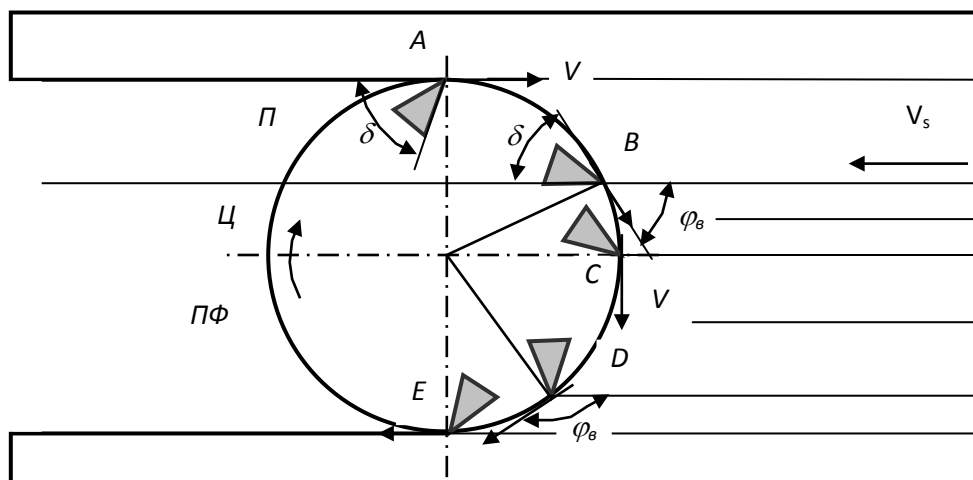
## Контрольные вопросы и задания

1. Напишите формулы для определения скоростей главного движения и подачи.
2. Как определить толщину срезаемого слоя и длину дуги контакта зуба фрезы с заготовкой?

## 2.2. Стружкообразование

### 2.2.1. Зоны резания при продольном фрезеровании

По положению зуба фрезы относительно волокон древесины на дуге контакта при цилиндрическом фрезеровании можно выделить несколько зон. В каждой зоне условия фрезерования древесины разные, и это отражается на качестве обработанной поверхности и



сти и  
на  
вели-  
ли-  
чине  
сил  
реза-  
ния.

Рас-  
смот

Рис. 4. Условия перерезания волокон по зонам (периферийной, центральной и попутного фрезерования)

рим случай обработки паза цилиндрической фрезой (рис. 4). Боковые режущие кромки фрезы работают по принципу продольного цилиндрического фрезерования.

При врезании лезвия в древесину в точке  $A$  угол встречи, измеряемый под плоскостью резания между вектором скорости главного движения и волокнами древесины,  $\varphi_в = 0$ . Происходит продольное резание, которое затем переходит в продольно-торцовое резание.

На участке  $AB$  дуги контакта угол встречи  $\varphi_в$  меньше угла резания лезвия  $\delta$ . Эту зону назовем периферийной  $L$ . В периферийной зоне основную работу по отделению стружки выполняет передняя поверхность лезвия. Волокна древесины срезаемого слоя сначала упираются в переднюю поверхность, сжимаются и изгибаются ею, как консольно закрепленная балка. Затем изогнутые волокна встречаются с режущей кромкой, которая надрезает их. Таким образом, происходит сначала сжатие и изгиб волокон, а затем их надрезание. Передняя поверхность лезвия стремится оторвать срезаемый слой в плоскости волокон. Перед режущей кромкой может образоваться опережающая трещина, направленная в массив. Если подпор нижележащих слоев древесины недостаточен, то на обработанной поверхности образуются задиры.

В точке  $B$  дуги контакта  $\varphi_в = \delta$ , и передняя поверхность лезвия расположена параллельно волокнам древесины. Здесь резание переходит в центральную зону  $C$ .

В центральной зоне на участке дуги  $BC$   $\delta \leq \varphi_0 \leq 90^\circ$ . В этой зоне волокна древесины сначала перерезаются главной режущей кромкой, а затем передняя поверхность их начинает деформировать. Организация процесса резания стала более благоприятной. Однако в центральной зоне резание древесины приближается к торцовому, что значительно затрудняет перерезание волокон. Сопротивление резанию увеличивается и достигает максимального значения в точке  $C$ . При затупившейся режущей кромке перерезать волокна древесины становится труднее, нежели оторвать их друг от друга в плоскости волокон. На обработанной поверхности образуются задиры, вырывы волокон.

В точке  $C$  резание из встречного переходит в попутное ПФ. Резание на дуге  $CDE$  происходит в зоне попутного фрезерования. В этой зоне условия перерезания волокон режущей кромкой такие же, как в центральной зоне при  $\delta \leq \varphi_0 \leq 180^\circ$ . При подходе к точке  $E$  резание приближается от торцового к продольному, силы резания уменьшаются. Условия резания становятся более благоприятными, однако, если на выходе лезвия отсутствует достаточный подпор волокон, то там образуются сколы.

### 2.2.2. Зоны резания при торцовом фрезеровании

Фрезерование цилиндрической фрезой по отношению к волокнам древесины может быть торцовым, когда ось вращения фрезы и направление подачи перпендикулярны направлению волокон древесины. Для изучения условий перерезания волокон древесины при торцовом фрезеровании рассмотрим обработку паза, продольная ось которого перпендикулярна волокнам (рис. 5).

Угол встречи лезвия с волокнами  $\varphi_0$  (угол перерезания волокон) в момент врезания режущей кромки в древесину (точка  $A$ )  $\varphi_0 = 90^\circ$ , и угол резания  $\delta < \varphi_0$ . На участке  $ABC$  дуги контакта лезвия фрезы с древесиной угол перерезания волокон увеличивается от  $90^\circ$  до  $180^\circ$ , и резание переходит от торцового к продольному. На этом участке волокна древесины сначала перерезаются режущей кромкой, а затем деформируются передней поверхностью лезвия и скалываются.

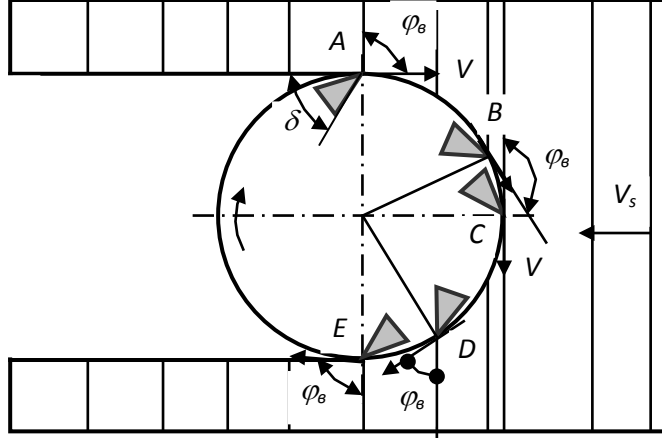


Рис. 5. Условия перерезания волокон

В точке С при торцовом фрезеровании дуги контакта  
 угол встречи  $\varphi_b = 180^\circ$  или  
 можно считать  $\varphi_b = 0^\circ$ , что соответствует продольному резанию. Далее резание посте-  
 пенно переходит в продольно-торцовое и в точке Е становится торцовым.

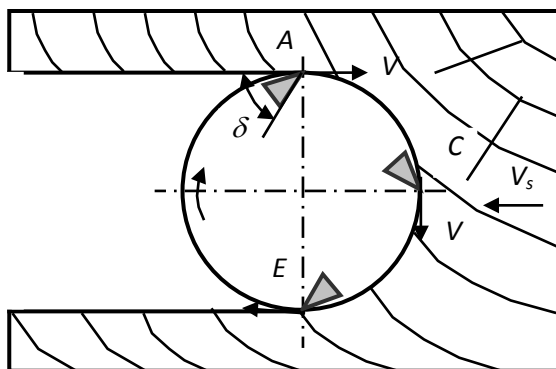
На дуге CD угол встречи  $\varphi_b < \delta$ . При резании волокна древесины сначала изгибаются и сжимаются передней поверхностью лезвия и только затем надрезаются режущей кромкой. Это зона с неблагоприятными условиями перерезания волокон.

На дуге DE угол встречи  $\varphi_b > \delta$ , и режущая кромка начинает выполнять основную работу резания – волокна древесины сначала перерезаются, а затем стружка скалывается передней поверхностью лезвия в плоскости волокон.

### 2.2.3. Условия резания при поперечном фрезеровании

При поперечном цилиндрическом фрезеровании ось вращения фрезы параллельна, а направление подачи перпендикулярно направлению волокон (рис. 6).

При поперечном фрезеровании во всех точках дуги контакта происходит чистое поперечное резание. Если режущая кромка лезвия будет параллельна волокнам древесины, то



силу резания будут воспринимать ограниченное количество волокон и произойдет их вырыв. Для получения гладкой обработанной поверхности режущие кромки должны быть винтовыми. В этом случае сила резания распределяется на большое количество волокон и вырыв их становится маловероятен.

Рис. 6. Поперечное фрезерование  
 фрезеровании

### 2.2.4. Особенности стружкообразования при продольном встречном

Продольное встречное цилиндрическое фрезерование древесины осуществляется на станках фуговальных, рейсмусовых, четырехсторонних продольно-фрезерных и других, на которых глубина фрезерования не превосходит 6 мм или, по крайней мере, не более радиуса фрезы. При таком встречном фрезеровании на всей дуге контакта происходит продольно-торцовое резание против слоя, когда возможные опережающие трещины распространяются в массив древесины.

Процесс стружкообразования можно поделить на несколько этапов (рис. 7).

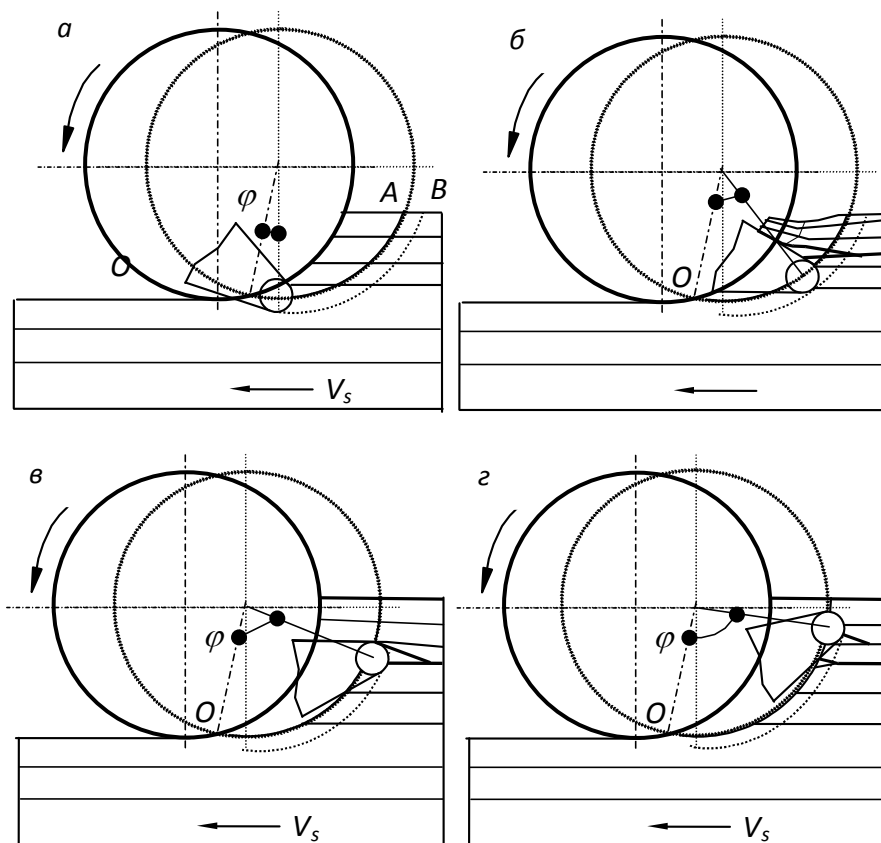


Рис. 7. Условия стружкообразования при цилиндрическом фрезеровании: а – врезание; б, в, г – резание в периферийной, граничной и центральной зонах

*Скольжение режущей кромки по поверхности резания.* На первом этапе резания происходит врезание лезвия в древесину (рис. 7, а). Врезание начинается в точке  $O$ . При этом режущая кромка движется по траектории  $OA$  и деформирует (вальцует) поверхность резания по линии  $CB$ .

При встречном фрезеровании толщина срезаемого слоя изменяется от нуля, когда лезвие начинает контактировать с поверхностью резания, и до максимального значения при выходе его из древесины. При этом срезание слоя начинается тогда, когда толщина его достигнет некоторой критической величины  $a_{кр} = c\rho$ , где  $c$  – коэффициент, зависящий от упругости обрабатываемого материала, жесткости системы станок – инструмент –



деталь;  $\rho$  – радиус закругления режущей кромки.

До момента врезания происходит скольжение режущей кромки по поверхности резания. Длина дуги скольжения, по данным Н.А. Кряжева, равна [2]

$$l_{ск} = \frac{c\rho R}{S_z}, \quad (11)$$

где  $S_z$  – подача на зуб, мм;

$R$  – радиус окружности резания, мм.

На первом этапе резания основную работу выполняет задняя поверхность лезвия и прилегающая к ней часть режущей кромки. На лезвие действуют сила трения по задней грани и сила отжима. Это силы вредного сопротивления. Полезная работа по формированию новой поверхности не выполняется. Режущая кромка бесполезно изнашивается, на задней поверхности лезвия образуется фаска.

*В периферийной зоне* (см. рис. 7, б) с началом стружкообразования волокна древесины прежде всего контактируют с передней поверхностью лезвия, которая сжимает их и изгибает, как консольно закрепленную балку. Кроме того, передняя поверхность сжимает срезаемый слой в поперечном направлении и стремится приподнять его. Если срезаемый слой тонкий, то изогнутые волокна встречаются затем с главной режущей кромкой, которая надрезает их. Происходит непрерывный изгиб и подрезание волокон. Подпор вышележащих слоев древесины при тонком срезаемом слое обеспечивает установившийся режим резания с образованием гладких фрезерованных поверхностей.

С увеличением толщины срезаемого слоя перед главной режущей кромкой может образоваться опережающая трещина, распространяющаяся в плоскости волокон в массив.

Глубина опережающей трещины ограничивается толщиной среза и величиной подпора сжатой древесины над передней поверхностью. Если величина подпора достаточна, то режущая кромка лезвия может приблизиться к изогнутым волокнам древесины и перерезать их. Перерезанные волокна скалываются, образуя элемент стружки, скользящий по передней поверхности лезвия. Если величина подпора недостаточна для перерезания волокон, то передняя грань поднимает перерезанный слой, глубина трещины увеличивается, и в конце ее слой ломается. Срезание слоя заканчивается отщепом.

Образованию опережающей трещины всегда предшествует деформирование срезаемого слоя. Накопленная потенциальная энергия упругого деформирования преобразуется в кинетическую энергию развития трещины. Трещина распространяется в массив с огромной скоростью, во много раз превышающей скорость главного движения.

На граничной участке между периферийной и центральной зонами угол встречи с волокнами равен углу резания лезвия (см. рис. 7, в). Волокна древесины параллельны передней поверхности лезвия. Срезаемый слой сжимается в поперечном направлении, изгибается, а затем режущая кромка перерезает волокна древесины. При этом толщина срезаемого слоя в данном месте дуги контакта, а следовательно, и сила резания, достигают большой величины. Передняя грань лезвия стремится поднять срезаемый слой и оторвать его от массива. Перед режущей кромкой образуется опережающая трещина. Если подпор вышележащих слоев древесины недостаточен для перерезания волокон, то на выходе лезвия из заготовки образуется отщеп.

При резании в центральной зоне главная режущая кромка встречается с волокнами древесины раньше, чем передняя поверхность (см. рис. 7, г). Волокна сначала перерезаются, а затем поступают на переднюю грань, которая подрезанный слой сжимает и изгибает. При этом касательные напряжения в плоскости волокон могут достичь предела прочности, и элементы стружки скалываются. Если режущая кромка острая и может легко перерезать волокна древесины, а подпор еще неперерезанных волокон достаточен, то опережающие трещины не образуются. На выходе лезвий из заготовки, если не создан прижимами станка необходимый подпор, образуется отщеп.

Толщина срезаемого слоя в центральной зоне всегда имеет большое численное значение. Поэтому, несмотря на более благоприятные условия перерезания волокон древесины, перед режущей кромкой, особенно затупленной, всегда образуется опережающая трещина, и фрезерованная поверхность получается более шероховатой, чем в периферийной зоне. Образование опережающих трещин понижает силы резания.

## 2.2.5. Особенности стружкообразования при попутном фрезеровании

При попутном фрезеровании направление вращения фрезы в зоне резания совпадает с направлением подачи. В данном случае нельзя выделить какие-то зоны. При попутном фрезеровании угол резания  $\delta$  лезвия всегда меньше угла встречи с волокнами  $\varphi_в$  (рис. 8). Во всех точках траектории резания  $\varphi_в \geq 90^\circ$ . На дуге контакта происходит резание по слою.

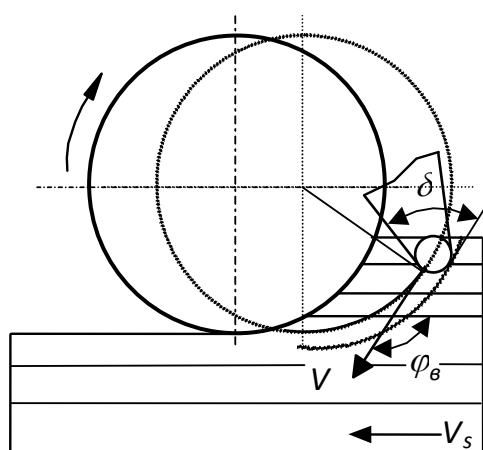


Рис. 8. Попутное фрезерование

Толщина срезаемого слоя при попутном фрезеровании изменяется от максимального значения при входе лезвия в древесину до нуля при выходе. Силы резания тоже изменяются от максимального значения при входе в срезаемый слой до нуля при выходе. При входе лезвия в древесину происходит удар, что

вызывает вибрацию заготовки и выкрашивание режущей кромки. Наблюдения показывают, что при попутном фрезеровании режущая кромка лезвия затупляется в 3 – 6 раз быстрее, чем при встречном фрезеровании.

Основную работу при встречном фрезеровании выполняет главная режущая кромка. Она перерезает волокна. Опережающие трещины в данном случае не образуются. В связи с этим силы резания при попутном фрезеровании всегда больше в 1,5 - 2 раза, чем при встречном фрезеровании. Отсутствие опережающих трещин позволяет получить более гладкие поверхности, однако для этого необходимо соблюдать условия, чтобы подача на зуб была не более 0,15...0,25 мм, а радиус закругления режущей кромки был бы не более 10...15 мкм.

Удары лезвий в момент врезания при попутном фрезеровании создают условия для самоподдачи заготовки, в результате чего фактическая подача на зуб может быть больше расчетной. Этого допускать нельзя.

*Таким образом, при попутном фрезеровании в связи с отсутствием опережающих трещин расходуется энергии больше, но можно получить поверхности с меньшей шероховатостью.*

## **Контрольные вопросы и задания**

1. Какие зоны резания различают при продольном, торцовом и поперечном фрезеровании?
2. Каковы основные этапы стружкообразования при продольном встречном и попутном фрезеровании древесины?

## **2.3. Шероховатость фрезерованной поверхности**

### **2.3.1. Виды неровностей**

На обработанной методом фрезерования поверхности различают макронеровности, неровности с нерегулируемым и регулируемым шагом.

Макронеровности представляют собой отклонения поверхности от заданной геометрической формы (выпуклость и вогнутость для плоскостей).

К неровностям с нерегулируемым шагом относятся разнообразные неровности, образованные при разрушении древесины или при вибрации. К ним относятся ворсистость и мшистость, вырывы, заколы (углубления по границе годичного слоя).

К неровностям с регулируемым шагом относятся неровности упругого восстановления и кинематическая волнистость.

Неровности с нерегулируемым шагом можно прогнозировать [2], используя экспериментальные данные (табл. 2), а кинематическую волнистость можно рассчитать.

Таблица 2

Шероховатость фрезерованной поверхности, мкм, в зависимости от затупления лезвий  
(по данным Н.А. Кряжева и др.)

Радиус закругления лезвий $\rho$ , мкм	Фрезерование продольное		Фрезерование поперечное	
	хвойные породы	лиственные породы	хвойные породы	лиственные породы
< 10	16-30	8-16	315-500	260-315
< 20	30-60	16-30	315-500	200-315
< 30	60-100	30-60	500-800	315-500
< 35	100-200	60-100	500-800	315-500
< 40	200-315	100-200	-	-

### 2.3.2. Определение шероховатости по длине кинематической волны

При цилиндрическом фрезеровании основным видом неровностей, образующихся на обработанной поверхности, является кинематическая волнистость. Гребешки волн образуются при пересечении траекторий двух смежных зубьев фрезы радиусом  $R$  (рис. 9).

Из треугольника ОВС следует

$$R^2 = \frac{l^2}{4} + (R - y)^2;$$

$$R^2 = \frac{l^2}{4} + R^2 - 2Ry + y^2;$$

$$\frac{l^2}{4} = y(2R - y).$$

Отсюда

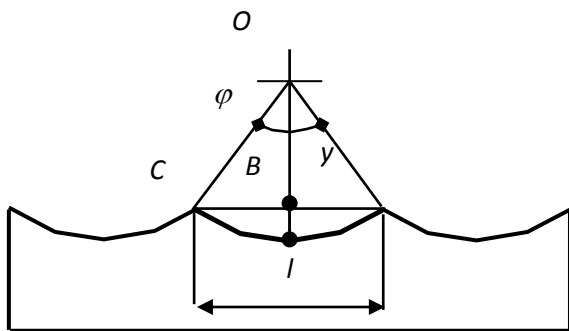


Рис. 9. Схема к расчету глубины волны

$$y \approx \frac{l^2}{8R}, \quad (12)$$

где  $y$  – глубина волны, мм;

$l$  – длина волны, мм;

$R$  – радиус режущей кромки лезвия цилиндрической фрезы, мм.

В производственной деятельности длину волны измеряют на обработанной детали и вычисляют шероховатость по формуле (12). В проектных работах за длину волны принимают величину подачи за один оборот фрезы, т.е.  $l = S_o = S_z Z$ . Предельно допустимая длина волны для получения заданной шероховатости обработанной поверхности находится или по формуле

$$l_{\sigma} = \sqrt{0,004DR_{m \max}},$$

где  $D$  – диаметр фрезы, мм;

$R_{m \max}$  – высота гребней волн, мкм.

Расчетные значения длин волн сведены в табл. 3.

Таблица 3

Предельно допустимая длина волн на обработанной поверхности при продольном цилиндрическом фрезеровании

Высота неровностей $R_{m \max}$ , мкм	Длины волн $l_{\sigma}$ , мм, при диаметре окружности резания $D$ , мм							
	60	80	100	120	140	160	180	200
12,5	2,0	2,4	2,7	2,9	3,2	3,4	3,6	3,8
25	2,8	3,3	3,7	4,0	4,3	4,7	4,9	5,2
50	4,0	4,7	5,2	5,6	6,2	6,6	7,0	7,4
100	5,2	6,0	6,7	7,3	7,9	8,5	9,0	9,5
200	7,2	8,5	9,5	10,3	11,0	12,0	12,6	13,6

### 2.3.3. Определение шероховатости по радиусам лезвий фрезы

Методы расчета шероховатости, рассмотренные выше, не учитывают точность радиусов режущих кромок зубьев фрезы и поэтому считаются приближенными. Неточность радиусов лезвий фрез, т.е. отклонение от общей окружности резания, обычно не превосходит 0,1 мм, хотя при грубой установке ножей по бруску достигает 0,15 мм.

Пусть для продольного цилиндрического фрезерования используется четырехзубая цилиндрическая фреза, режущие кромки зубьев которой расположены на окружностях различных радиусов. При этом  $R_1 > R_2 > R_4 > R_3$ . Расчетная схема формирования поверхности при подаче за один оборот фрезы  $S_0$  показана на рис. 10. Измерения радиусов вращения режущих кромок попарно смежных зубьев позволяют определить погрешности их расположения:  $\Delta_{1-2} = R_1 - R_2$ ,  $\Delta_{2-3} = R_2 - R_3$ ,  $\Delta_{3-4} = R_3 - R_4$ ,  $\Delta_{4-1} = R_4 - R_1$ .

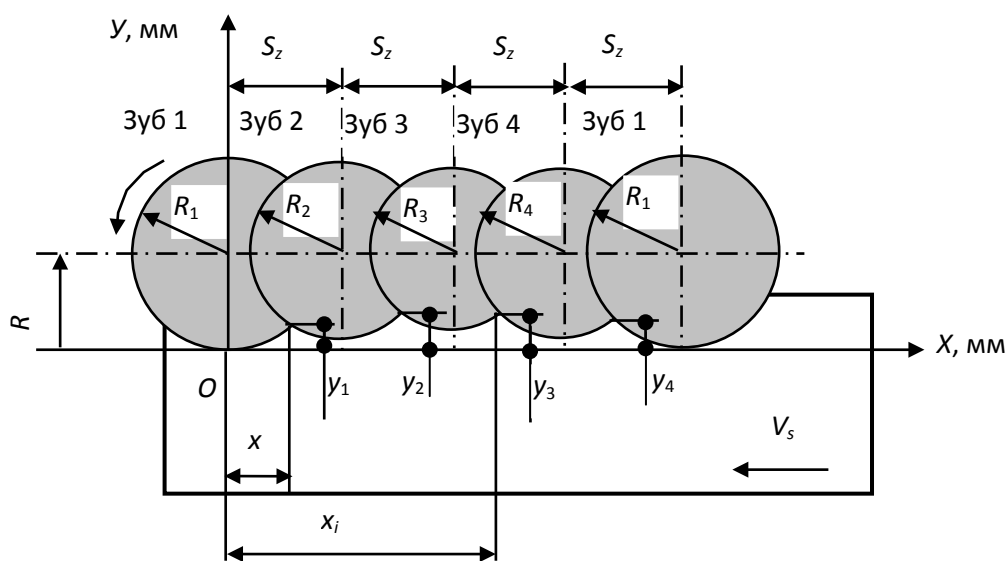


Рис. 10. Формирование кинематических волн на обработанной поверхности

Траектории движения режущих кромок в древесине представляют собой циклоиды. Однако при фрезеровании для определения скоростей и размеров срезаемого слоя циклоиды заменяют

окружностями, что упрощает расчеты при достаточной степени точности.

Исследования показывают [3], что, например, при определении длины волны замена циклоиды окружностью приводит к ошибке около 1,3%, которая не влияет на практические расчеты. В связи с этим в нижеприведенных выводах принято допущение, что режущие кромки зубьев перемещаются в древесине по дуге окружности.

Проведем оси координат  $XOY$  (см. рис. 10). Ось  $OX$  проведем касательно к окружности самого большого радиуса  $R_1$ , а ось  $OY$  – через центр окружности с радиусом  $R_1$ . Центр вращения фрезы установим на расстоянии  $R$  от оси  $OX$  ( $R = R_1$ ).

При вращении фрезы и надвигании на нее заготовки с подачей на зуб  $S_z$  смежные зубья образуют на заготовке гребни волн высотой относительно оси  $OX$   $y_1, y_2, y_3, y_4$ . Максимальная высота гребня относительно оси  $OX$  на участке подачи за один оборот фрезы характеризует шероховатость обработанной поверхности.

Для определения высоты гребня достаточно написать уравнения смежных окружностей и найти точку их пересечения.

Уравнения окружностей для зубьев 1 и 2 с радиусами вращения  $R_1$  и  $R_2$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} (x-0)^2 + (y-R)^2 = R_1^2, \\ (x-S_z)^2 + (y-R)^2 = R_2^2. \end{array} \right. \quad (13)$$

$$(x-S_z)^2 + (y-R)^2 = R_2^2. \quad (14)$$

Решая систему уравнений, получим

$$y_i = R - \sqrt{R_{1i}^2 - \left[ \frac{S_z}{2} + \frac{\Delta(2R_{1i} - \Delta)}{2S_z} \right]^2}, \quad (15)$$

$$x_i = S_z(i-1) + \frac{\Delta(2R_{1i} - \Delta)}{2S_z} + \frac{S_z}{2}, \quad (16)$$

где  $y_i$  – высота гребня волны  $i$ -й пары окружностей, мм;

$R_{1i}$  – радиус первой окружности в  $i$ -й паре окружностей, мм;

$R$  – максимальный радиус зуба фрезы, мм;

$\Delta_i$  – погрешность длин радиусов фрезы в  $i$ -й паре окружностей,  $\Delta_i = R_{1i} - R_{2i}$ , мм;

Из уравнений (15), (16) следует:

– если  $R_1 = R_2$  ( $\Delta = 0$ ), то гребень волны расположен на расстоянии  $x = S_z/2$  от центра  $O_1$ ;

– если для всех зубьев  $\Delta = 0$  ( $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ ), то высоты всех гребней одинаковы и зависят

только от величины подачи на зуб  $S_z$ ; при  $S_z = 0$ ,  $y = 0$ ; при  $S_z = 2R_1$ ,  $y = R_1$ ;

– если две смежные окружности вращения зубьев имеют самые малые радиусы, то они образуют самый высокий гребень в системе координат  $XOY$ .

**Пример.** Пусть для фрезы диаметром 140 мм радиусы лезвий равны  $R = R_1 = 70,06$  мм,  $R_2 = 70,00$  мм,  $R_3 = 69,96$  мм,  $R_4 = 70,02$  мм.

Требуется определить координаты гребней волн.

Исходные данные и расчеты рекомендуется представить в виде табл. 4.

Таблица 4

Форма расчета координат гребней волн

Радиусы пары зубьев	$R_1...R_2$	$R_2...R_3$	$R_3...R_4$	$R_4...R_1$
Подача на зуб, мм	2	2	2	2
Максимальный радиус фрезы, мм	70,06	70,06	70,06	70,06
Радиусы лезвий в паре:				
$R_{1i}$ , мм	70,06	70,0	69,96	70,02
$R_{2i}$ , мм	70,0	69,96	70,02	70,06
Погрешность в паре лезвий, $\Delta i = R_{1i} - R_{2i}$ , мм	0,06	0,04	-0,06	-0,04
Порядковый номер пары, $i$	1	2	3	4
Высота гребней по (15), $y_i$ , мм	0,069	0,101	0,109	0,041
Абсцисса гребней по (16), $x_i$ , мм	3,1	4,4	2,9	5,6

Шероховатость обработанной поверхности равна  $R_{m \max} = 109$  мкм.

Если радиусы режущих кромок зубьев фрезы равны, то из формулы (16) следует

$$x_i = S_z (i - 1) + \frac{S_z}{2}.$$

В этом случае гребни кинематических волн расположены строго на середине соответствующих отрезков подачи на зуб. Все зубья фрезы загружены при работе равномерно.

Если радиусы лезвий фрезы неодинаковы, то гребни волн удаляются относительно середины участка подачи на зуб на величину смещения  $x_c$ . Для того, чтобы режущие кромки



зубьев были загружены при работе более равномерно, необходимо, чтобы смещение гребней не выходило за пределы соответствующего участка подачи на зуб, т.е.  $x_c = \pm 0,5S_z$ . По формулы (16)

$$x_c = \frac{\Delta(2R_{1i} - \Delta)}{2S_z} = \pm \frac{S_z}{2}.$$

Отсюда находим предельную величину подачи на зуб, при которой гребни волн не смещаются за пределы этого участка

$$S_{zn} = \sqrt{|\Delta(2R_{1i} - \Delta)|}. \quad (17)$$

С увеличением значения подачи на зуб гребни волн приближаются к середине соответствующих участков подачи на зуб, загрузка зубьев фрезы при работе выравнивается, но высота гребней увеличивается.

При расчете режимов резания приходится решать задачи, в которых по заданной шероховатости обработанной поверхности требуется определить предельно допустимую погрешность длины радиусов зубьев фрезы. Решая уравнение (15) относительно погрешности величины радиусов  $\Delta$  при  $R = R_{1i}$ , получим уравнение

$$\Delta = R - \sqrt{R^2 + S_z^2 - 2S_z \sqrt{2Ry - y^2}}, \quad (18)$$

где  $\Delta$  – допустимая погрешность радиусов положения режущих кромок, мм.

### 2.3.4. Анализ формирования фрезерованной поверхности

**Фрезы с одинаковыми радиусами лезвий.** Рассмотрим случай, когда радиусы всех лезвий равны  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 70$  мм. По формулам (15), (16) находим следующие значения  $y_i$  и  $x_i$  при подаче на зуб  $S_z = 2$  мм:

$y_i$ , мм	0,007	0,007	0,007	0,007
$x_i$ , мм	1	3	5	7

При подаче на зуб  $S_z = 7,5$  мм:

$y_i$ , мм	0,101	0,101	0,101	0,101
$x_i$ , мм	3,75	11,25	18,75	26,25

Для случая  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 25$  мм и  $S_z = 2$  мм:

$y_i$ , мм	0,020	0,020	0,020	0,020
$x_i$ , мм	1	3	5	7

При подаче на зуб  $S_z = 7,5$  мм:

$y_i$ , мм	0,283	0,283	0,283	0,283
$x_i$ , мм	3,75	11,25	18,75	26,25

Из полученных данных следует, что для фрез с одинаковыми радиусами лезвий высота гребней кинематических волн зависит от значений подачи на зуб и радиуса фрезы. Фрезы небольшого диаметра оставляют на обработанной поверхности более высокие гребни волн. Гребни волн расположены на середине соответствующего участка подачи на зуб.

**Влияние неточности радиусов лезвий.** Пусть для фрезы диаметром 140 мм радиусы лезвий равны  $R = R_1 = 70,06$  мм,  $R_2 = 70,00$  мм,  $R_3 = 69,96$  мм,  $R_4 = 70,02$  мм. Неточность радиусов лезвий равна 0,1 мм.

По формулам (15) – (16) находим координаты гребней кинематических волн при подаче на зуб  $S_z = 2$  мм:

$y_i$ , мм	0,069	0,101	0,109	0,041
$x_i$ , мм	3,1	4,4	2,9	5,6

Если бы  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ , то координата  $x_i$  приняла бы значения соответственно 1, 3, 5, 7 мм. Для условий примера гребни сгруппировались на середине участка подачи за оборот фрезы (рис. 11, а). Основную работу по срезанию стружек выполняют лезвия 1 и 4 с самыми большими радиусами. Эти лезвия быстрее изнашиваются, затупляются и приводят к отказу технологической системы по параметрам “точность” и “шероховатость”.

Самое короткое лезвие 3 почти не взаимодействует с заготовкой. Оно медленнее изнашивается и долгое время остается острым. Таким образом, неточное расположение режущих кромок по радиусу вызывает неравномерную загрузку лезвий работой и является причиной отказов технологической системы по параметрам “точность” и “шерохова-

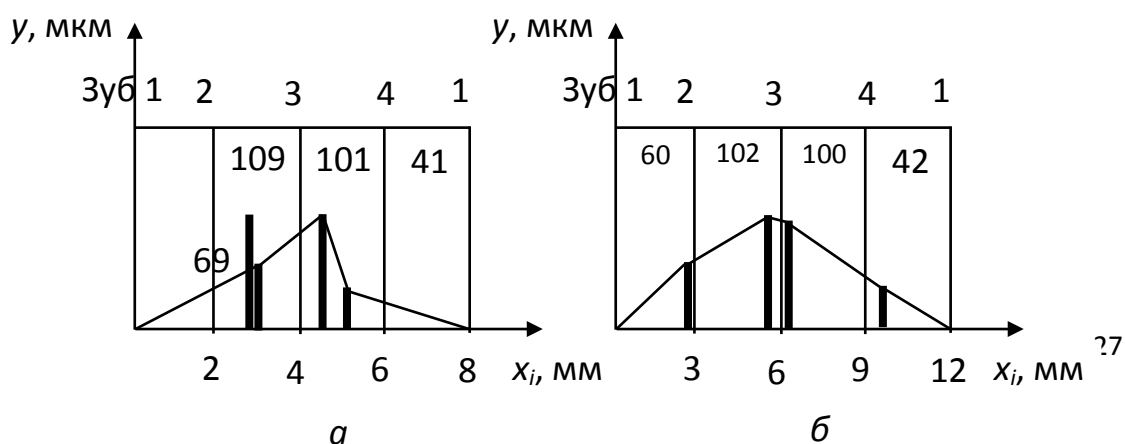


Рис. 11. Гребни на фрезерованной поверхности:

а –  $S_z = 2$  мм; б –  $S_z = 3$  мм

тость". Неточность радиусов лезвий фрезы сильно влияет на шероховатость обработанной поверхности.

Попытаемся растянуть график (рис. 11,а) по оси  $x_i$ , построив его по расчетным данным для подачи на зуб  $S_z = 3$  мм. Расчетные значения координат гребней волн для  $S_z = 3$  мм получились следующие:

$y_i$ , мм	0,06	0,102	0,100	0,042
$x_i$ , мм	2,9	5,4	6,1	9,6
Границы $S_z$	3	6	9	12

Из полученных данных видно, что высота гребней волн почти не изменилась, шероховатость поверхности не ухудшилась. При этом изменилось положение гребней по оси  $x_i$ . Гребни расположились более равномерно, каждый гребень находится на участке своего значения подачи на зуб. Сейчас уже каждое лезвие принимает участие в формировании фрезерованной поверхности, хотя и не в одинаковой степени.

Если еще более увеличить подачу на зуб, например до  $S_z = 7,5$  мм, то получим следующие результаты:

$y_i$ , мм	0,133	0,182	0,173	0,121
$x_i$ , мм	4,3	11,6	18,2	25,9
Границы $S_z$	7,5	15	22,5	30
Середины отрезков $S_z$	3,75	11,25	18,75	26,25

Шероховатость поверхности значительно ухудшилась. При этом гребни волн расположились почти на серединах соответствующих им отрезков подачи на зуб. Загруженность лезвий при работе выровнялась. Износ и затупление всех лезвий стал равномерным. Если ухудшение шероховатости поверхности не имеет существенного значения, то такой режим резания можно считать более благоприятным для работы фрезы.

**Влияние точности крепления насадной фрезы на качество обработки.** Часто насадную фрезу крепят на шпинделе станка с помощью втулок и гайки. При этом фрезу устанавливают на шпинделе с посадкой  $H7/h6$ . Эта посадка образована полями допусков основного вала и основного отверстия. Поле допуска посадочного отверстия диаметром 32...50 мм с основным отклонением  $H$  по качеству 7 равно 25 мкм. Поле допуска вала того же диаметра с основным отклонением  $h6$  равно 16 мкм. Наибольший зазор в посадке равен сумме допусков вала и отверстия, т.е. 41 мкм.

Если при креплении фреза будет зафиксирована эксцентрично, то радиус первого лезвия увеличится на 0,041 мм, а радиус противоположного третьего лезвия уменьшится на

0,041 мм. Радиусы ранее принятой фрезы будут равны: 70,101 – 70,0 – 69,919 – 70,02 мм. Для  $S_z = 4$  мм получим

$y$ , мм	0,101	0,184	0,182	0,083
$x_i$ , мм	3,8	7,4	8,2	12,6
Границы $S_z$	4	8	12	16

**Влияние диаметра фрезы при неточности радиусов лезвий 0,1 мм.** Если погрешности значений радиусов лезвий оставить неизменными, а диаметры фрез изменять по величине, то для четырехзубой фрезы можно получить на обработанной поверхности высоту гребней волн

$y_i$ , мм:	0,060;	0,102;	0,100;	0,042
-------------	--------	--------	--------	-------

при следующих условиях:  $D = 60$  мм при  $S_z = 1,9$  мм;  $D = 80$  мм при  $S_z = 2,0$  мм;  $D = 100$  мм при  $S_z = 2,5$  мм;  $D = 120; 140$  мм при  $S_z = 3$  мм;  $D = 160; 180; 200$  мм при  $S_z = 3,5$  мм. Таким образом, с увеличением диаметра фрезы подачу на зуб  $S_z$  можно увеличить.

### 2.3.5. Влияние на шероховатость прифуговки лезвий

Исследования Ф.М. Манжоса, А.Э. Грубе показали, что при установке ножей в ножевые валы или ножевые головки по бруску радиусы резания отдельных режущих кромок отличаются друг от друга на величину 0,08-0,15 мм. Точность установки ножей по шаблону со стрелочным индикатором равна 0,04 – 0,06 мм. Прифуговка лезвий уменьшает неточность расположения режущих кромок. Прифуговку стального инструмента выполняют электрокорундовым оселком зернистостью M28 и твердостью C1 с продольной подачей 2 м/мин и поперечной подачей 0,005 мм.

При прифуговке на задних поверхностях лезвий образуется фаска. Предельно допустимая ширина фаски не должна превышать значение  $b = 0,15-0,20$  мм, иначе на обработанной поверхности образуются прижоги и мшистость. Для практического выполнения такой фаски необходимо знать величину стачивания лезвия в направлении радиуса вращения фрезы [4].

На рис. 12 показано лезвие фрезы. В процессе прифуговки радиус фрезы был укорочен на величину  $\tau$ , в результате чего на задней поверхности лезвия образовалась фаска шириною  $b$ .

Отрезок  $DC = b + \tau \operatorname{tg} \gamma$ .

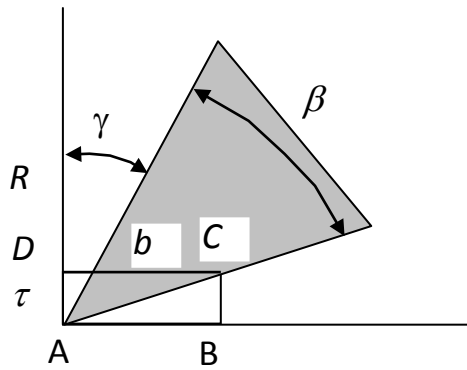


Рис. 12. Схема к расчету

величины стачивания лезвия

в процессе прифуговки

Отрезок  $AB = \tau \operatorname{ctg} \alpha = \tau \operatorname{ctg}(90^\circ - (\beta + \gamma)) = \tau \operatorname{tg}(\beta + \gamma)$ .  $AB = DC$ . Отсюда

$$\tau = \frac{b}{\operatorname{tg}(\beta + \gamma) - \operatorname{tg} \gamma}. \quad (19)$$

Если величина фаски  $b = 0,15$  мм, то допустимая величина стачивания лезвия при прифуговке будет равна ( $\gamma = 35^\circ$ ,  $\beta = 40^\circ$ )

$$\tau = \frac{0,15}{\operatorname{tg}(40 + 35) - \operatorname{tg} 35} = 0,0495 \text{ мм.}$$

**Пример.** Дано: фреза с радиусами лезвий  $R_1 = 70,02$  мм,  $R_2 = 69,96$  мм,  $R_3 = 69,89$  мм,  $R_4 = 69,92$  мм.

В процессе прифуговки лезвий наиболее выступающие зубья были укорочены на величину  $\tau = 0,0495$  мм.

Определить высоту гребней кинематических волн на обработанной поверхности древесины.

Решение.

1. Радиусы зубьев после прифуговки равны:

$$R_1 = 70,02 - 0,0495 = 69,971 \text{ мм}, \quad R_2 = 69,96 \text{ мм}, \quad R_3 = 69,89 \text{ мм}, \quad R_4 = 69,92 \text{ мм.}$$

Радиусы  $R_2, R_3, R_4$  меньше 69,971 мм, поэтому их значения сохраняются прежними. Значение  $R = 69,971$  мм.

2. Расчеты координат вершин гребней выполнены по вышеприведенной методике. Результаты расчетов представлены ниже:

	1-2	2-3	3-4	4-1
$x$	1,385	3,447	-0,49	-0,784
$y_i$	0,014	0,096	0,081	0,055
$x_i = S_z(i-1) + x$	1,385	5,447	3,951	5,216

После прифуговки лезвий шероховатость обработанной поверхности стала равной  $R_{m \max}$

= 81 мкм, так как гребень 0,096 срезается зубьями 4 и 1.

Уменьшение величины неточности значений радиусов зубьев 1 и 2 привело к уменьшению координат  $x$  и  $y$ . Гребни волн размещаются более равномерно на участке подачи за один оборот фрезы.

Для уменьшения шероховатости обработанной поверхности надо стремиться к уменьшению погрешностей радиусов лезвий. Например, для фрезы с радиусами зубьев  $R_1 = 69,97$  мм,  $R_2 = 69,966$  мм,  $R_3 = 69,968$  мм,  $R_4 = 69,967$  мм значения координат  $x$  и  $y$  для соответствующих гребней волн будут следующие, мм:

$x$	1,14	0,93	1,035	1,105
$y_i$	0,009	0,010	0,011	0,012

Шероховатость  $R_{m\max} = 12$  мкм. Все значения  $x$  находятся в диапазоне  $S_z$ .

Для повышения точности режущего инструмента заточку и прифуговку ножевых валов и ножевых головок следует производить в собранном виде. Если образовавшаяся фаска при прифуговке будет больше 0,2 мм, то для ее удаления можно сделать дополнительную заточку с последующей прифуговкой. Так можно добиться высокой точности расположения лезвий и получить высококачественную обработанную поверхность. При этом предлагаемые формулы позволяют выполнить расчет шероховатости фрезерованной поверхности, упрощают анализ процесса формирования поверхности, а также обеспечивают прогнозирование шероховатости.

**Практические рекомендации.** Основным фактором, влияющим на шероховатость поверхности, обработанной при цилиндрическом фрезеровании, является неточность радиусов режущих кромок лезвий. Погрешность расположения режущих кромок фрезы можно устранить путем прифуговки лезвий и использования гидравлического способа крепления фрезы на шпинделе станка. В этом случае при известном требовании к шероховатости обработанной поверхности важно знать допустимую величину погрешности радиусов лезвий (18).

Значения  $\Delta$ , рассчитанные по формуле (18), приведены в таблице 5.

Таблица 5

Максимальные значения допустимых отклонений радиусов зубьев цилиндрических фрез  $\Delta = R_1 - R_i$  для получения заданной шероховатости поверхности

$y = R_{m\max}$ мм	Диаметры фрез, мм							
	60	80	100	120	140	160	180	200

	Sz, = 2,5 мм							
0,0063	0	0	0	0	0	0	0	0
0,0125	0	0	0	0	0,003	0,005	0,007	0,008
0,025	0	0,01	0,017	0,02	0,022	0,023	0,024	0,025
0,050	0,04	0,047	0,049	0,05	0,05	0,049	0,049	0,048
0,1	0,1	0,099	0,096	0,092	0,089	0,086	0,083	0,081
0,2	0,185	0,172	0,161	0,152	0,144	0,138	0,132	0,127
0,4	0,304	0,275	0,254	0,237	0,223	0,211	0,201	0,192
	Sz, = 3,0 мм							
0,0063	0	0	0	0	0	0	0	0
0,0125	0	0	0	0	0	0	0	0,002
0,025	0	0	0,005	0,012	0,016	0,019	0,021	0,022
0,050	0,023	0,037	0,044	0,047	0,049	0,05	0,05	0,05
0,1	0,095	0,1	0,1	0,098	0,096	0,094	0,091	0,089
0,2	0,196	0,188	0,178	0,17	0,163	0,156	0,15	0,145
0,4	0,340	0,312	0,290	0,271	0,256	0,244	0,233	0,233

**Пример.** Дана четырехзубая фреза диаметром  $D = 140$  мм. Погрешность величин радиусов парных зубьев:  $R = R_1 = 70,06$  мм,  $R_2 = 70,00$  мм,  $R_3 = 69,96$  мм,  $R_4 = 70,02$  мм.

Установить подачу на зуб и возможность обработки данной фрезой поверхности с шероховатостью  $R_{m \max} = 50$  мкм.

*Решение.*

1. По формуле (17) находим предельные значения подачи на зуб для четырех пар диаметров:

$S_{zn}$ , мм:            2,9                            2,4                            2,9                            2,4

Берем наибольшее из полученных значений и назначаем  $S_z=3,0$  мм.

2. По табл. 5 для заданных значений  $D = 140$  мм,  $R_{m \max} = 50$  мкм и  $S_z = 3,0$  мм находим предельно допустимое отклонение радиусов фрезы:  $\Delta_r = 0,049$  мм. Фактические погрешности радиусов пар зубьев должны быть не более этого значения. Фактическое отклонение радиусов первой и третьей пары равны соответственно 0,06 мм и – 0,06 мм. Таким образом, принятой фрезой обработать поверхность с  $R_{m \max} = 50$  мкм невозможно.

## Контрольные вопросы и задания

1. Назовите виды неровностей фрезерованных поверхностей.
2. Как определяют глубину кинематической волны?
3. Как следует готовить фрезы к работе для снижения шероховатости обработанной поверхности?

## 2.4. Динамика цилиндрического фрезерования

### 2.4.1. Силы резания. Мощность на фрезерование

Удельную силу резания при открытом продольном цилиндрическом фрезеровании определяют в зависимости от средней толщины срезаемого слоя для диапазона макрослоев и микрослоев по следующим формулам:

для макрослоев ( $a_c \geq 0,1$  мм)

$$F_{уд} = a_n a_w \left[ \frac{\alpha_p P}{a_c} + k \right], \quad (20)$$

для микрослоев ( $a_c < 0,1$  мм)

$$F_{уд} = a_n a_w \frac{F_{x1}}{a_c}, \quad (21)$$

где  $a_n$  – коэффициент, учитывающий породу древесины;

$a_w$  – коэффициент, учитывающий влажность;

$F_{x1}$  – единичная касательная составляющая силы резания, Н;

$\alpha_p$  – коэффициент затупления [5]:



$$\alpha_{\rho} = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta_{\rho}}{\rho_o + 50}. \quad (22)$$

Здесь  $k$  – касательное давление стружки на переднюю поверхность лезвия при фрезеровании древесины сосны, МПа;

$p$  – фиктивная сила резания при фрезеровании сосны, Н/мм;

$\Delta_{\rho}$  – величина затупления режущей кромки, мкм;

$\rho_o$  – радиус закругления режущей кромки острого лезвия;  $\rho_o = 4 \dots 6$  мкм.

Фиктивная сила резания при пилении сосны  $p$ , Н/мм:

$$p = 1,565 + 0,0353(\varphi_{\kappa}/2). \quad (23)$$

Касательное давление стружки на переднюю поверхность зуба для продольно-торцового резания древесины сосны, МПа:

$$k = (0,196 + 0,00392 \varphi_{\kappa}/2)\delta + (0,0686 + 0,00147 \varphi_{\kappa}/2)V' - (5,39 + 0,147 \varphi_{\kappa}/2), \quad (24)$$

где  $\varphi_{\kappa}$  – угол контакта режущей кромки с заготовкой, град;

$\delta$  – угол резания зуба, град;

$V'$  – условная скорость резания, м/с, причем, если  $V < 50$  м/с, то  $V' = (90 - V)$ , иначе  $V' = V$ , где  $V$  – скорость главного движения.

Средняя касательная сила резания на дуге контакта при фрезеровании одним зубом  $F_{x \text{ зуб}}$ , Н:

$$F_{x \text{ зуб}} = F_{y\delta} a_c b, \quad (25)$$

где  $b$  – ширина срезаемого слоя, мм;

для макрослоев ( $a \geq 0,1$  мм)

$$F_{x \text{ зуб}} = a_n a_w [\alpha_{\rho} p + k a_c] b, \quad (26)$$

для микрослоев ( $a \leq 0,1$  мм)

$$F_{x \text{ зуб } m} = a_n a_w [\alpha_{\rho} p + 0,1k] (-\frac{1}{\lambda} a_c^2 + \frac{0,2}{\lambda} a_c + 1 - \frac{0,01}{\lambda}) b, \quad (27)$$

где  $\lambda$  – коэффициент:  $\lambda = \rho^2 + 0,2\rho + 0,01$ ; здесь радиус закругления режущих кро-

мок лезвий подставляется в мм;  $\rho = \rho_0 + \Delta\rho$ .

На дуге контакта фрезы с заготовкой может находиться количество зубьев не равное единице, поэтому средняя касательная сила резания за оборот фрезы (окружная сила резания) будет

$$F_x = F_{x \text{ зуб}} \frac{l}{t_3}, \quad (28)$$

где  $l$  – длина дуги контакта, мм;

$t_3$  – шаг зубьев фрезы, мм;  $t_3 = \frac{\pi D}{z}$ , где  $D$  – диаметр окружности резания фрезы, мм;  $z$  – количество зубьев фрезы.

Мощность фрезерования  $P$ , кВт:

$$P = \frac{F_x V}{1000}.$$

## 2.4.2. Решение обратной задачи

При решении обратных задач из формул (26), (27) находят значение средней толщины срезаемого слоя. В уравнении (27) обозначим:

$$F_{x0,1} = \alpha_\rho p + 0,1k;$$

$$m_1 = \left( -\frac{1}{\lambda} a_c^2 + \frac{0,2}{\lambda} a_c + 1 - \frac{0,01}{\lambda} \right).$$

Тогда  $m_1 = \frac{F_{x \text{ зуб}}}{a_n a_w b F_{x0,1}}.$

Таким образом, коэффициент  $m_1$  представляет собой отношение текущего значения силы резания к силе резания при  $a_c = 0,1$  мм. Если  $m_1 = 1$ , то  $a_c = 0,1$  мм. Если  $m_1 > 1$ , то толщина срезаемого слоя  $a_c$  находится в диапазоне макрослоя и определяется по формуле для макрослоев; при  $m_1 < 1$  толщина срезаемого слоя  $a_{cm}$  находится по формуле для микрослоев.

При  $a_c \geq 0,1$  мм

$$a_c = \frac{\frac{F_{xzy\delta}}{a_{II} a_w b} - \alpha_{\rho} p}{k}. \quad (29)$$

Используя принятые выше обозначения, выражение (27) для микрослоев запишем в форме приведенного полного квадратного уравнения

$$a_c^2 - 0,2a_c + [0,01 + \lambda(m - 1)] = 0.$$

После решения этого уравнения получим выражение для толщины срезаемого слоя  $a_{cm}$  для микрослоев ( $a_c \leq 0,1$  мм):

$$a_{cm} = 0,1 - \sqrt{\lambda(1 - m_1)}. \quad (30)$$

Радиальная составляющая силы резания  $F_z$ , Н:

при  $a_c \geq 0,1$  мм

$$F_z = [0,5\alpha_{\rho}^2(\alpha_{\rho} p + 0,1k) \frac{\rho}{\rho + 50} - k(a_c - 0,1) \operatorname{tg}(90^{\circ} - \delta - \varphi)] a_{II} a_w b \frac{l}{t_3}, \quad (31)$$

при  $a_c < 0,1$  мм

$$F_z = a_{II} a_w b \frac{l}{t_3} 0,5\alpha_{\rho}^2 [\alpha_{\rho} p + 0,1k] \frac{\rho}{\rho + 50}, \quad (32)$$

где  $\rho$  выражается в мкм.

### Пример.

*Дано.* Проектируется новый рейсмусовый станок для обработки заготовок из древесины сосны шириною  $b = 100$  мм и влажностью  $W = 10\%$ . Диаметр окружности резания ножевого вала  $D = 128$  мм, частота вращения вала  $n = 5000$  мин<sup>-1</sup>, число ножей  $z = 4$ , угол резания ножей  $\delta = 65^{\circ}$ . Период стойкости ножей  $T = 240$  мин, шероховатость обработанной поверхности  $R_m = 100$  мкм, глубина фрезерования  $t = (2; 4; 5; 6)$  мм. Ширина стола  $b_c = 630$  мм.

Конструктивная скорость подачи  $V_{sk} \leq 36$  м/мин.

С учетом аналогов принята мощность электродвигателя механизма главного движения  $P$

= 7 кВт, КПД передачи  $\eta = 0,94$ .

Определить скорости подач и построить график скоростей подач.

Решение.

1. Скорость главного движения

$$V = \pi D n / 60000 = 3,14 \cdot 128 \cdot 5000 / 60000 = 33,51 \text{ м/с.}$$

2. Угол контакта режущей кромки с заготовкой для  $t = (2; 4; 5; 6)$  мм:

$$\varphi_k = 115 \sqrt{t/D} = 115 \sqrt{2/128} = 14,375^\circ.$$

Результаты расчетов представлены в табл. 6 и на рис. 13.

3. Длина дуги контакта  $l_k = \sqrt{tD} = \sqrt{2 \cdot 128} = 16,0$  мм.

4. Подача на зуб с ограничением по шероховатости. Длина волны по заданной шероховатости  $l_\theta = S_z = 7,3$  мм выбирается по табл. 3. Подача на зуб

$$S_z = l_\theta / z = 7,3 / 4 = 1,825 \text{ мм.}$$

5. Прирост затупления лезвий за время работы

$$\Delta_\rho = \gamma_{\Delta k} n T K_n K_{ul} / 1000 = 0,0008 \cdot 16,0 \cdot 5000 \cdot 240 \cdot 0,9 \cdot 0,9 / 1000 = 12,02 \text{ мкм.}$$

6. Фиктивная сила резания

$$p = 1,565 + 0,0353(\varphi_k/2) = 1,565 + 0,0353 \cdot 14,375 / 2 = 1,82 \text{ Н/мм.}$$

7. Касательное давление стружки на переднюю грань

$$k = (0,196 + 0,00392 \varphi_k/2) \delta + (0,0686 + 0,00147 \varphi_k/2)(90 - V) - (5,39 + 0,147 \varphi_k/2) = (0,196 + 0,00392 \cdot 14,38/2) 65 + (0,0686 + 0,00147 \cdot 14,38/2)(90 - 33,49) - (5,39 + 0,147 \cdot 14,38/2) = 12,6 \text{ МПа.}$$

8. Коэффициент затупления

$$\alpha_\rho = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta_\rho}{\rho_o + 50} = 1 + (1 + 0,1 \frac{12,6}{1,82}) \frac{12,03}{5 + 50} = 1,37.$$

Таблица 6

Результаты расчетов

Параметр	Обозначение	Размерность	Глубина фрезерования $t$ , мм			
			2	4	5	6
Скорость резания	$V$	м/с	33,51	33,51	33,51	33,51
Угол контакта	$\varphi_k$	град	14,38	20,33	22,73	24,90
Длина дуги контакта	$l_k$	мм	16,0	22,6	25,3	27,7
Подача на зуб по шероховатости	$S_{z1}$	мм	1,8	1,8	1,8	1,8
Прирост затупления	$\Delta_p$	мкм	12,03	17,01	19,02	20,83
Фиктивная сила резания	$p$	Н/мм	1,82	1,92	1,97	2,0
Касательное давление	$k$	МПа	12,6	13,2	13,4	13,6
Коэффициент затупления	$\alpha_p$	–	1,37	1,52	1,58	1,64
Окружная сила резания	$F_{xo}$	Н	196,4	196,4	196,4	196,4
Средняя сила резания на дуге контакта	$F_{x\text{зуб}}$	Н	1233,8	872,4	780,3	712,3
Средняя толщина среза при						
$b = 100$ мм	$a_c$	мм	0,78	0,44	0,35	0,28
$b = 200$ мм	$a_c$	мм	0,29	0,11	0,06	0,04
$b = 300$ мм	$a_c$	мм	0,13	0,03	0,02	0,01
Подача на зуб по мощности при						

$b = 100 \text{ мм}$	$S_{z2}$	мм	6,25	2,49	1,77	1,31
$b = 200 \text{ мм}$	$S_{z2}$	мм	2,34	0,62	0,29	0,18
$b = 300 \text{ мм}$	$S_{z2}$	мм	1,03	0,18	0,10	0,06
Расчетная подача на зуб при						
$b = 100 \text{ мм}$	$S_{zp}$	мм	1,80	1,80	1,77	1,31
$b = 200 \text{ мм}$	$S_{zp}$	мм	1,80	0,62	0,29	0,18
$b = 300 \text{ мм}$	$S_{zp}$	мм	1,03	0,18	0,10	0,06
Скорость подачи при						
$b = 100 \text{ мм}$	$V_s$	м/мин	36,0	36,0	35,4	26,2
$b = 200 \text{ мм}$	$V_s$	м/мин	36,0	12,4	5,8	3,6
$b = 300 \text{ мм}$	$V_s$	м/мин	20,6	3,6	2,0	1,1

9. Окружная касательная сила резания

$$F_{xo} = 1000P\eta/V = 1000 \cdot 7 \cdot 0,94 / 33,51 = 196,4 \text{ Н.}$$

10. Средняя сила резания на дуге контакта

$F_{хзуб}$

=

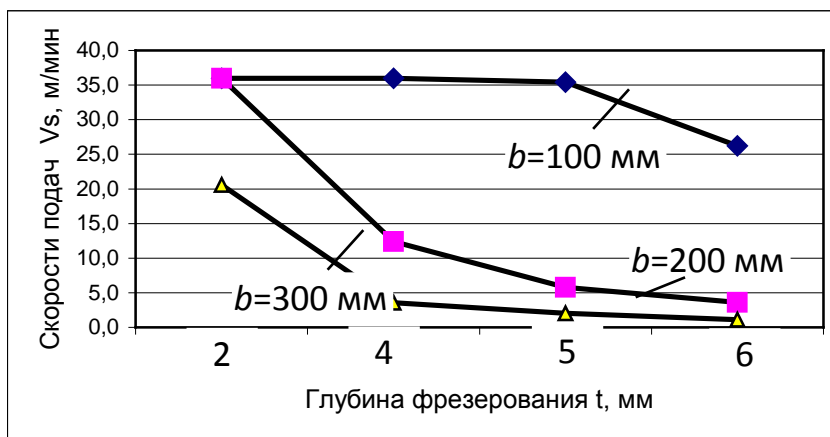


Рис. 13. График скоростей подач

продольно-фрезерного станка

$$F_{x0} \pi D / (kz) = 196,4 \cdot 3,14 \cdot 128 / (16 \cdot 4) = 1233,8 \text{ Н.}$$

11. Средняя толщина срезаемого слоя при подаче по одной заготовке ( $b = 100 \text{ мм}$ ).

### Коэффициенты

$$\lambda = \rho^2 + 0,2\rho + 0,01; \rho = \rho_0 + \Delta_\rho; \rho - \text{ в миллиметрах.}$$

$$\lambda = (0,005 + 0,0123)^2 + 0,2(0,005 + 0,0123) + 0,01 = 0,01369;$$

$$F_{x0,1} = \alpha_\rho p + 0,1k = 1,37 \cdot 1,82 + 0,1 \cdot 12,6 = 3,75 \text{ Н/мм};$$

$$m_1 = \frac{F_{x \text{ зуб}}}{a_n a_w b d} = \frac{1233,8}{1 \cdot 1 \cdot 100 \cdot 3,75} = 3,3.$$

Так как  $m_1 > 1$ , то толщина срезаемого слоя  $a_c$  определяется по формуле для макрослоев

$$a_c = \frac{\frac{F_{x \text{ зуб}}}{a_n a_w b} - \alpha_\rho p}{k} = \frac{\frac{1233,8}{1 \cdot 1 \cdot 100} - 1,37 \cdot 1,82}{12,6} = 0,78 \text{ мм.}$$

При срезании микрослоев толщина срезаемого слоя находится по формуле (для  $b = 200 \text{ мм}$  и  $t = 6 \text{ мм}$ )

$$a_{cm} = 0,1 - \sqrt{\lambda(1 - m_1)} = 0,1 - \sqrt{0,0158(1 - 0,77)} = 0,04 \text{ мм.}$$

12. Подача на зуб, ограниченная мощностью привода:

$$S_{z2} = a_c / \sqrt{t/D} = 0,78 / \sqrt{2/128} = 6,25 \text{ мм.}$$

За расчетную подачу на зуб принимается наименьшее значение из подач с ограничениями по шероховатости и мощности привода.

13. Скорость подачи

$$V_s = S_{zp} z n / 1000 = 6,25 \cdot 4 \cdot 5000 / 1000 = 36,5 \text{ м/мин.}$$

## 2.4.4. О выборе величины диаметра фрезы

В современной теории резания древесины нет четких рекомендаций по выбору величины диаметра фрезы. В известных исследовательских работах получены противоречивые результаты по этому вопросу. Так, по данным П. Коха затраты мощности на фрезерование древесины при работе фрезой диаметром 228 мм на 3,37 - 10,8 % больше, чем при

работе фрезой диаметром 194 мм.

В расчетной формуле мощности на фрезерование древесины Грубе А.Э., Санева В.И. значение диаметра фрезы входит в значение скорости главного движения  $v^{-0,37}$ . Из формулы следует, что чем больше диаметр фрезы, тем меньше мощность на фрезерование.

Цилиндрическое фрезерование имеет совпадающие признаки с пилением древесины круглыми пилами. По мнению автора, для пиления древесины предпочтительнее брать пилу большего диаметра и работать ее центральной зоной. В этом случае заметно уменьшаются длины дуг контакта зубьев с заготовкой, а увеличение фиктивной силы и касательного давления на переднюю поверхность лезвий незначительно.

Надо выбирать режим резания так, чтобы длина дуги контакта режущего инструмента с заготовкой была минимальной. Для цилиндрического фрезерования это возможно при работе фрезами небольшого диаметра. С уменьшением диаметра фрезы длина дуги контакта уменьшается, в результате чего износ и затупление лезвий, а также образование фаски по задним поверхностям лезвий замедляется. Лезвия дольше остаются острыми, период стойкости их увеличивается.

С другой стороны, с уменьшением диаметра фрезы увеличивается угол перерезания волокон (равен углу подачи), и это затрудняет условия срезания стружки. Резание приближается к торцовому. В результате этого фиктивная сила резания и касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность лезвий увеличиваются.

Кроме того, с уменьшением диаметра фрезы скорость главного движения резания убывает и вызывает увеличение удельной работы резания.

Таким образом, с уменьшением диаметра фрезы на процесс фрезерования древесины одновременно действуют, по крайней мере, три фактора по разному влияющие на динамику фрезерования. Совместное их действие может вызвать как увеличение, так и уменьшение энергозатрат на резание.

Ниже приведены результаты исследования на математической модели, используемой при решении прямых и обратных задач по фрезерованию древесины [5].

*Исходные данные.* Фрезерование выполняется на станке с шириной фрезерования 100 мм и глубиной фрезерования  $t = 2; 4; 5; 6; 10; 15; 20; 25$  мм. Диаметр фрезы  $D = 50; 80; 100; 128; 140; 200$  мм, число зубьев 4, угол резания  $65^\circ$ , частота вращения шпинделя  $5000 \text{ мин}^{-1}$ , период стойкости фрез 240 мин, коэффициент производительности станка 0,9, коэффициент использования станка 0,87, мощность электродвигателя механизма главного движения 7 кВт, КПД привода 0,94. Обрабатывается древесина сосны с влажностью 10%. Величина затупления лезвий на 1 м пути – 0,0008 мкм/м.

При решении задачи находилась максимально возможная скорость подачи при максимальной загрузке электродвигателя механизма главного движения по мощности. Результаты расчета сведены в табл. 7.

Из таблицы видно, что с увеличением диаметра фрезы при прочих одинаковых условиях возможная скорость подачи при глубине фрезерования до 4 мм увеличивается. Это означает, что с увеличением диаметра фрезы в указанном диапазоне энергозатраты на фрезерование убывают.



Таблица 7

Максимальная скорость подачи фрезерного станка, м/мин

Диаметр фрезы, мм	Глубина фрезерования, мм							
	2	4	5	6	10	15	20	25
50	114,0	48,4	35,8	27,8	12,4	5,2	1,8	0,8
80	119,0	49,4	36,2	27,8	11,0	3,0	1,2	0,4
100	121,6	49,6	36,0	27,0	10,0	2,4	0,8	0,2
128	125,0	49,8	35,4	26,2	8,2	1,8	0,4	0
140	126,6	49,8	35,2	25,6	7,2	1,6	0,2	0
200	134,8	50,0	33,8	23,2	4,2	0,6	0	0

При глубине фрезерования более 4 мм увеличение диаметра фрезы приводит к уменьшению скорости подачи, к увеличению энергозатрат на фрезерование. Такая закономерность наблюдается для всех режимов резания при глубине фрезерования более 4 мм.

Для понимания такого процесса в табл. 8 основные параметры фрезерования и их изменение.

Основным фактором процесса фрезерования, увеличивающим энергопотребление, является затупление лезвий. Коэффициент затупления изменяется от 1,24 до 1,83 (в 1,48 раза) для фрезы диаметром 50 мм и от 1,38 до 2,33 (в 1,69 раза) для фрезы диаметром 140 мм. Фиктивная сила резания изменяется соответственно от 1,97 до 3,0 Н/мм (1,52 раза) и от 1,81 до 2,42 Н/мм (1,34 раза). Касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность лезвия  $k$  изменяется соответственно от 15,2 до 21,6 МПа (1,42 раза) и от 12,3 до 15,5 МПа (1,26 раза).

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. С увеличением диаметра фрезы интенсивно нарастают процессы износа и затупления лезвий. Для фрезы диаметром 140 мм по сравнению с фрезой диаметром 50 мм коэффициент затупления увеличивается на 21%.
2. С увеличением диаметра фрезы уменьшается угол перерезания волокон древесины, и это приводит к уменьшению:
  - фиктивной силы резания на 18 %;
  - касательного давления на 16 %.
3. Совместное действие указанных факторов вызывает увеличение энергозатрат при увеличении диаметра фрезы.

Таблица 8

Зависимость параметров фрезерования от диаметра фрезы

Диаметр фрезы, мм	Глубина фрезерования, мм							
	2	4	5	6	10	15	20	25
	Длина дуги контакта, мм							

50	10,0	14,1	15,8	17,3	22,36	27,4	31,6	35,4
	Коэффициент затупления $\alpha_p$							
	1,24	1,34	1,38	1,41	1,53	1,65	1,75	1,83
	Фиктивная сила резания $p$ , Н/мм							
	1,97	2,14	2,21	2,27	2,47	2,68	2,85	3,0
	Касательное давление на лезвие $k$ , МПа							
	15,2	16,2	16,6	17,0	18,3	19,6	20,7	21,6
140	Длина дуги контакта, мм							
	16,7	23,7	25,5	29,0	37,4	45,8	52,9	59,2
	Коэффициент затупления $\alpha_p$							
	1,38	1,54	1,60	1,66	1,85	2,03	2,19	2,33
	Фиктивная сила резания $p$ , Н/мм							
	1,81	1,91	1,95	1,99	2,11	2,23	2,33	2,42
	Касательное давление на лезвие $k$ , МПа							
	12,3	12,8	13,0	13,2	13,9	14,5	15,1	15,5

При цилиндрическом продольном фрезеровании древесины предпочтительно работать фрезой небольшого диаметра.

### Контрольные вопросы и задания

1. Напишите формулы для расчета сил резания при срезании макро- и микромлоев.
2. Определите значение коэффициента затупления, если начальный и конечный радиусы закругления режущей кромки лезвия равны соответственно 10 и 35 мкм, фиктивная сила резания  $p = 150$  Н/мм, касательное давление на переднюю поверхность  $k = 18,5$  МПа.
3. Напишите формулы для определения толщины срезаемого слоя при удалении макро- и микромлоев.

## Глава 3

# Пазовое двухстороннее фрезерование

## 3.1. Общие сведения

Пазовое фрезерование представляет собой процесс обработки в заготовке вращающейся концевой фрезой сквозных или несквозных пазов, гнезд под шипы. Это цилиндрическое фрезерование, при котором глубина фрезерования  $t = 2R$ , где  $R$  – радиус окружности резания фрезы.

Концевые фрезы выпускаются цилиндрические одно- и двузубые, а также для обработки ящичных шипов типа "ласточкин хвост". Кроме того, выпускаются фрезы, оснащенные твердым сплавом ВК15.

Концевая фреза имеет торцовые и боковые режущие кромки. Торцовые режущие кромки имеют поднутрение (наклон) к центру под углом  $2...3^\circ$ . Задний угол торцовых кромок составляет  $20...25^\circ$ . Боковые режущие кромки имеют задний угол  $10...15^\circ$  и передний –  $30...35^\circ$ .

Концевые фрезы выпускают диаметром от 4 до 25 мм. Частота их вращения на станках назначается от 3000 до 24000 мин<sup>-1</sup>.

## 3.2. Кинематика пазового фрезерования

### 3.2.1. Формирование паза в два этапа

Рассмотрим процесс выборки паза с дном (рис. 14). Пусть формирование паза осуществляется в два этапа. Сначала производится заглабление фрезы с подачей вдоль ее оси. В этом случае основную работу выполняют торцовые режущие кромки. Образуется цилиндрическое отверстие. Затем включается боковая подача. В работу включаются боковые режущие кромки, расположенные на внешней поверхности фрезы. Торцовые режущие

кромки в этом случае только зачищают дно паза.

Ширина паза равна диаметру фрезы  $D$ . Угол контакта фрезы с древесиной равен  $180^\circ$ . Толщина срезаемого слоя увеличивается от нуля в точке А до максимального значения в точке В и затем уменьшается до нуля в точке С. Глубина паза принимается за ширину фрезерования, которая обычно не превышает  $1,5 D$ . Если необходимо получить более глубокий паз, то операцию формирования паза

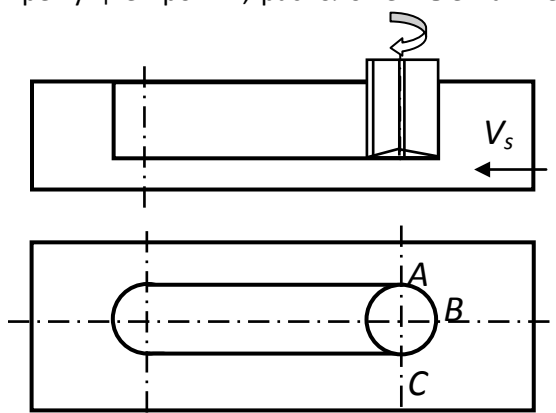


Рис. 14. Схема пазового

4

фрезерования

выполняют за несколько проходов. При этом на участке  $AB$  выполняется встречное цилиндрическое фрезерование, а на участке  $BC$  – попутное.

Скорость главного движения равна, м/с

$$V = \frac{\pi D n}{60000}, \quad (33)$$

где  $D$  – диаметр фрезы, диаметр окружности вращения боковых режущих кромок, мм;

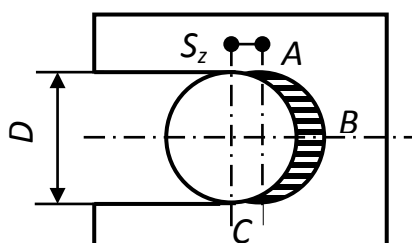
$n$  – частота вращения фрезы,  $\text{мин}^{-1}$ .

Значение боковой подачи на зуб, мм, находят по формуле

$$S_z = \frac{1000 V_s}{Z n}, \quad (34)$$

где  $V_s$  – скорость подачи, м/мин;

$Z$  – число зубьев фрезы.



Для определения размеров срезаемого слоя обратимся к рис. 15. Площадь срезаемого слоя равна:

– с одной стороны  $f = 2S_z R$ ,

– с другой стороны  $f = a_c \pi R$ ,

Рис. 15. Схема к расчету размеров срезаемого слоя

где  $S_z$  – подача на один зуб фрезы, мм;

$R$  – радиус фрезы, мм;

$a_c$  – среднее значение толщины срезаемого слоя, мм.

Отсюда средняя толщина срезаемого слоя

$$a_c = \frac{2S_z}{\pi} = 0,64S_z. \quad (35)$$

Толщину срезаемого слоя принято определять по формуле

$$a_c = S_z \sin(\varphi_k / 2),$$

где  $\varphi_k$  – угол контакта фрезы с заготовкой;  $\varphi_k/2$  – численно равно углу перерезания волокон  $\varphi_b$ ; при расположении паза параллельно волокнам древесины  $\varphi_b = \arcsin 0,64 = 39,5^\circ$ ; при расположении паза перпендикулярно волокнам  $\varphi_b = 90^\circ - 39,5^\circ = 50,5^\circ$ .

### 3.2.2. Непрерывное формирование паза

На современных станках формирование паза осуществляется непрерывным способом, когда осевая подача фрезы (сверление) и боковая подача (фрезерование) происходят одновременно. Для этого шпиндель сверлильно-пазовального станка соединяют с двигателем кривошипно-шатунным механизмом. Траектории зубьев фрезы в заготовке при непрерывном пазовом фрезеровании показаны на рис. 16.

Скорость осевой подачи на станке постоянна.

Скорость боковой подачи переменна и может быть определена по формуле

$$V_s = \frac{\pi n_1 (l - D)}{1000} \sin \alpha,$$

где  $n_1$  – число двойных ходов фрезы в минуту,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$l$  – длина паза, мм;

$D$  – диаметр фрезы, мм;

$\alpha$  – текущий угол поворота кривошипа, град.

При углах поворота  $\alpha = 0^\circ$  и  $\alpha = 180^\circ$  скорость боковой подачи равна нулю, при  $\alpha = 90^\circ$  и  $\alpha = 270^\circ$  скорость подачи достигает максимального значения:

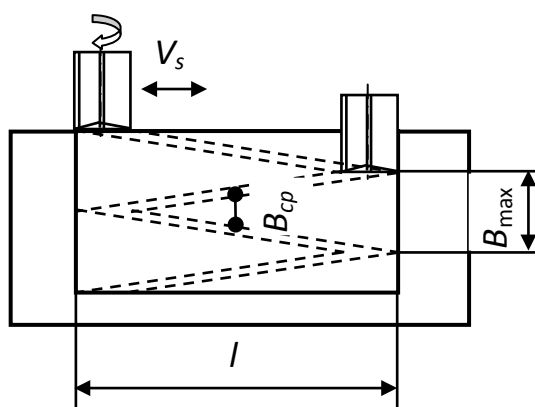


Рис. 16. Схема непрерывного пазового фрезерования

$$V_{s \max} = \frac{\pi n_1 (l - D)}{1000}.$$

Для этой скорости будет соответствовать максимальное значение подачи на зуб

$$S_{z \max} = \frac{\pi n_1 (l - D)}{Z n},$$

где  $Z$  – число зубьев фрезы;

$n$  – частота вращения фрезы,  $\text{мин}^{-1}$ .

В расчетах используют среднее значение подачи на зуб  $S_{z \text{ cp}} = 0,5 S_{z \max}$ . При этом отношение  $S_{z \max} / S_{z \text{ cp}} = 1,57$ .

Ширина фрезерования тоже переменна. Максимальное значение ширины фрезерования равно, мм

$$B_{\max} = \frac{1000V_{s1}}{n_1},$$

где  $V_{s1}$  – скорость осевой подачи, м/мин;

$n_1$  – частота двойных ходов фрезы, мин<sup>-1</sup>.

Среднее значение ширины фрезерования

$$B_{cp} = \frac{500V_{s1}}{n_1}.$$

### 3.3. Динамика пазового фрезерования

При продольном фрезеровании угол перерезания волокон  $\varphi_b$  увеличивается от нуля в точке *A* до 90° в точке *B* и затем до 180° в точке *C* (см. рис. 15). Резание древесины переходит от продольного к торцовому и снова к продольному. Для расчета значений фиктивной силы резания  $p$  и касательного давления на переднюю поверхность зуба  $k$  принимают промежуточное значение угла перерезания волокон между продольным и торцовым резанием, т.е.  $\varphi_b = 39,5^\circ$  для продольного фрезерования и  $\varphi_b = 50,5^\circ$  для поперечного фрезерования.

Предварительно рассчитав средние значения толщины и ширины срезаемого слоя, остатальной расчет можно выполнить по методике цилиндрического фрезерования.

Работа торцовых режущих кромок затрачивается на преодоление сил трения и зачистку поверхности дна паза. При поднутрении торцовых режущих кромок под углом 2...3° силы резания на них составляют около 5% от окружной силы резания на боковых режущих кромках. Расчетное окружное усилие резания можно определить по формуле

$$F_{xop} = 1,05F_{xo}.$$

Мощность, расходуемая на резание, кВт

$$P = \frac{F_{xop}V}{1000}.$$

### Контрольные вопросы и задания

1. Для чего применяется пазовое фрезерование и какой режущий инструмент для этого применяется?

2. Напишите формулы для скоростей главного движения и подачи при пазовом фрезеровании.
3. Как находят угол перерезания волокон древесины при пазовом фрезеровании?
4. Напишите уравнение для определения фиктивной силы и касательного давления срезаемого слоя на переднюю поверхность зуба.

## Глава 4

# Коническое фрезерование

При коническом фрезеровании ось вращения режущего инструмента  $DD$  составляет острый угол с обработанной поверхностью, а режущие кромки лезвий описывают в пространстве конические поверхности и срезают припуск постоянной толщины (рис. 17). Фрезерование применяется для получения плоских поверхностей с шероховатостью  $R_z = 16...30$  мкм в деталях прямоугольного сечения. При коническом фрезеровании на обработанной поверхности практически нет кинематических неровностей.

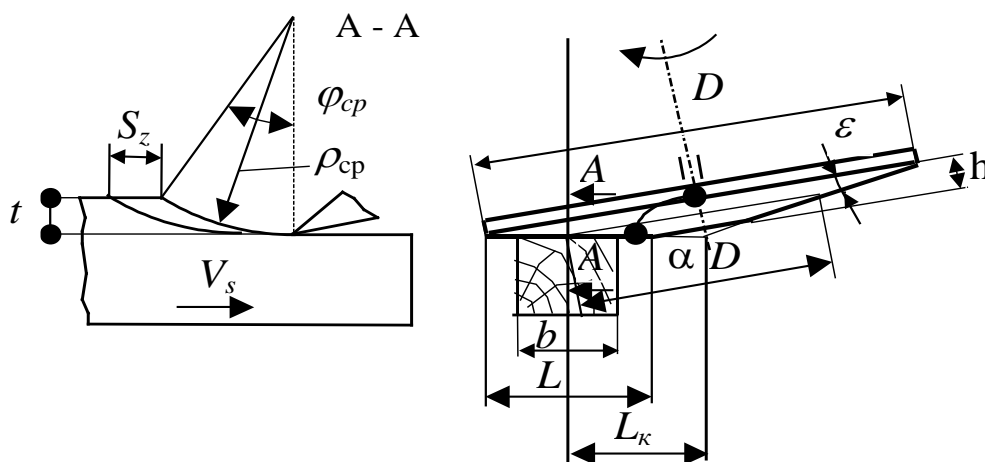


Рис. 17. Схема конического фрезерования

В сечении А - А на середине образующей  $L$  конуса коническая поверхность дает гиперболу с большим радиусом кривизны  $\rho_{cp}$ , мм:

$$\rho_{cp} = L_k \operatorname{tg} \alpha$$

или

$$\rho_{cp} = 0,5 \left( \frac{D}{\sin \varepsilon} - \frac{L}{\operatorname{tg} \varepsilon} \right). \quad (36)$$

Угол  $\varepsilon$  принимают 10...12° ( $\alpha = 78...80^\circ$ ). При  $\varepsilon \rightarrow 0$   $\rho_{cp} \rightarrow \infty$ . Угол контакта  $\varphi_{cp}$ , град:

$$\varphi_{cp} = \arccos \left( 1 - \frac{t}{\rho_{cp}} \right). \quad (37)$$

Длина дуги контакта  $l_{cp}$ , мм

$$l_{cp} = \rho_{cp} \varphi_{cp}. \quad (38)$$

Средняя толщина срезаемого слоя  $a_{cp}$ , мм

$$a_{cp} = S_z t / l_{cp}. \quad (39)$$

Практически  $l_{cp}$  в десятки – сотни раз больше глубины фрезерования  $t$ . Это позволяет применять большие подачи на зуб при срезании тонких стружек, обеспечивая высокое качество обработки. Высота кинематических неровностей

$$H_{\max} = 125 S_z^2 / \rho_{cp}. \quad (40)$$

Скорость главного движения

$$V = \pi D_{cp} n / 60000,$$

где  $D_{cp}$  – средний диаметр фрезы, мм.

**Пример.** Дано:  $\varepsilon = 10^\circ$ ,  $\alpha_k = 80^\circ$ ,  $\delta = 60^\circ$ ;  $D = 225$  мм,  $h = 15$  мм,  $z = 2$ ,  $L = 86$  мм,  $b = 50$  мм,  $t = 2$  мм;  $V_s = 24$  м/мин,  $n = 3000$  мин<sup>-1</sup>, порода – сосна, зубья острые.

Определить силы и мощность резания.

Решение.

Радиус кривизны

$$\rho_{cp} = 0,5 \left( \frac{D}{\sin \varepsilon} - \frac{L}{\operatorname{tg} \varepsilon} \right) = 0,5 \left( \frac{225}{\sin 10^\circ} - \frac{86}{\operatorname{tg} 10^\circ} \right) = 804 \text{ мм.}$$

Угол контакта



$$\varphi_{cp} = \arccos(1 - t / \rho_{cp}) = \arccos(1 - 2 / 804) = 4^\circ.$$

Длина дуги контакта

$$l_{cp} = \rho_{cp} \varphi_{cp} = \rho_{cp} \pi \varphi_{cp} / 180^\circ = 804 \cdot 3,14 \cdot 4 / 180 = 56,1 \text{ мм.}$$

Средний диаметр окружности резания

$$D_k = D - L \cos \varepsilon = 225 - 86 \cdot \cos 10^\circ = 150 \text{ мм.}$$

Средняя скорость главного движения

$$V = \pi D_{cp} n / 60000 = 3,14 \cdot 150 \cdot 3000 / 60000 = 23,6 \text{ м/с.}$$

Стружка образуется при продольно-торцово-поперечном резании. Для простоты расчетов примем резание продольно-торцовым. Тогда при угле встречи с волокнами  $\varphi_8 = \varphi_{cp} / 2$ :

$$\begin{aligned} k &= (0,196 + 0,0039 \varphi_8) \delta + (0,069 + 0,0014 \varphi_8) V_1 - (5,4 + 0,158 \varphi_8) = \\ &= (0,196 + 0,0039 \cdot 2^\circ) 60^\circ + (0,069 + 0,0014 \cdot 2^\circ) (90 - 23,6) - (5,4 + 0,158 \cdot 2^\circ) = 11,3 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Фиктивная сила резания

$$p = 1,57 + 0,0359 \varphi_8 = 1,57 + 0,0359 \cdot 2^\circ = 1,64 \text{ Н / мм.}$$

Подача на зуб

$$S_z = 1000 V_s / (z n) = 1000 \cdot 24 / (2 \cdot 3000) = 4 \text{ мм.}$$

Средняя толщина срезаемого слоя

$$a_{cp} = S_z t / l_{cp} = 4 \cdot 2 / 56,1 = 0,14 \text{ мм.}$$

Суммарная удельная сила резания

$$F_{y\delta} = k + \alpha_p p / a_{cp} = 11,3 + 1 \cdot 1,64 / 0,14 = 23,0 \text{ МПа.}$$

Мощность

$$P = F_{y\delta} b t V_s / 60000 = 23,0 \cdot 50 \cdot 2 \cdot 24 / 60000 = 0,92 \text{ кВт.}$$

Окружная сила резания

$$F_{x_{окр}} = 1000 P / V = 1000 \cdot 0,92 / 23,6 = 39 \text{ Н.}$$

Средняя сила резания на дуге контакта

$$F_{x_{cp}} = F_{y\delta} a_{cp} b = 23,0 \cdot 0,14 \cdot 50 = 161 \text{ Н.}$$

Высота кинематических неровностей

$$H_{\max} = 125S_z^2 / \rho_{cp} = 125 \cdot 4^2 / (8 \cdot 804) = 2,5 \text{ мкм.}$$

## Контрольные вопросы и задания

1. Изобразите схему конического фрезерования.
2. В каких случаях применяют коническое фрезерование?
3. Напишите формулы для определения толщины срезаемого слоя, дуги контакта, высоты кинематических неровностей.

## Глава 5 Фрезерование торцовыми фрезами

### 5.1. Общие сведения

Различают два основных вида фрезерования: тангенциальное, и радиальное. При тангенциальном фрезеровании режущие кромки вращающегося цилиндрического инструмента образуют обработанную поверхность параллельно оси его вращения. При радиальном фрезеровании лезвия вращающейся торцовой фрезы образуют обработанную поверхность перпендикулярно к оси ее вращения.

При обработке древесины торцовой фрезой срезаемый слой удаляется боковыми и торцовыми режущими кромками (рис. 18). Основную работу резания выполняют боковые режущие кромки, которые могут быть расположены перпендикулярно или наклонно к

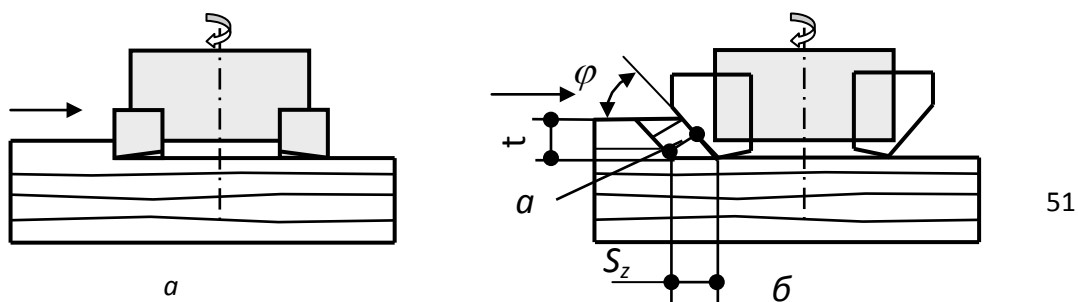


Рис. 18. Торцовое фрезерование:

а – торцово-цилиндрическое; б – торцово-коническое

обработанной поверхности. Торцовые режущие кромки только подчищают обработанную поверхность.

Процесс резания боковыми режущими кромками имеет много общего с процессом цилиндрического фрезерования. Так скорость главного движения резания

$$V = \frac{\pi D n}{60000},$$

где  $D$  – диаметр окружности резания фрезы, мм;

$n$  – частота вращения фрезы, мин<sup>-1</sup>.

Скорость подачи при фрезеровании, м/мин

$$V_s = \frac{S_z z n}{1000},$$

где  $S_z$  – подача на один зуб фрезы, мм;

$z$  – число зубьев фрезы.

Различают фрезерование симметричное и несимметричное. При симметричном фрезеровании ось вращения фрезы совпадает с продольной осью заготовки, ширина которой меньше диаметра фрезы (рис. 19, а). При несимметричном фрезеровании фрезу размещают произвольно относительно заготовки. Наиболее выгодные условия врезания зубьев фрезы в древесину наблюдаются при несимметричном фрезеровании, когда смещение фрезы относительно кромки заготовки со стороны врезания зубьев  $C = (0,03...0,05)D$  (рис. 19, б).

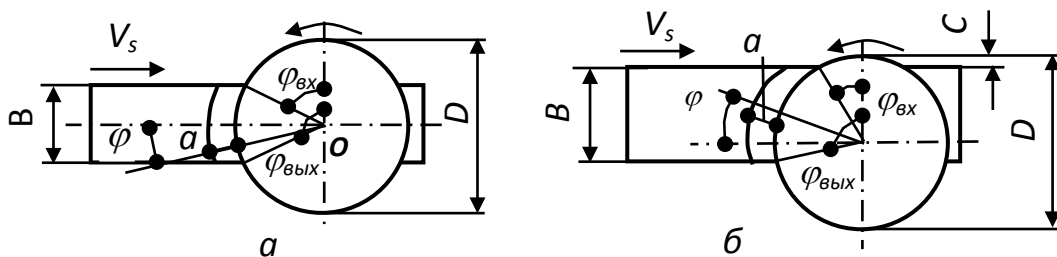


Рис. 19. Схемы фрезерования:

**а** – симметричного; **б** – несимметричного

Очень часто значение  $C = 0$ . В этом случае врезание зуба фрезы в древесину усложняется. Как и при цилиндрическом фрезеровании, толщина срезаемого слоя увеличивается от нуля, и лезвие врезается в древесину не сразу, а сначала скользит по поверхности резания.

## 5.2. Размеры срезаемого слоя

Глубина фрезерования  $t$ , мм – толщина слоя материала, снимаемого с поверхности заготовки фрезой за один проход. Она равна расстоянию между обрабатываемой и обработанной поверхностями (см. рис. 18,б).

Ширина фрезерования  $B$ , мм – ширина поверхности, обрабатываемой за один проход.

Угол контакта фрезы  $\varphi_k$  – центральный угол, образованный радиусами, проведенными в точки входа и выхода фрезы:

$$\varphi_k = \varphi_{вых} - \varphi_{вх},$$

где  $\varphi_{вых}$ ,  $\varphi_{вх}$  – соответственно угол выхода и входа.

Для симметричного фрезерования (см. рис. 19,а)

$$\sin \frac{\varphi_k}{2} = \frac{B}{D},$$

$$\varphi_k = 2 \arcsin \frac{B}{D}. \quad (41)$$

Для несимметричного фрезерования (см. рис. 19, б)

$$\varphi_{вх} = \arccos\left(\frac{D - 2C}{D}\right);$$

$$\varphi_{вых} = \left(\frac{\pi}{4} - \varphi_{вх}\right) + \arcsin\left(\frac{2B + 2C - D}{D}\right);$$

$$\varphi_{вых} = \left(\frac{\pi}{4} - \arccos\frac{D - 2C}{D}\right) + \arcsin\left(\frac{2B + 2C - D}{D}\right);$$

$$\varphi_k = \frac{\pi}{4} - 2 \arccos\frac{D - 2C}{D} + \arcsin\left(\frac{2B + 2C - D}{D}\right).$$

Длина дуги контакта

$$l_k = \frac{D}{2} \varphi_k, \quad (42)$$

где  $\varphi_k$  – угол контакта лезвия с заготовкой, рад.

Толщина срезаемого слоя  $a_c$ , мм, измеряется в направлении продолжения радиуса фре-

зы (см. рис. 19). В диаметральной плоскости фрезы толщина срезаемого слоя достигает максимального значения  $S_z$ . Среднее значение толщины срезаемого слоя находят следующим образом: сечение срезаемого слоя  $S = S_z B = a_c l_k$ ; отсюда

$$a_c = \frac{S_z B}{l_k}. \quad (43)$$

Обычно  $a_c$  находят по формуле

$$a_{cp} = S_z \sin \mu,$$

где  $S_z$  – подача на зуб, мм;

$\mu$  – угол подачи, измеряемый между векторами скоростей подачи и главного движения; при продольном фрезеровании  $\mu = \varphi_в$ , где  $\varphi_в$  – угол встречи с волокнами.

Угол встречи с волокнами

$$\varphi_в = \arcsin \frac{B}{l_k}. \quad (44)$$

### 5.3. Профили обрабатываемых деталей

Методом фрезерования торцевой фрезой обрабатывается большое количество профилей деталей дверей, дверных коробок, филенок, мебельных рамок, деталей окон, раскладок, штапиков, наличников, плинтусов и др. На рис. 20 приведены примеры профилей некоторых деталей. Боковая режущая кромка лезвия торцевой фрезы может быть прямой или криволинейной, наклонной или вертикальной. Торцовая кромка прямая. В современных торцевых фрезах используются неперетачиваемые твердосплавные ножи одноразового использования.

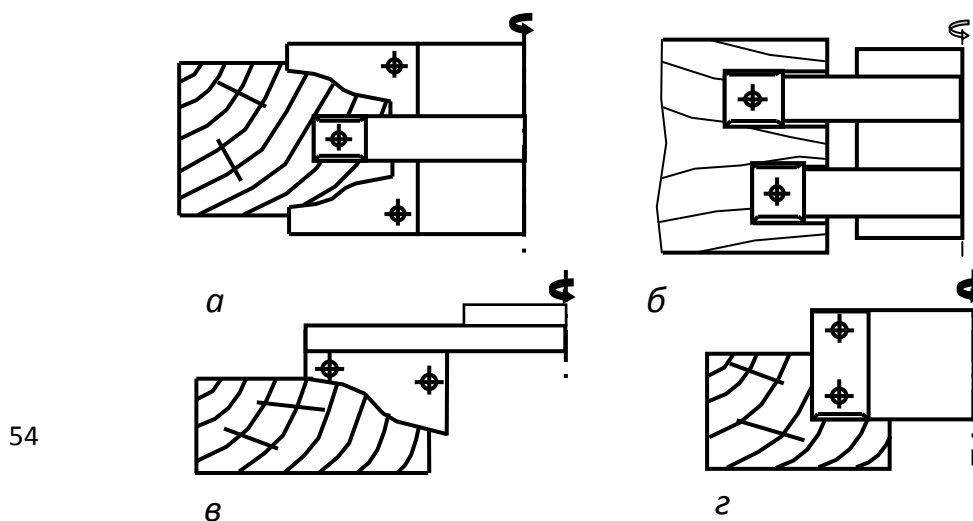


Рис. 20. Обработка профилей деталей:

*a* – брусок двери; *б* – брусок дверной коробки;

## Контрольные вопросы и задания

1. Изобразите схему фрезерования древесины торцевой фрезой. Назовите достоинства и недостатки торцового фрезерования.
2. Какие профили деталей обрабатываются при торцовом фрезеровании?
3. Как определяется средняя толщина срезаемого слоя и угол перерезания волокон (угол встречи)?

## 5.4. Динамика фрезерования

### 5.4.1. Фиктивная сила и касательное давление срезаемого слоя

При продольном фрезеровании древесины торцевой фрезой боковая наклонная режущая кромка выполняет резание продольно-поперечно-торцовое (рис. 21). При угле наклона боковой режущей кромки  $\varphi_n = 0$  резание на дуге контакта изменяется от продольного, когда происходит врезание лезвия

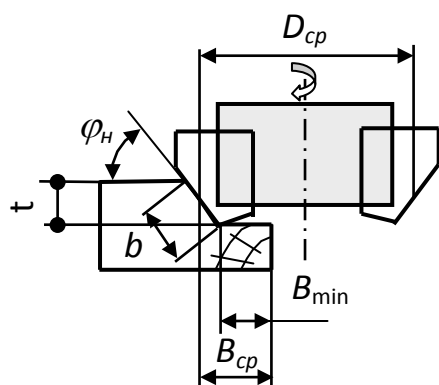


Рис. 21. Параметры торцово-конического фрезерования

в древесину, и стремится к поперечному в момент выхода зуба из заготовки. Если угол  $\varphi_n = 90^\circ$ , то резание изменяется от продольного в момент врезания и приближается к торцовому в момент выхода зуба из древесины.

Для продольно-поперечного резания древесины сосны значение фиктивной силы резания  $p$ , Н/мм, найденное по методике А.Л. Бершадского [6], равно

$$p_{//-\#} = 1,57 - 0,0065\varphi_c. \quad (45)$$

Касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность лезвия  $k$ , МПа, равно

$$k_{//\#} = (0,196 - 0,00184\varphi_c)\delta + [0,069 - 0,011(0,069 - Б)\varphi_c]V' - (5,4 - 0,053\varphi_c), \quad (46)$$

где  $\varphi_c$  – угол скоса на середине дуги контакта, измеряемый между режущей кромкой и волокнами древесины при  $\varphi_n = 0$  (значение  $\varphi_c$  подставляется в градусах);

$V'$  – скорость резания, м/с; если скорость главного движения  $V < 50$  м/с, то  $V' = 90 - V$ , иначе  $V' = V$ ;

$Б$  – коэффициент, при угле резания  $\delta \leq 55^\circ$   $Б = 0,059$ , при  $\delta > 55^\circ$   $Б = 0,069$ .

При переходе резания от продольно-поперечного к продольно-поперечно-торцовому, когда  $0 < \varphi_n < 90^\circ$ , сопротивление резанию будет увеличиваться. Полагая, что увеличение значений  $p$  и  $k$  произойдет пропорционально углу наклона  $\varphi_n$ , получим

$$p_{//\#\perp} = p_{//\#} + (p_{\perp} - p_{//\#})\varphi_n/90, \quad (47)$$

$$k_{//\#\perp} = k_{//\#} + (k_{\perp} - k_{//\#})\varphi_n/90. \quad (48)$$

По данным А.Л. Бершадского, для древесины сосны  $p_{\perp} = 4,8$  Н/мм;

$$k_{\perp} = 0,55\delta + 0,196V' - 19,62. \quad (49)$$

При ширине фрезерования  $B_{cp}$  среднее значение угла скоса  $\varphi_c$  имеет место на середине дуги контакта и равно

$$\varphi_c = \frac{\varphi_{\kappa}}{2} = \arcsin \sqrt{\frac{B_{cp}}{D_{cp}}}, \quad (50)$$

где  $D_{cp}$  – средний диаметр окружности резания фрезы, мм.

$$D_{cp} = D_{\min} + t / \operatorname{tg}\varphi_n, \quad (51)$$

где  $t$  – глубина фрезерования, мм.

Средняя скорость главного движения при фрезеровании, м/с

$$V = \frac{\pi D_{cp} n}{60000},$$

где  $n$  – частота вращения фрезы,  $\text{мин}^{-1}$ .

По формулам (47) и (48) получим

$$p_{//\# \perp} = 1,57 - 0,0065\varphi_c(1 - 0,0111\varphi_H) + 0,0359\varphi_H; \quad (52)$$

$$k_{//\# \perp} = \delta[0,196 + 0,0039\varphi_H - 0,00184\varphi_c(1 - 0,011\varphi_H)] + \\ + V'[0,069 - 0,011\varphi_c(0,069 - B)(1 - 0,011\varphi_H) + 0,00143\varphi_H] - \quad (53) \\ - 5,4 + 0,053\varphi_c(1 - 0,011\varphi_H) - 0,158\varphi_H.$$

Здесь  $\varphi_c$ ,  $\varphi_H$ ,  $\delta$  подставляются в градусах. Кроме того, значение  $B = 0,059$  при  $\delta \leq 55^\circ$  и  $B = 0,069$  при  $\delta > 55^\circ$ .

#### 5.4.2. Силы резания при фрезеровании

Силы резания на зубе фрезы определяют для двух диапазонов толщины срезаемого слоя:  $a \geq 0,1$  мм и  $a < 0,1$  мм. Для диапазона  $a \geq 0,1$  мм силу резания находят по формуле, Н [5]

$$F_{x \text{ зуб}} = a_n a_w [(\alpha_\rho p + 0,1k) \left(-\frac{1}{\lambda} a^2 + \frac{0,2}{\lambda} a + 1 - \frac{0,01}{\lambda}\right)] b, \quad (54)$$

где  $p$ ,  $k$  – фиктивная сила резания и касательное давление для древесины сосны с влажностью 12%;

$a_n$ ,  $a_w$  – поправочные коэффициенты на породу древесины и влажность;

$\lambda$  – коэффициент;  $\lambda = \rho^2 + 0,2\rho + 0,01$ , где  $\rho$  – радиус закругления режущей кромки зуба фрезы, мм.

Обозначим

$$F_{x \text{ } 0,1} = \alpha_\rho p + 0,1k,$$

$$m_1 = \frac{F_{x \text{ зуб}}}{a_n a_w b F_{x \text{ } 0,1}},$$

тогда при  $a = 0,1$  мм  $m_1 = 1$ .

Запишем уравнение (53) в форме приведенного квадратного уравнения

$$a^2 - 0,2a - 1 + \lambda(m_1 - 1) = 0,$$



при решении которого получим

$$a = 0,1 - \sqrt{\lambda(1 - m_1)}. \quad (55)$$

При решении обратных задач, когда по силе резания на лезвии определяют толщину срезаемого слоя  $a$ , следует поступать так:

– если  $m_1 \geq 1$ , то надо пользоваться уравнением

$$a = \frac{\frac{F_{xзуб}}{a_{\Pi} a_w b} - \alpha_{\rho} P}{k};$$

– если  $m_1 \leq 1$ , то надо пользоваться уравнением (54).

### Пример.

*Дано.* На фрезерном станке из древесины сосны с влажностью 12% обрабатывается деталь сложного профиля (см. рис. 21). Ширина фрезерования  $B_{\min} = 22$  мм, глубина фрезерования  $t = 8; 12; 15; 20$  мм, минимальный диаметр окружности резания наклонной режущей кромки  $D_{\min} = 120$  мм, угол наклона боковой режущей кромки  $\varphi_n = 45^\circ$ , частота вращения вала  $n = 5000$  мин<sup>-1</sup>, число ножей  $z = 4$ , угол резания ножей  $\delta = 70^\circ$ . Ножи выполнены из твердого сплава марки ВК15. Период стойкости ножей  $T = 1200$  мин.

Мощность электродвигателя механизма главного движения станка  $P = 3$  кВт, КПД передачи  $\eta = 0,94$ .

*Определить* скорости подач и построить график скоростей подач.

*Решение.*

1. Средний диаметр окружности резания фрезы (результаты расчета сведены в табл. 9)

$$D_{cp} = D_{\min} + t / \operatorname{tg} \varphi_n = 120 + 8 / \operatorname{tg} 45 = 128 \text{ мм.}$$

2. Скорость главного движения

$$V = \pi D_{cp} n / 60000 = 3,14 \cdot 128 \cdot 5000 / 60000 = 33,51 \text{ м/с.}$$

3. Среднее значение ширины фрезерования

$$B_{cp} = B_{\min} + 0,5t / \operatorname{tg} \varphi_n = 22 + 0,5 \cdot 8 / \operatorname{tg} 45 = 26 \text{ мм.}$$

4. Значение угла скоса

$$\varphi_c = \arcsin \sqrt{\frac{B_{cp}}{D_{cp}}} = \arcsin \sqrt{\frac{26}{128}} = 26,8^\circ.$$

5. Угол контакта боковой режущей кромки с заготовкой

$$\varphi_k = 2\varphi_c = 2 \cdot 26,8 = 53,6^\circ.$$

6. Длина дуги контакта

$$l_k = \frac{\pi D_{cp} \varphi_k}{360} = \frac{3,14 \cdot 128 \cdot 53,6}{360} = 59,8 \text{ мм.}$$

7. Прирост затупления лезвий за время работы при коэффициентах использования станка и производительности  $K_v = 0,92$ ;  $K_n = 0,94$

$$\Delta_p = \gamma_{\Delta} \cdot l_k \cdot n \cdot T K_n K_v / 1000 = 0,00006 \cdot 69,3 \cdot 5000 \cdot 1200 \cdot 0,92 \cdot 0,94 / 1000 = 18,6 \text{ мкм.}$$

Таблица 9

Результаты расчетов

Параметры	Обозначение	Размерность	Глубина фрезерования $t$ , мм			
			8	12	15	20
Средний диаметр фрезы	$D_{cp}$	мм	128	132	135	140
Скорость резания	$V$	м/с	33,51	34,56	35,34	36,65
Средняя ширина фрезерования	$B_{cp}$	мм	26	28	29,5	32
Угол скоса	$\varphi_c$	град	26,8	27,4	27,9	28,6
Угол контакта	$\varphi_k$	град	53,6	54,8	55,7	57,1
Длина дуги контакта	$l_k$	мм	59,8	63,2	65,7	69,8
Прирост затупления	$\Delta_p$	мкм	18,6	19,7	20,4	21,7
Фиктивная сила резания	$p$	Н/мм	3,1	3,1	3,09	3,09

Касательное давление	$k$	МПа	20	19,84	19,72	19,52
Коэффициент затупления	$\alpha_p$	–	1,56	1,59	1,61	1,64
Окружная сила резания	$F_{xo}$	Н	84,2	81,6	79,8	76,9
Средняя сила резания на дуге контакта	$F_{x\text{ зуб}}$	Н	141,4	133,9	128,8	121,2
Средняя ширина среза	$b$	мм	9,4	14,1	17,6	23,5
Коэффициент $m_1$	$m_1$	-	2,2	1,38	1,05	0,73
Толщина срезаемого слоя	$a$	мм	0,51	0,23	0,12	-
	$a$	мм	-	-	-	0,035
Подача на зуб при	$S_z$	мм	1,6	0,71	0,36	0,102
Скорость подачи при	$V_s$	м/ми	32	14,2	7,2	2,04
		Н				

8. Фиктивная сила резания

$$p_{//\perp} = 1,57 - 0,0065\varphi_c(1 - 0,0111\varphi_H) + 0,0359\varphi_H =$$

$$= 1,57 - 0,0065 \cdot 26,8(1 - 0,0111 \cdot 45) + 0,0359 \cdot 45 = 3,1 \text{ Н/мм.}$$

9. Касательное давление стружки на переднюю грань

$$k = \delta[0,196 + 0,0039\varphi_H - 0,00184\varphi_c(1 - 0,011\varphi_H)] +$$

$$+ V'[0,069 - 0,011\varphi_c(0,069 - B)(1 - 0,011\varphi_H) + 0,00143\varphi_H] -$$

$$- 5,4 + 0,053\varphi_c(1 - 0,011\varphi_H) - 0,158\varphi_H =$$

$$= 70[0,196 + 0,0039 \cdot 45 - 0,00184 \cdot 26,8(1 - 0,011 \cdot 45)] +$$

$$+ (90 - 33,51)[0,069 - 0,011 \cdot 26,8(0,069 - 0,069)(1 - 0,011 \cdot 45) + 0,00143 \cdot 45] -$$

$$- 5,4 + 0,053 \cdot 26,8(1 - 0,011 \cdot 45) - 0,158 \cdot 45 = 20 \text{ МПа.}$$

10 Коэффициент затупления

$$\alpha_{\rho} = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta_{\rho}}{\rho_o + 50} = 1 + (1 + 0,1 \frac{20}{3,1}) \frac{18,6}{5 + 50} = 1,56.$$

11. Окружная касательная сила резания

$$F_{x_o} = 1000P\eta/V = 1000 \cdot 3 \cdot 0,94 / 33,51 = 84,2 \text{ Н.}$$

12. Средняя сила резания на дуге контакта

$$F_{x_{зуб}} = F_{x_o} \pi D_{cp} / (l_{kz}) = 84,2 \cdot 3,14 \cdot 128 / (59,8 \cdot 4) = 141,4 \text{ Н.}$$

13. Ширина срезаемого слоя

$$b = \frac{t}{\sin \varphi_H} = \frac{8}{\sin 45} = 9,4 \text{ мм.}$$

14. Средняя толщина срезаемого слоя

**Коэффициенты**

$$\lambda = \rho^2 + 0,2\rho + 0,01; \rho = \rho_o + \Delta_{\rho}; \rho - \text{ в миллиметрах;}$$

$$\lambda = (0,005 + 0,0186)^2 + 0,2(0,005 + 0,0186) + 0,01 = 0,015285;$$

$$F_{x_{0,1}} = \alpha_{\rho} p + 0,1k = 1,56 \cdot 3,1 + 0,1 \cdot 20 = 6,83 \text{ Н/мм;}$$

$$m_1 = \frac{F_{x_{зуб}}}{a_n a_w b F_{x_{0,1}}} = \frac{141,4}{1 \cdot 1 \cdot 9,4 \cdot 6,83} = 2,2.$$

Так как  $m_1 > 1$ , то толщина срезаемого слоя  $a_c$  определяется по формуле для макрослоев

$$a_c = \frac{\frac{F_{x_{зуб}}}{a_n a_w b} - \alpha_{\rho} p}{k} = \frac{\frac{141,4}{1 \cdot 1 \cdot 9,4} - 1,56 \cdot 3,1}{20} = 1,51 \text{ мм.}$$

В случае, когда глубина фрезерования  $t = 20$  мм, коэффициент  $m_1 = 0,73 < 1$ , толщина срезаемого слоя находится по формуле

$$a_{cm} = 0,1 - \sqrt{\lambda(1 - m_1)} = 0,1 - \sqrt{0,015285(1 - 0,73)} = 0,035 \text{ мм.}$$

15. Максимально допустимая подача на зуб

$$S_z = \frac{a_c}{\sin \varphi_n \sin \varphi_c} S_z = \frac{0,51}{\sin 45 \sin 26,8} = 1,6 \text{ мм.}$$

16. Скорость подачи

$$V_s = S_z n / 1000 = 1,6 \cdot 4 \cdot 5000 / 1000 = 32 \text{ м/мин.}$$

Диаграмма скоростей подач показана на рис. 22.

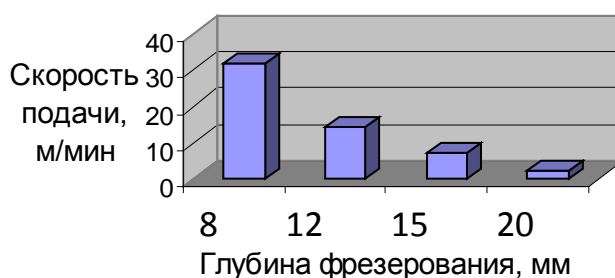


Рис. 22. Диаграмма скоростей подач при фрезеровании

## 5.5. Обработка зубчатых шипов

### 5.5.1. Зубчатые шипы

Клиновые зубчатые шипы широко применяются для клеевого соединения деревянных деталей по длине. Соединение получается прочным за счет большой поверхности склеивания, а также плотным из-за клиновой формы шипов.

Размеры зубчатых шипов регламентированы ГОСТ 19414-79 "Древесина клееная. Зубчатые клеевые соединения. Размеры и технические требования". Основные параметры зубчатых соединений и рекомендации по их применению приведены в табл. 10.

В технической документации зубчатые соединения обозначаются условно с указанием группы соединения и длины шипа, например, I- 32 ГОСТ19414-79.

Увеличение длины шипов облегчает сборку соединения, позволяет снизить усилие пресования, однако приводит к увеличению потерь древесины.

Таблица 10

Параметры зубчатых соединений по ГОСТ 19414-79

Группа соединения	Длина шипа, мм	Шаг соединения, мм	Затупление шипа, мм	Уклон шипа	Рекомендуемая область применения
I	50 32	12 8	1,5 1,0	1:11 1:10,5	Для склеивания по всему сечению напряженных элементов несущих конструкций
II	20 10 5	6 3,5 1,75	1,0 0,5 0,2	1:10 1:8 1:7,5	Для склеивания отдельных слоев многослойных элементов, а также элементов несущих конструкций по всему сечению

Основные виды зубчатых клеевых соединений деталей по длине приведены на рис. 23. Шипы получают методом фрезерования цельными, составными, веерными фрезами. Фрезы (отечественные и импортные) выпускаются диаметром  $D = 125; 150; 160; 170; 180; 200; 250; 260$  мм, с диаметром посадочного отверстия  $d = 40$  и  $50$  мм.

Шипы нарезаются на торцах заготовок. Шероховатость поверхности шипов должна соответствовать  $R_z 60...200$  мкм, точность по 12...14 качеству, посадка при сопряжении соединения  $h$  или  $k$ .

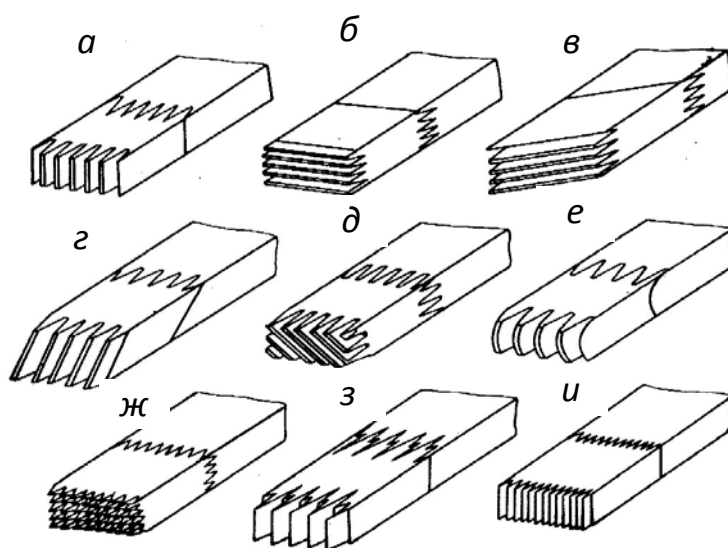


Рис. 23. Клеевые соединения по длине на зубчатых шипах:  
*a* – вертикальных; *б* – горизонтальных; *в* – горизонтально-угловых; *г* – вертикально-угловых; *д* – диагональных; *е* – вертикально-дуговых; *ж* – вертикально-горизонтальных; *з* – смещенных; *и* – мини - шипах

## 5.5.2. Параметры фрезерования при нарезании зубчатых шипов

В процессе фрезерования лезвия фрезы на заготовке формируют проушины V-образного поперечного сечения. Проушина имеет максимальную ширину в месте врезания лезвия в заготовку и убывает до нуля в месте выхода лезвия из заготовки. Каждое последующее лезвие фрезы расширяет проушину до заданной ширины так, что после прохода заготовки ширина проушины становится постоянной (рис. 24).

Шипы, нарезаемые на торцах заготовок, можно обработать одной фрезой. Сначала надо обработать нижние поверхности проушин, а затем верхние. Можно поступить иначе. Из

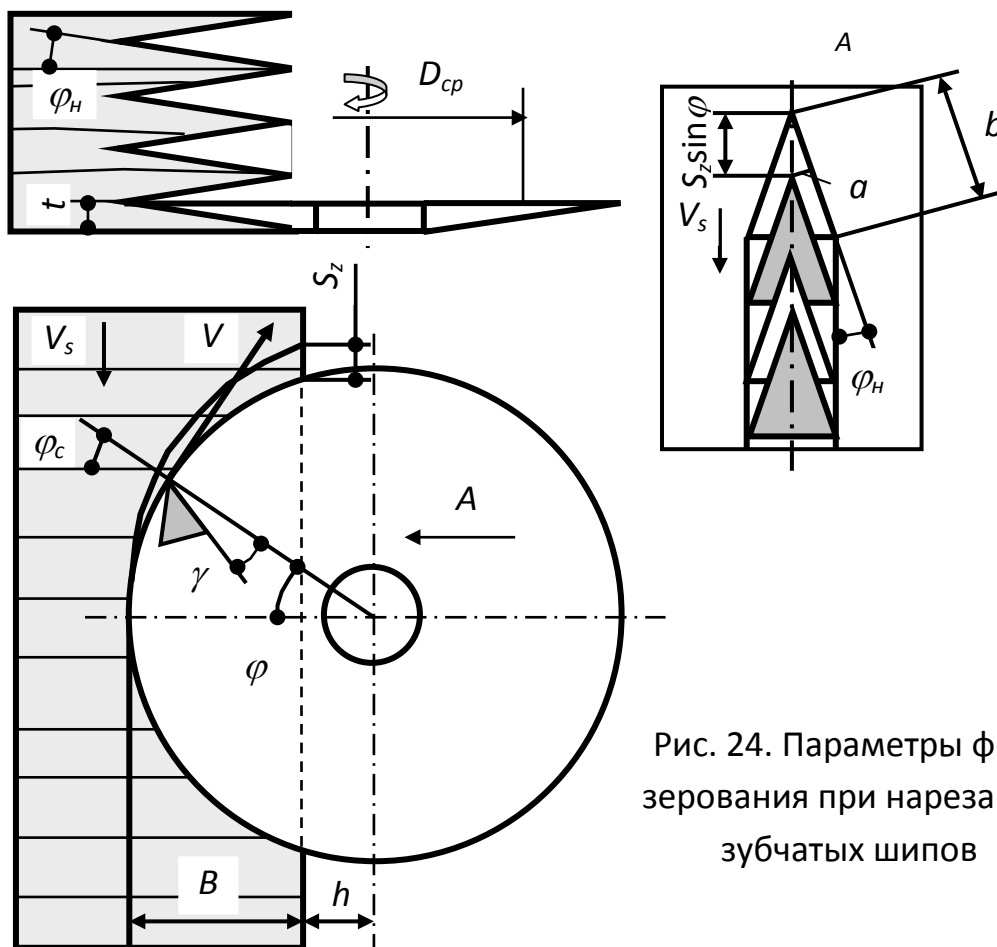


Рис. 24. Параметры фрезерования при нарезании зубчатых шипов

фрез, показанных на рис. 24, собрать блок из 8 фрез и обработать шипы за один проход.

Для выполнения расчетов удобнее процесс нарезания шипов разбить на отдельные элементы, когда фреза обрабатывает только одну наклонную поверхность проушины. При этом отметим основные параметры торцово-конического фрезерования.

Глубина фрезерования  $t$ , мм – толщина слоя материала, снимаемого с поверхности заго-

товки фрезой за один проход. Она равна расстоянию между обрабатываемой и обработанной поверхностями (см. рис. 24):

$$t = l \operatorname{tg} \varphi_n + \frac{t_{зш}}{2}, \quad (56)$$

где  $l$  – длина шипа, мм;

$t_{зш}$  – затупление шипа, мм.

Угол наклона  $\varphi_n$  находится по параметру уклона шипа (см. табл. 10). Если уклон шипа равен 1:10, то  $\operatorname{tg} \varphi_n = 0,1$ ;  $\varphi_n = \operatorname{arctg} 0,1$ .

Толщина срезаемого слоя на дуге контакта переменна по величине и зависит от углов поворота фрезы  $\varphi$  и наклона  $\varphi_n$  боковой режущей кромки, мм

$$a = S_z \sin \varphi \sin \varphi_n,$$

Среднее значение толщины среза, мм

$$a_{cp} = S_z \sqrt{\frac{B}{D_{cp}}} \sin \varphi_n, \quad (57)$$

где  $S_z$  – подача на зуб, мм;

$B$  – ширина фрезерования, равная длине шипа, мм.

Средний диаметр окружности резания, мм

$$D_{cp} = D - l,$$

где  $l$  – длина шипа, мм.

Ширина срезаемого слоя  $b$ , мм, – величина переменная:

$$b = \frac{R \cos \varphi - h}{\cos(\gamma + \varphi) \cos \varphi_n}, \quad (58)$$

где  $R$  – радиус фрезы, мм;

$h$  – расстояние от оси вращения фрезы до поверхности заготовки, мм;

$\gamma$  – передний угол лезвия;



$\varphi$  – угол поворота зуба фрезы.

Исследование формулы показало следующее ( $D = 125$  мм,  $h = 52,5$  мм,  $\gamma = 20^\circ$ ):

$\varphi$ , град	0	1	3	8	9	15	20	25	30	32,9
$b$ , мм	10,7	10,8	10,9	10,7	10,6	9,7	8,2	5,9	2,6	0

Отсюда можно принять, что средняя ширина срезаемого слоя на дуге контакта фрезы с древесиной  $b_{cp} = 0,7b$ .

Средняя скорость главного движения при фрезеровании, м/с

$$V = \frac{\pi D_{cp} n}{60000},$$

где  $n$  – частота вращения фрезы,  $\text{мин}^{-1}$ .

### 5.5.3. Фиктивная сила и касательное давление

Основную работу при резании выполняют боковые режущие кромки лезвий. При нарезании шипов на торцах деревянных заготовок торцевой фрезой боковая режущая кромка выполняет резание поперечно-продольно-торцовое (см. рис. 24). При угле наклона боковой режущей кромки  $\varphi_n = 0$  резание на дуге контакта изменяется от поперечного, когда происходит врезание лезвия в древесину, и приближается к продольному в момент выхода зуба из заготовки. Если угол  $\varphi_n = 90^\circ$ , то резание изменяется от торцового в момент врезания, и далее стремится к продольному.

Определим значения фиктивной силы резания  $p$ , Н/мм, и касательного давления  $k$ , МПа, для поперечно-продольно-торцового резания древесины сосны, используя методику А.Л. Бершадского [6]. Значения  $k$  для главных видов резания древесины (торцового  $\perp$ , продольного  $//$ , поперечного  $\#$ ) можно получить из следующих выражений:

$$k_{\perp} = A_{\perp} \delta + B_{\perp} V' - B_{\perp};$$

$$k_{//} = A_{//} \delta + B_{//} V' - B_{//}; \quad (59)$$

$$k_{\#} = A_{\#} \delta + B_{\#} V' - B_{\#},$$

где  $\delta$  – угол резания, град;

$V'$  – условная скорость резания, м/с, причем, если  $V < 50$  м/с, то  $V' = (90 - V)$ , иначе  $V' = V$ , где  $V$  – скорость главного движения. Эмпирические коэффициенты  $A$ ,

$B, V, \rho$ , полученные А.Л. Бершадским для древесины сосны, приведены в табл. 11.

Таблица 11

Значения эмпирических коэффициентов  $A$  и  $B, V$ , МПа,  
и  $\rho$ , Н/мм<sup>2</sup> для древесины сосны

$A_{\perp}$	$A_{//}$	$A_{\#}$	$B_{\perp}$	$B_{//}$	$B_{\#}$ *
0,550	0,196	0,029	0,196	0,069	0,059...0,069
$B_{\perp}$	$B_{//}$	$B_{\#}$	$\rho_{\perp}$	$\rho_{//}$	$\rho_{\#}$
19,62	5,40	0,59	4,80	1,57	0,98
* Меньшее значение $B_{\#}$ при $\delta < 55^{\circ}$ , большее – при $\delta > 55^{\circ}$ .					

Табличные коэффициенты можно пересчитать для переходных видов резания древесины:

$$A_{//-\perp} = A_{//} + (A_{\perp} - A_{//}) \frac{\varphi_{\varepsilon}}{90},$$

$$A_{\#-\perp} = A_{\#} + (A_{\perp} - A_{\#}) \frac{\varphi_{H}}{90}, \quad (60)$$

$$A_{\#-//} = A_{\#} + (A_{//} - A_{\#}) \frac{\varphi_{c}}{90},$$

где  $\varphi_{\varepsilon}, \varphi_{H}, \varphi_{c}$  – соответственно углы перерезания волокон, наклона и скоса, град.

Для поперечно-продольного резания значение  $\rho_{\#-//}$ , Н/мм, по (60)

$$\rho_{\#-//} = 0,98 + 0,00656 \varphi_{c}. \quad (61)$$

Для поперечно-продольно-торцового резания

$$\rho_{\#-//-\perp} = 0,98 + 0,00656 \varphi_{c} + (3,82 - 0,00656 \varphi_{c}) \varphi_{H}/90. \quad (62)$$

Касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность лезвия  $k$ , МПа:

– для главных видов резания

$$k_{\#} = 0,029\delta + B V' - 0,59;$$

$$k_{//} = 0,196\delta + 0,069V' - 5,4;$$

$$k_{\perp} = 0,55\delta + 0,196V' - 19,62;$$

– для поперечно-продольного резания

$$k_{\#-//} = (0,029 + 0,00186\varphi_c)\delta + [B + (0,00077 - 0,0111B)\varphi_c]V' - (0,59 - 0,053\varphi_c); \quad (63)$$

– для поперечно-продольно-торцового резания

$$k_{\#-//-\perp} = [0,029 + 0,00186\varphi_c + (0,55 - [0,029 + 0,00186\varphi_c])\frac{\varphi_H}{90}]\delta + [B + (0,00077 - 0,0111B)\varphi_c + (0,196 - [B + (0,00077 - 0,0111B)\varphi_c])\frac{\varphi_H}{90}]V' - (0,59 - 0,053\varphi_c) - [19,62 - (0,59 - 0,053\varphi_c)]\frac{\varphi_H}{90}, \quad (64)$$

где  $\varphi_c$  – угол скоса на середине дуги контакта, измеряемый между режущей кромкой и волокнами древесины при  $\varphi_H = 0$  (значение  $\varphi_c$  подставляется в градусах);

$B$  – коэффициент, при угле резания  $\delta \leq 55^\circ$   $B = 0,059$ , при  $\delta > 55^\circ$   $B = 0,069$ .

### Пример.

*Дано.* Проектируется новый шипорезный станок для нарезания зубчатых шипов на торцах заготовок немерной длины из древесины сосны шириною  $B_s = 60; 80; 100$  мм и влажностью  $W = 10\%$ . Предполагается использовать фрезу 3202-4405 по ГОСТ 19414-79 наружным диаметром  $D = 125$  мм, числом зубьев  $z = 2$ , передним углом при вершине зуба  $\gamma = 20^\circ$ , углом резания боковых лезвий  $\delta = 90^\circ$ , длиной  $L = 120$  мм. Размеры шипов: длина  $l = 10$  мм, шаг  $t_w = 3,5$  мм, затупление шипа  $t_{zw} = 0,5$  мм, уклон 1:8. Частота вращения шпинделя  $n = 5000$  мин<sup>-1</sup>, период стойкости ножей  $T = 200$  мин.

С учетом аналогов принята мощность электродвигателя механизма главного движения  $P = 4$  кВт, КПД передачи  $\eta = 0,94$ .

*Определить* скорости подач и построить график скоростей подач.

*Решение.*

1. Средний диаметр окружности резания

$$D_{cp} = D - l = 125 - 10 = 115 \text{ мм.}$$

2. Скорость главного движения

$$V = \pi D n / 60000 = 3,14 \cdot 115 \cdot 5000 / 60000 = 30,11 \text{ м/с.}$$

3. Средний угол контакта режущей кромки с заготовкой при ширине фрезерования  $B=l$

$$\varphi_{\kappa} = 115 \sqrt{l / D_{cp}} = 115 \sqrt{10 / 115} = 33,9^{\circ}.$$

Результаты расчетов сведены в табл. 12.

4. Угол скоса – острый угол между режущей кромкой и волокнами древесины при  $\varphi_n = 0$ :  
 $\varphi_c = \varphi_{\kappa} / 2 = 33,9 / 2 = 16,96^{\circ}$ .

5. Длина дуги контакта  $l_{\kappa} = \frac{\pi D_{cp} \varphi_{\kappa}}{360} = \frac{3,14 \cdot 115 \cdot 33,9}{360} = 34 \text{ мм.}$

6. Прирост затупления лезвий за время работы для зубьев из быстрорежущей инструментальной стали

$$\Delta_p = \gamma_{\Delta} l_{\kappa} n T K_{\pi} K_{\omega} / 1000 = 0,0004 \cdot 34,0 \cdot 5000 \cdot 200 \cdot 0,94 \cdot 0,92 / 1000 = 11,8 \text{ мкм.}$$

7. Угол наклона  $\varphi_n$ , угол между режущей кромкой и волокнами древесины  $\varphi_n = \arctg(1/8) = 7,1^{\circ}$ .

8. Фиктивная сила для поперечно-продольно-торцового резания

$$\begin{aligned} p_{\#//\perp} &= 0,98 + 0,00656 \varphi_c + (3,82 - 0,00656 \varphi_c) \varphi_n / 90 = \\ &= 0,98 + 0,00656 \cdot 16,96 + (3,82 - 0,00656 \cdot 16,96) 7,1 / 90 = 1,38 \text{ Н/мм.} \end{aligned}$$

9. Касательное давление стружки на переднюю поверхность зуба

$$\begin{aligned} k_{\#//\perp} &= [0,029 + 0,00186 \varphi_c + (0,55 - [0,029 + 0,00186 \varphi_c]) \frac{\varphi_n}{90}] \delta + \\ &+ [B + (0,00077 - 0,0111B) \varphi_c + (0,196 - [B + (0,00077 - 0,0111B) \varphi_c]) \frac{\varphi_n}{90}] V' - \\ &- (0,59 - 0,053 \varphi_c) - [19,62 - (0,59 - 0,053 \varphi_c)] \frac{\varphi_n}{90} = \\ &= [0,029 + 0,00186 \cdot 16,96 + (0,55 - [0,029 + 0,00186 \cdot 16,96]) \frac{7,1}{90}] \cdot 90 + \\ &+ [0,069 + (0,00077 - 0,0111 \cdot 0,069) \cdot 16,96 + (0,196 - \\ &- [0,069 + (0,00077 - 0,0111 \cdot 0,069) \cdot 16,96]) \frac{7,1}{90}] (90 - 30,11) - \end{aligned}$$

$$-(0,59 - 0,053 \cdot 16,96) - [19,62 - (0,59 - 0,053 \cdot 16,96)] \frac{7,1}{90} = 23,22 \text{ МПа.}$$

Таблица 12

Результаты расчетов

Параметры	Обозначение	Размерность	Ширина заготовок $B_3$ , мм		
			60	80	100
Скорость главного движения	$V$	м/с	30,11	30,11	30,11
Угол контакта	$\varphi_k$	град	33,9	33,9	33,9
Угол скоса	$\varphi_c$	град	16,96	16,96	16,96
Длина дуги контакта	$l_k$	мм	34	34	34
Прирост затупления	$\Delta_p$	мкм	11,8	11,8	11,8
Угол наклона бокового лезвия	$\varphi_n$	град	7,1	7,1	7,1
Фиктивная сила резания	$p$	Н/мм	1,38	1,38	1,38
Касательное давление	$k$	МПа	23,22	23,22	23,22
Коэффициент затупления	$\alpha_p$	–	1,57	1,57	1,57
Удельное сопротивление трения	$K_{тр}$	МПа	1,63	1,63	1,63
Количество плоскостей проушин	$i$	шт	34,29	45,71	57,14
Окружная сила резания	$F_{хо}$	Н	3,6	2,7	2,2
Средняя сила резания на дуге контакта	$F_{хзуб}$	Н	19,3	14,5	11,6

Средняя ширина срезаемого слоя	$b$	мм	7,5	7,5	7,5
Толщина срезаемого слоя	$a$	мм	0,022	0,011	0,005
Подача на зуб по мощности	$S_z$	мм	0,63	0,30	0,13
Скорость подачи при	$V_s$	м/мин	6,3	3,0	1,3

10. Коэффициент затупления

$$\alpha_\rho = 1 + \left(1 + 0,1 \frac{k}{p}\right) \frac{\Delta_\rho}{\rho_o + 50} = 1 + \left(1 + 0,1 \frac{23,22}{1,38}\right) \frac{11,8}{5 + 50} = 1,57.$$

11. Для обработки шипов несколько заготовок укладываются на столе станка на ребро в пакет формы "брус", в котором горизонтальными рядами нарезаются проушины.

Глубина фрезерования

$$t = l \operatorname{tg} \varphi_H + \frac{t_3 \text{ мм}}{2} = 10 \cdot \operatorname{tg} 7,1 + \frac{0,5}{2} = 1,5 \text{ мм.}$$

Средняя толщина шипа

$$b_{\text{ш}} = (2t + t_3 \text{ мм}) / 2 = 2 \cdot 1,5 + 0,5 = 1,75 \text{ мм.}$$

Удельное сопротивление трения стружки в проушине

$$K_{mp} = \frac{\alpha l}{2b_{\text{ш}}} = \frac{0,57 \cdot 10}{2 \cdot 1,75} = 1,63 \text{ МПа.}$$

12. Окружная касательная сила резания обработки одной наклонной поверхности проушины:

Количество наклонных поверхностей проушин

$$i = 2b_s / t_w = 2 \cdot 60 / 3,5 = 34,29 \text{ шт.}$$

$$F_{x_o} = 1000P\eta / iV = 1000 \cdot 4 \cdot 0,94 / 34,29 \cdot 30,11 = 3,6 \text{ Н.}$$

13. Средняя сила резания на дуге контакта

$$F_{x_{зуб}} = F_{x_o} \pi D / (l_k z) = 3,6 \cdot 3,14 \cdot 115 / (34 \cdot 2) = 19,3 \text{ Н.}$$

14. Расстояние от центра фрезы до заготовки

$$h = (D - 2l)/2 = (125 - 2 \cdot 10)/2 = 52,5 \text{ мм.}$$

15. Средняя ширина срезаемого слоя

$$b = 0,7 \frac{0,5D - h}{\cos \gamma \cos \varphi_n} = 0,7 \frac{0,5 \cdot 125 - 52,5}{\cos 20^\circ \cos 7,1^\circ} = 7,5 \text{ мм.}$$

16. Средняя толщина срезаемого слоя, ограниченная мощностью привода.

Коэффициенты [7]:

$$\lambda = \rho^2 + 0,2\rho + 0,01; \rho - \text{в мм;}$$

$$\rho = \rho_o + \Delta_\rho = 0,005 + 0,0118 = 0,0168 \text{ мм.}$$

$$\lambda = 0,0168^2 + 0,2 \cdot 0,0168 + 0,01 = 0,013636;$$

$$F_{x0,1} = \alpha_\rho p + 0,1(k + K_{mp}) = 1,57 \cdot 1,38 + 0,1 \cdot (23,22 + 1,63) = 4,66 \text{ Н/мм;}$$

$$m_1 = \frac{F_{x \text{ зуб}}}{a_n a_w b F_{x0,1}} = \frac{19,3}{1 \cdot 1 \cdot 7,5 \cdot 4,66} = 0,55.$$

Если  $m_1 > 1$ , то толщина срезаемого слоя  $a_c$  определяется по формуле для макрослоев

$$a_c = \frac{\frac{F_{x \text{ зуб}}}{a_n a_w b} - \alpha_\rho p}{k + K_{Tp}},$$

если  $m_1 \leq 1$ , то толщина срезаемого слоя  $a_c$  определяется по формуле для микрослоев по формуле

$$a_{cp} = 0,1 - \sqrt{\lambda(1 - m_1)} = 0,1 - \sqrt{0,013636(1 - 0,55)} = 0,022 \text{ мм.}$$

17. Подача на зуб, ограниченная мощностью привода

$$S_z = a_{cp} / \sqrt{\frac{B}{D_{cp}}} \sin \varphi_n = 0,022 / \sqrt{\frac{10}{115}} \sin 7,1^\circ = 0,63 \text{ мм.}$$

18. Скорость подачи

$$V_s = \frac{S_z Z n}{1000} = \frac{0,63 \cdot 2 \cdot 5000}{1000} = 6,3 \text{ м/мин.}$$

График скоростей подач приведен на рис. 25.

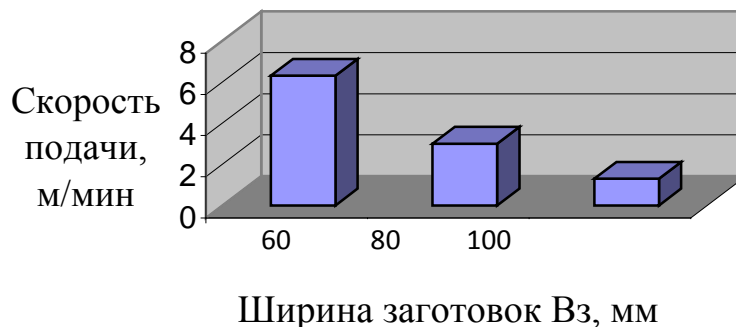


Рис. 25. Диаграмма скоростей подач

## Контрольные вопросы и задания

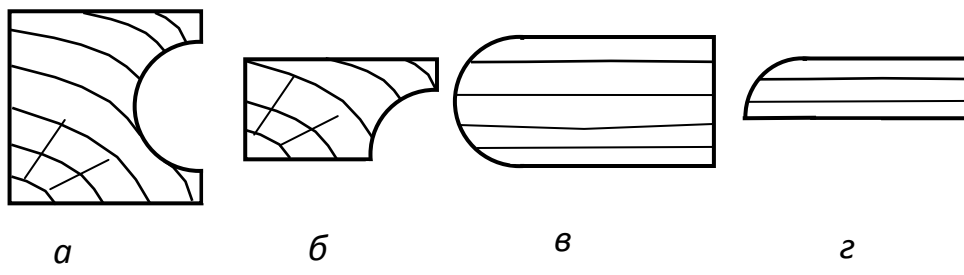
1. Изобразите профили шипов.
2. Изобразите схему обработки шипов.
3. Как определить значение фиктивной силы резания и касательного давления на переднюю поверхность лезвия при обработке шипов торцевой фрезой?

## 5.6. Обработка радиусных поверхностей

### 5.6.1. Общие сведения

Радиусными поверхностями называют криволинейные поверхности галтелей, полугалтелей, штапов, полустапов, скруглений кромок (рис. 26),

которые являются элементами деревянных деталей мебели, столярно-строительных изделий. Обрабатываются они радиусными фрезами.



74

*a*

*b*

*в*

*г*

Рис. 26. Радиусные поверхности деталей:

*a* – галтель; *b* – полугалтель; *в* – штап; *г* – полустап



## 5.6.2. Кинематические и динамические параметры процесса фрезерования

При обработке галтели (рис. 27) режущая кромка  $ABC$  имеет форму дуги окружности радиуса  $r$ . При продольном фрезеровании режущая кромка на участках, примыкающих к точкам  $A$  и  $C$ , выполняет продольно-поперечное резание, а на участках около точки  $B$  – продольно-торцовое резание. В целом режущая кромка  $ABC$  выполняет резание продольно-поперечно-торцовое, которое характеризуется углами скоса  $\varphi_c$  и наклона  $\varphi_n$ .

Для точки  $F$ , расположенной на середине дуги  $AB$

угол наклона режущей кромки к волокнам древесины  $\varphi_n = 45^\circ$ . Для этой точки среднее значение глубины фрезерования

$$t_{cp} = r \sin 45^\circ = 0,71r.$$

Среднее значение диаметра окружности резания

$$D_{cp} = D - 0,58r.$$

Среднее значение угла скоса можно найти из выражения

$$\varphi_c = \varphi_k / 2 = \arcsin \sqrt{\frac{t_{cp}}{D_{cp}}},$$

где  $\varphi_k$  – угол контакта режущей кромки в точке  $F$  с заготовкой, в градусах;

$$\varphi_k \approx 115 \sqrt{t_{cp} / D_{cp}}.$$

Значение средней толщины срезаемого слоя в точке  $F$  режущей кромки

$$a_c = S_z \sin \varphi_n \sin \varphi_c,$$

где  $S_z$  – подача на зуб, мм.

Средняя скорость главного движения реза-

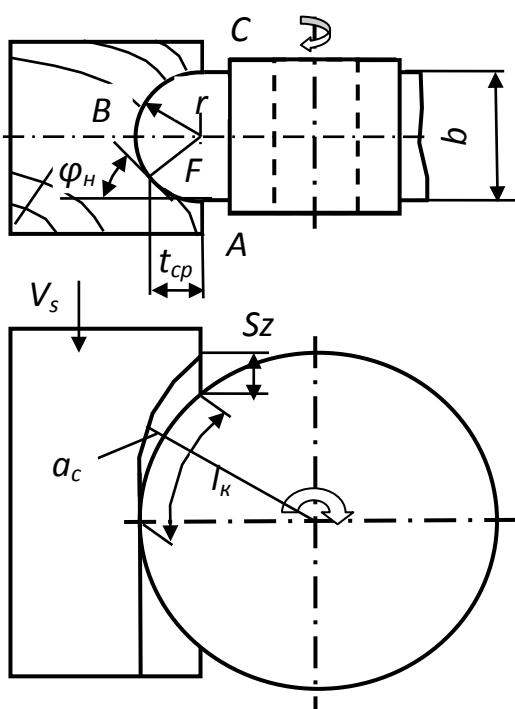


Рис. 27. Схема к расчету режима фрезерования галтели

ния, м/с

$$V_{cp} = \frac{\pi D_{cp} n}{60000}.$$

Значения фиктивной силы резания  $p$  и касательного давления срезаемого слоя на переднюю поверхность лезвия  $k$  для продольно-поперечно-торцового резания древесины со-сны найдем по формулам (62) и (64).

Для расчета мощности механизма главного движения найдем значение удельной работы резания  $K$ , Дж/см<sup>3</sup>:

$$K = a_n a_w \left( k + \frac{\alpha_p p}{a_c} \right),$$

где  $a_n, a_w$  – поправочные коэффициенты соответственно на породу и влажность древесины;

$a_p$  – коэффициент затупления лезвия;

$$\alpha_p = 1 + \left( 1 + 0,1 \frac{k}{p} \right) \frac{\Delta \rho}{\rho_o + 50}.$$

Мощность механизма главного движения можно определить по объемной формуле, кВт:

$$P = \frac{KV_{co}}{1000},$$

где  $V_{co}$  – секундный объем срезаемого слоя, см<sup>3</sup>/с;

$$V_{co} = \frac{\pi r^2 V_s'}{2},$$

где  $r$  – радиус закругления профиля галтели, см;

$V_s'$  – скорость подачи с размерностью см/с;  $V_s' = \frac{5}{3} V_s$ , где  $V_s$  – скорость подачи с размерностью м/мин.

Значение окружной касательной силы резания находится через мощность, Н:

$$F_x = \frac{1000P}{V_{cp}}.$$

Конечно, расчет мощности можно выполнить и обычным путем, как это будет показано ниже.

### 5.6.3. Порядок решения прямой задачи

В прямой задаче определяются значения сил резания и мощности механизма главного движения. Задача решается в следующем порядке.

1. Для точки F (см. рис. 27) находятся значения:

- средней толщины срезаемого слоя  $t_{cp}$ , мм;
- среднего диаметра окружности резания  $D_{cp}$ , мм;
- средней скорости главного движения  $V_{cp}$ , м/с;
- угла наклона режущей кромки к волокнам древесины,  $\varphi_n = 45^\circ$ ;
- угла контакта режущей кромки с древесиной  $\varphi_k$ , град.;
- угла скоса режущей кромки с волокнами древесины  $\varphi_c$ , град.;
- средней толщины срезаемого слоя  $a_c$ , мм;
- длины дуги контакта, мм:

$$l_k = \sqrt{t_{cp} D_{cp}};$$

- прироста радиуса закругления режущей кромки за период стойкости, мкм:

$$\Delta \rho = \gamma_{\Delta} l_k n T K_n K_u / 1000.$$

2. Для древесины сосны с влажностью 12% находятся значения фиктивной силы резания  $p$ , Н/мм, и касательного давления  $k$ , МПа, по формулам (62) и (64).

3. Находится значение коэффициента затупления  $\alpha_p$ .

4. Определяется значение касательной силы резания на дуге контакта одним зубом, Н:

$$F_{x \text{ зуб}} = a_n a_w (\alpha_p p + k a_c) b.$$

5. Находится средняя окружная касательная сила резания, Н:

$$F_x = F_{x \text{ зуб}} \frac{\pi D_{cp}}{z l_k}$$

6. Рассчитывается величина мощности механизма главного движения, кВт:

$$P = \frac{F_x V_{cp}}{1000}$$

## 5.7. Полузакрытое и закрытое фрезерование

В производстве деревянных изделий широко применяются детали с четвертью, пазом, гребнем, прямыми шипами. Указанные элементы выполняются методом полузакрытого или закрытого фрезерования.

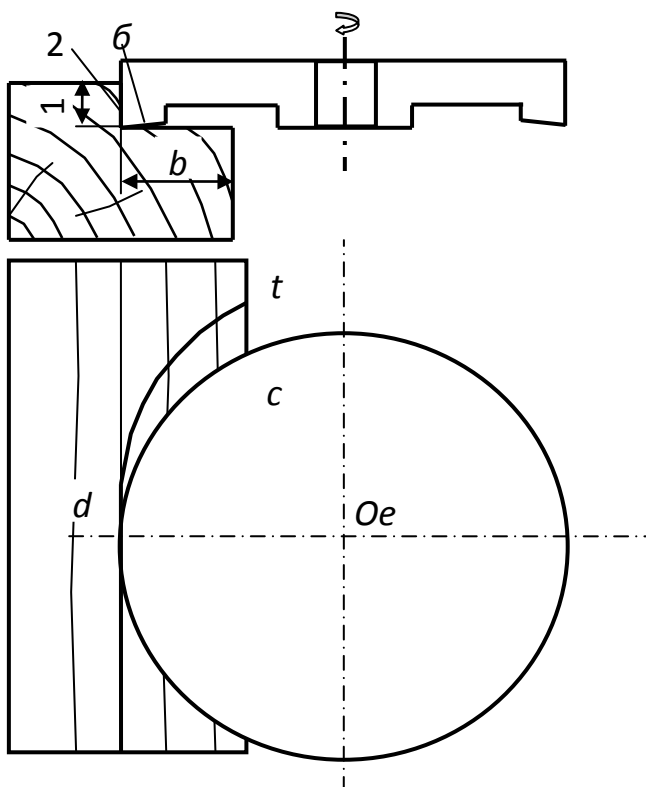
При полузакрытом фрезеровании в работе по срезанию припуска участвуют две режущие кромки лезвия фрезы (рис. 28): главная и боковая режущие кромки. При закрытом фрезеровании, например при выборке паза, в работе участвуют три режущих кромки: главная и две боковых.

Исследование процесса закрытого и полузакрытого продольного фрезерования представлены в работах А.П. Шаповала и А.И. Санковича [3].

Общую окружную силу резания предложено рассчитывать по формулам:  
для полузакрытого резания

$$F_{x \text{ нз}} = F_x + F_{x \text{ б}} + F_{x \text{ тр}}$$

для закрытого резания  $F_{x \text{ з}} = F_x + 2(F_{x \text{ б}} + F_{x \text{ тр}})$ ,



где  $F_x$  – окружная касательная сила резания открытого резания, Н;

$F_{x \text{ б}}$  – окружная касательная сила резания по боковой режущей кромке, Н;

$F_{x \text{ тр}}$  – окружная касательная сила трения боковой режущей кромки, возникающая в результате упругого восстановления древесины, Н.

Значением  $F_{x \text{ б}}$  в расчетах пренебрегают в виду его малости. Значение  $F_{x \text{ тр}}$  составляет 5...8% от  $F_x$ , и для

Рис. 28. Схема выборки четверти

его определения предложены эмпирические формулы, например для продольного фрезерования, по данным А.И. Санковича,

$$F_{хтр} = 0,147\mu - 0,54 ,$$

где  $\mu$  – угол подачи.

Таким образом, по данным А.И. Санковича, касательная сила резания по боковой режущей кромке зависит только от угла подачи. Никакие другие факторы процесса резания на величину этой силы не влияют. Такой вывод кажется сомнительным.

Здесь дается другой подход к определению общей силы резания.

При обработке четверти (см. рис. 28) обработанная поверхность формируется главной режущей кромкой 1, параллельной оси вращения фрезы, и боковой режущей кромкой 2, перпендикулярной к оси вращения фрезы. Угловые параметры зубьев назначаются так:

- при главной режущей кромке угол резания  $55^\circ \dots 70^\circ$ , задний угол  $10^\circ \dots 15^\circ$ ;
- при боковой режущей кромке угол резания  $90^\circ$ , задний угол  $5^\circ \dots 10^\circ$ , угол поднутрения  $2^\circ \dots 5^\circ$ .

При работе главная режущая кромка удаляет серповидный срезаемый слой сечением в основании  $sde$  и высотой  $b$ . Угол контакта главной режущей кромки с древесиной в градусах определяется по выражению

$$\varphi_k \approx 115 \sqrt{\frac{t}{D}} ,$$

где  $t$  – глубина фрезерования, мм;

$D$  – диаметр фрезы, мм.

Средняя толщина срезаемого слоя, мм

$$a_{cp} = S_z \sqrt{\frac{t}{D}} ,$$

где  $S_z$  – подача на зуб фрезы, мм;  $S_z = de$ .

Главная режущая кромка выполняет продольно-торцовое резание с углом встречи  $\varphi_в = \varphi_k/2$ .

Боковая режущая кромка выполняет продольно-поперечное резание с углом скола  $\varphi_c = \varphi_k/2$ . Для боковой режущей кромки значение  $a_{cp}$  выступает в роли средней ширины срезаемого слоя. За толщину срезаемого слоя предлагается принять значение слоя, подвергнутое упруго-пластическому деформированию боковой режущей кромкой. В первом приближении можно принять  $a_б = a_{cp}$ .

Тогда можно принять, что общая касательная сила резания

$$F_x = F_{x з} + F_{x б} ,$$

где  $F_{x з}$  – сила резания по главной режущей кромке, Н;

$F_{x б}$  – сила резания по боковой режущей кромке, Н.

Порядок выполнения расчета показан на примере.

*Дано.* На фрезерном станке обрабатываются сосновые заготовки с выборкой четверти. Ширина фрезерования  $b = 20$  мм, глубина фрезерования  $t = 40$  мм (см. рис. 28). Диаметр фрезы  $D = 160$  мм, число зубьев  $z = 4$ , частота вращения  $n = 4000$  мин<sup>-1</sup>, материал фрезы – легированная сталь Х6ВФ, период стойкости  $T = 3$  ч. Угол резания главной режущей

кромки  $\delta = 55^\circ$ , боковой режущей кромки  $\delta = 90^\circ$ . Скорость подачи  $V_s = 18$  м/мин. Начальный радиус закругления режущих кромок  $\rho_0 = 5$  мкм.

Определить мощность электродвигателя механизма главного движения.

Решение. Обозначим пункты решения, относящиеся к главной режущей кромке, символами ГРК, к боковой режущей кромке – БРК, а общие пункты – без указания символов.

1. Находим скорость главного движения

$$V = \frac{\pi D n}{60000} = \frac{3,14 \cdot 160 \cdot 4000}{60000} = 33,5 \text{ м/с.}$$

2. Определим величину подачи на один зуб:

$$S_z = \frac{1000 V_s}{z n} = \frac{1000 \cdot 18}{4 \cdot 4000} = 1,125 \text{ мм.}$$

3. Угол контакта зуба фрезы с заготовкой

$$\varphi_k \approx 115 \sqrt{\frac{t}{D}} = 115 \sqrt{\frac{40}{160}} = 57,5 \text{ град.}$$

Угол встречи главной режущей кромки с волокнами древесины равен углу скоса боковой режущей кромки:

$$\varphi_b = \varphi_c = \varphi_k / 2 = 57,5 / 2 = 28,75.$$

4. Средняя толщина срезаемого слоя главной режущей кромкой

$$a_{cp} = S_z \sqrt{\frac{t}{D}} = 1,125 \sqrt{\frac{40}{160}} = 0,56 \text{ мм.}$$

5. Длина дуги контакта зуба фрезы с заготовкой

$$l_k = \sqrt{tD} = \sqrt{40 \cdot 160} = 80 \text{ мм.}$$

6. Прирост радиуса закругления лезвий за время работы

$$\Delta\rho = \gamma_{\Delta} \ln TK_n K_u / 1000,$$

где  $\gamma_{\Delta}$  – величина затупления лезвий на 1 м пути, для лезвий из легированной инструментальной стали  $\gamma_{\Delta} = 0,0008$  мкм/м;

$K_n, K_u$  – коэффициенты соответственно производительности и использования станка, в примере можно принять  $K_n = K_u = 0,9$ .

$$\Delta\rho = 0,0008 \cdot 80 \cdot 4000 \cdot 3 \cdot 60 \cdot 0,9 \cdot 0,9 / 1000 = 37,3 \text{ мкм.}$$

7. Определим значение фиктивной силы резания:

$$\begin{aligned} \text{ГРК} - p_{//\perp} &= 1,57 + 0,0359 \varphi_b = 1,57 + 0,0359 \cdot 28,75 = 2,6 \text{ Н/мм}; \text{БРК} - p_{//\perp} = 1,57 - \\ &0,0065 \varphi_c = 1,57 - 0,0065 \cdot 28,75 = 1,38 \text{ Н/мм.} \end{aligned}$$

8. Находим касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность лезвия:

$$\begin{aligned} \text{ГРК} - k_{//\perp} &= (0,196 + 0,0039 \varphi_b) \delta + (0,069 + 0,0014 \varphi_b) V' - \\ &- (5,4 + 0,158 \varphi_b) = (0,196 + 0,0039 \cdot 28,75) 55 + (0,069 + \\ &+ 0,0014 \cdot 28,75) (90 - 33,5) - (5,4 + 0,158 \cdot 28,75) = 13,2 \text{ Мпа}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{БРК} - k_{\#-//} &= (0,196 - 0,00184\varphi_c)\delta + [0,069 - (0,069 - \\ &- 5)0,011\varphi_c]V' - (5,4 - 0,053\varphi_c) = (0,196 - 0,00184 \cdot 28,75)90 + \\ &+ [0,069 - (0,069 - 0,069)0,011 \cdot 28,75 ](90-33,5) - (5,4 - \\ &- 0,053 \cdot 28,75) = 12,9 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

*Примечания:*

1. В приведенных формулах  $V'$  – условная скорость резания, м/с, причем, если  $V < 50$  м/с, то  $V' = (90 - V)$ , иначе  $V' = V$ , где  $V$  – скорость главного движения.

2.  $B$  – коэффициент: значение  $B = 0,059$  при  $\delta \leq 55$  и  $B = 0,069$  при  $\delta > 55$ ;

3.  $\delta$  – угол резания, град.

9. Находим коэффициент затупления по формуле

$$\alpha_\rho = 1 + \left(1 + 0,1 \frac{k}{p}\right) \frac{\Delta_\rho}{\rho_o + 50}.$$

$$\text{ГРК} - \alpha_\rho = 1 + \left(1 + 0,1 \frac{13,2}{2,6}\right) \frac{37,3}{5 + 50} = 2,02;$$

$$\text{БРК} - \alpha_\rho = 1 + \left(1 + 0,1 \frac{12,9}{1,38}\right) \frac{37,3}{5 + 50} = 2,3.$$

10. Рассчитываем значение касательной силы резания на дуге контакта при резании одной режущей кромкой

$$F_{x \text{ зуб}} = a_n a_w (\alpha_\rho p + ka) b,$$

где  $a$  – толщина срезаемого слоя, мм;

$a_n$  – коэффициент на породу древесины, для древесины сосны  $a_n = 1$ ;

$a_w$  – коэффициент на влажность древесины, при  $W=12\%$   $a_w = 1$ ;

$b$  – ширина срезаемого слоя, мм.

$$\text{ГРК} - F_{x \text{ зуб}1} = 1 \cdot 1(2,02 \cdot 2,6 + 13,2 \cdot 0,56) 20 = 252,9 \text{ Н};$$

$$\text{БРК} - F_{x \text{ зуб}1} = 1 \cdot 1(2,3 \cdot 1,38 + 12,9 \cdot 0,56) 0,56 = 5,8 \text{ Н.}$$

11. Полная касательная сила резания на дуге контакта при работе одним зубом

$$F_{x \text{ зуб}} = F_{x \text{ зуб1}} + F_{x \text{ зуб2}} = 252,9 + 5,8 = 258,7 \text{ Н.}$$

12. Находим окружную касательную силу резания

$$F_x = F_{x \text{ зуб}} \frac{z l_k}{\pi D} = 258,7 \frac{4 \cdot 80}{3,14 \cdot 160} = 164,8 \text{ Н.}$$

13. Рассчитаем значение мощности электродвигателя механизма главного движения

$$P = \frac{F_x V}{1000 \eta},$$

где  $\eta$  – КПД передачи, при  $\eta = 0,94$

$$P = \frac{164,8 \cdot 33,5}{1000 \cdot 0,94} = 5,87 \text{ кВт.}$$

Расчеты показывают, что при выборке четверти основную работу выполняют главные режущие кромки фрезы. Так, на главной режущей кромке сила резания равна 252,9 Н, а на боковой – 5,8 Н, что для данного примера составляет только 2,2% от общей силы резания.

## **5.8. Отказ шипорезного станка по параметру точности**

### **5.8.1. Изменение параметров фрезерования в процессе обработки заготовок**

Под отказом технологической системы по параметру точности понимают отказ, при котором происходит выход значений точности размеров обработанной детали за пределы, установленные в нормативно-технической и конструкторской документации. Из-за невозможности получить шипы с требуемой точностью размеров наступает неработоспособное состояние шипорезного станка, происходит параметрический отказ.

Причин отказа много: повышенные вибрации, износ станка, износ и затупление лезвий фрезерного инструмента. Затупление лезвий – одна из основных, систематически повторяющихся причин отказа по параметру точности, когда после максимально допустимого износа лезвий наступает неработоспособное состояние режущего инструмента.



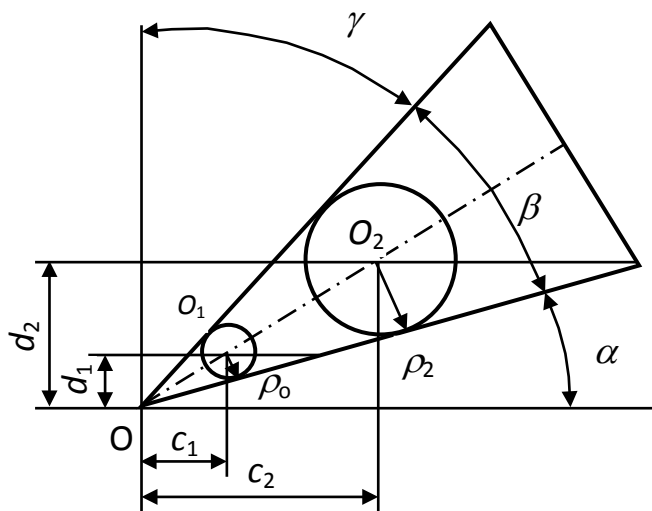


Рис. 29. Схема к расчету положения плоскости резания

В процессе фрезерования деревянных заготовок лезвия режущего инструмента монотонно изнашиваются, затупляются, укорачиваются по биссектрисе угла лезвий (рис. 29).

Принято считать, что плоскость резания проходит через центр условно вписанной в лезвие окружности радиусом  $\rho$  и совпадающей с поверхностью режущей кромки. Если острое лезвие имеет радиус закругления режущей кромки  $\rho_0$ , то плоскость резания расположена от оси абсцисс на

расстоянии  $d_1$ . Если лезвие затупленное и имеет радиус закругления  $\rho_2$ , то плоскость резания проходит выше, на расстоянии от оси абсцисс  $d_2$ .

Обработанная поверхность древесины расположена ниже плоскости резания на величину остаточной деформации  $\Delta_o = \rho \varepsilon_o$ , где  $\varepsilon_o$  – относительная остаточная деформация. Таким образом, при обработке внешних поверхностей затупление лезвия приводит к увеличению размера, а при обработке внутренних поверхностей – к уменьшению размера детали.

Из рис. 29 найдем отрезок  $OO_1$ :

$$OO_1 = \frac{\rho_0}{\sin(\beta/2)},$$

где  $\beta$  – угол заострения лезвия.

Ордината центра  $O_1$

$$d_1 = \frac{\rho_0 \sin(\alpha + \beta/2)}{\sin(\beta/2)},$$

где  $\alpha$  – задний угол лезвия.

Аналогично находится ордината центра  $O_2$ :

$$d_2 = \frac{\rho_2 \sin(\alpha + \beta/2)}{\sin(\beta/2)}.$$

Обозначим через  $e$  выражение  $e = \frac{\sin(\alpha + \beta/2)}{\sin(\beta/2)}$ .

При увеличении радиуса закругления от  $\rho_0$  до  $\rho_2$  обработанная поверхность поднимается от оси абсцисс на величину

$$d = d_2 - d_1 - \rho_2 \varepsilon_0 = \rho_2 (e - \varepsilon_0) - \rho_0 e.$$

Отсюда получим значение предельно допустимого радиуса закругления режущей кромки, после достижения которого наступит отказ, неработоспособное состояние станка

$$\rho_2 = \frac{d + \rho_0 e}{e - \varepsilon_0}. \quad (65)$$

Поскольку по оси ординат расположен радиус фрезы, то можно сделать вывод, что для затупленного лезвия радиус фрезы уменьшается на величину  $\Delta_r$ :

$$\Delta_r = e(\rho_2 - \rho_0) - \rho_2.$$

Отсюда делаем вывод, что укорочение радиуса фрезы приводит к отказу станка в момент, когда

$$\rho_2 = \frac{\Delta_r + e\rho_0}{e - 1}. \quad (66)$$

## 5.8.2. Положение поля допуска

Обработать деталь точно по номинальному размеру практически невозможно. Фактические размеры обработанной детали всегда отличаются от номинальных. Поэтому каждый номинальный размер ограничивают двумя предельными отклонениями: нижним и верхним. Графически отклонение откладывают относительно горизонтальной нулевой линии. Нулевая линия – линия, соответствующая номинальному размеру. Одно из двух отклонений (верхнее или нижнее), ближайшее от нулевой линии, называют основным отклонением. Зону (поле), ограниченную верхним и нижним отклонением, называют полем допуска. Оно характеризуется величиной допуска и его положением относительно номинального размера. Допуск характеризует точность изготовления детали, а положение поля допуска определяет тип посадки при сборке деталей. Величина поля допуска определяется качеством (степенью точности допусков размера). Допуск  $ITq$  качества  $q$  равен  $ITq = \text{ВПО} - \text{НПО}$ .

Проушина (рис. 30) обрабатывается одновременно двумя боковыми режущими кромками. По мере износа лезвий и затупления режущих кромок ширина проушины будет уменьшаться симметрично в обоих направлениях, но не должна выйти за пределы поля допуска. Уменьшение размера проушины в одном направлении не должно превышать  $ITq/2$ . В этом случае станок настраивается по верхнему предельному отклонению.

### 5.8.3. Выбор точности станка

*Показатель рассеяния.* Для работы станка без брака необходимо, чтобы допуск на размер был больше начального рассеяния погрешностей:  $T > \omega_1^\Sigma$ . В связи с тем, что возможно изменение стабильности процесса обработки деталей, необходимо, чтобы суммарное поле рассеяния размера  $\omega_1^\Sigma$  равнялось хотя бы  $0,9T$ . Это требование характеризуется *показателем рассеяния* (ГОСТ 16467-70):

$$K_p = \frac{\omega_1^\Sigma}{T}.$$

Необходимое условие для настройки:  $K_p < 1$ , при хороших условиях  $K_p \leq 0,9$ . При  $K_p \geq 1$  работа станка без брака невозможна.

Суммарное поле рассеяния размера в начале обработки партии деталей, мм

$$\omega_1^\Sigma = \sqrt{\omega_n + \omega_m + \omega_u + \omega_{пер}},$$

где  $\omega_n$  – начальное поле рассеяния размеров; после определения среднего квадратического отклонения выборки  $S$  находят  $\omega_n = 6S$ ;

$\omega_m$  – погрешность рассеяния в выборке;

$\omega_u$  – погрешность измерения размеров;  $\omega_u = 0,2\omega_n$  (ГОСТ 25338-91);

$\omega_{пер}$  – погрешность перемещений при настройке.

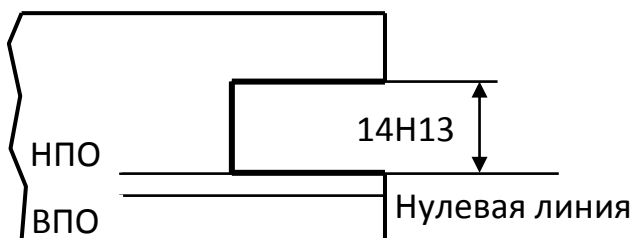


Рис. 30. Поле допуска для проушины

**Пример 1.** Определить момент возникновения параметрического отказа при обработке проушин с номинальным размером 12; 14; 16 и основным отклонением H13, если начальный радиус закругления режущей кромки  $\rho_0 = 5$  мкм, задний

угол лезвия  $\alpha = 15^\circ$ , угол заострения  $\beta = 40^\circ$ , начальное поле рассеяния размеров на станке  $\omega_1^\Sigma = 180$  мкм, относительная остаточная деформация  $\varepsilon_0 = 0,2$ .

*Решение.*

1. По ГОСТ 6449.1-82 находим поле допуска  $IT13 = 270$  мкм.

2. Находим величину запаса поля допуска

$$\delta_3 = IT13 - \omega_1^\Sigma = 270 - 180 = 90 \text{ мкм.}$$

3. Принимаем величину подъема обработанной поверхности для одной режущей кромки лезвия  $d = \delta_3 / 2 = 90 / 2 = 45$  мкм.

4. Определяем значение выражения

$$e = \frac{\sin(\alpha + \beta / 2)}{\sin(\beta / 2)} = \frac{\sin(15 + 40 / 2)}{\sin(40 / 2)} = 1,68.$$

5. Находим предельно допустимый радиус закругления режущей кромки, при достижении которого наступает отказ технологической системы по параметру “точность”:

$$\rho_2 = \frac{d + \rho_0 e}{e - \varepsilon_0} = \frac{45 + 5 \cdot 1,68}{1,68 - 0,2} = 36,08 \text{ мкм.}$$

Анализ формулы (64) показывает, что с увеличением угла заострения лезвия предельное значение радиуса закругления  $\rho_2$  увеличивается:

Угол $\beta$ , град	40	45	50	55
Радиус закругления $\rho_2$ , мкм	36,1	38,1	39,8	41,4

Для проушин с номинальным размером по ширине 6; 8; 10 мм поле допуска равно 220 мкм; при прочих равных условиях значение  $\rho_2$  изменяется так:

Угол $\beta$ , град	40	45	50	55
Радиус закругления $\rho_2$ , мкм	19,2	20,1	20,9	21,6

**Пример 2.** Определить момент возникновения параметрического отказа по параметру “точность” при обработке на сверлильно-пазовальном станке гнезд под шипы размером

8Н13, если  $\rho_0 = 5$  мкм,  $\alpha = 15^\circ$ ,  $\beta = 40^\circ$ , поле рассеяния размеров на станке  $\omega_1^\Sigma = 180$  мкм.

*Решение.* Гнездо обрабатывается концевой фрезой. При затуплении режущих кромок диаметр фрезы убывает. Поле допуска на размер 0,22 мм. По формуле (66) получаем, что отказ наступит в момент, когда  $\rho_2 = 41,9$  мкм.

Из изложенного выше следует, что на момент возникновения параметрического отказа по параметру точности влияет, главным образом, точностное состояние станка. Чем больше значение поля рассеяния размера, тем меньше запас поля допуска и тем скорее наступает отказ.

## Контрольные вопросы и задания

1. Что такое отказ режущего инструмента по параметру точности?
2. Изобразите поле допуска для проушины.
3. Как определить предельное значение радиуса закругления режущей кромки при отказе?

## Глава 6

# Обработка древесины винтовыми фрезами

### 6.1. Равномерность фрезерования

Площадь поперечного сечения срезаемого слоя при фрезеровании непостоянна. Она изменяется от нуля до некоторого максимума. Соответственно этому и сила резания изменяется от нуля до максимума. Колебание силы резания делает процесс фрезерования импульсивным, неравномерным. Неравномерность нагрузки проявляется в виде вибраций и толчков. Все это ускоряет износ рабочих органов станка, снижает стойкость режущего инструмента, увеличивает шероховатость обработанной поверхности, понижает точность обработанных деталей, а также увеличивает производственный шум и утомляемость рабочих.

Особенно резкие колебания силы резания наблюдаются при работе прямозубыми фрезами. Это требует повышенной прочности лезвий и их крепления в корпусе ножевого вала (фрезы), а также значительных размеров валов и подшипниковых опор.

Значительно более равномерным является фрезерование фрезами с винтовыми зубьями. На рис. 31 показана схема обработки заготовки 1 цилиндрической фрезой 2. Фреза диаметром  $D$  и длиной  $L$  имеет винтовые режущие кромки с осевым шагом  $t_{oc} = L$ . Ширина заготовки  $B = L$ .

Фреза контактирует с заготовкой на участке небольшой ширины. При вращении фрезы на один поворот все точки режущей кромки лезвия последовательно касаются поверхности заготовки и, если осевой шаг винта  $t_{oc}$  равен ширине заготовки  $B$ , то участок контакта перемещается от одной боковой кромки за-

готовки к другой. Лезвие фрезы постоянно находится в контакте с заготовкой. Процесс резания происходит непрерывно, плавно, без вибраций. Такое фрезерование называется равномерным.

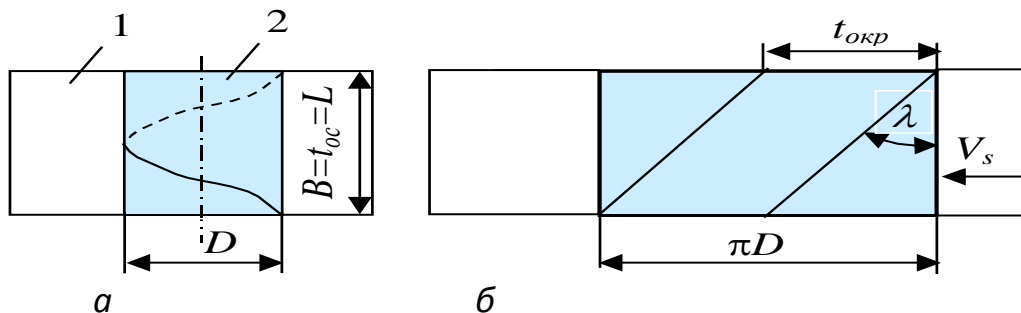


Рис. 31. Резание фрезой с винтовой режущей кромкой:

Условие равномерного фрезерования фрезами со спиральными зубьями можно кратко выразить так: для равномерного фрезерования ширина фрезерования  $B$  должна быть равна осевому шагу фрезы или кратна ему (в целых числах). Это выражается формулой

$$k = B/t_{oc}. \quad (67)$$

Из рис. 31,б следует, что окружной шаг фрезы

$$t_{окр} = t_{oc} \operatorname{tg} \lambda. \quad (68)$$

Кроме того

$$t_{окр} = \frac{\pi D}{Z}, \quad (69)$$

где  $D$  – диаметр фрезы, мм;

$Z$  – число зубьев фрезы.

Найдя из последних формул значение осевого шага, получим формулу коэффициента равномерного фрезерования

$$k = \frac{Z B \operatorname{tg} \lambda}{\pi D}. \quad (70)$$

Для винтового фрезерования ВНИИдревом предложены серповидные ножи толщиной  $S = 0,6 \dots 1,0$  мм, которым винтовая форма придается непосредственно на ножевом валу с винтовой канавкой. Винтовая фреза может быть и цельной.

## 6.2. Площадь поперечного сечения срезаемого слоя

Если цилиндрическая фреза имеет прямые зубья ( $\lambda = 0$ ), то на поверхности резания  $R$  изменяется только толщина срезаемого слоя  $a$ , ширина его остается постоянной (рис. 32, а).

Если цилиндрическая фреза имеет винтовые зубья, то ширина срезаемого слоя  $b$ , равная отрезку винтовой линии, находящейся в контакте с поверхностью резания  $R$ , – величина переменная. Максимальная ширина среза

$$b_{\max} = \frac{D}{2 \sin \lambda} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} d\varphi = \frac{D}{2 \sin \lambda} (\varphi_2 - \varphi_1),$$

где  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  – углы входа и выхода зуба из древесины, рад.

Толщина срезаемого слоя  $a$  тоже переменная величина:  $a = S_z \sin \varphi$ . Значения толщины среза находят по тем же зависимостям, что и для прямозубых фрез. Эюры мгновенных значений площади срезаемого слоя на дуге контакта фрезы с заготовкой показаны на рис. 32, б.



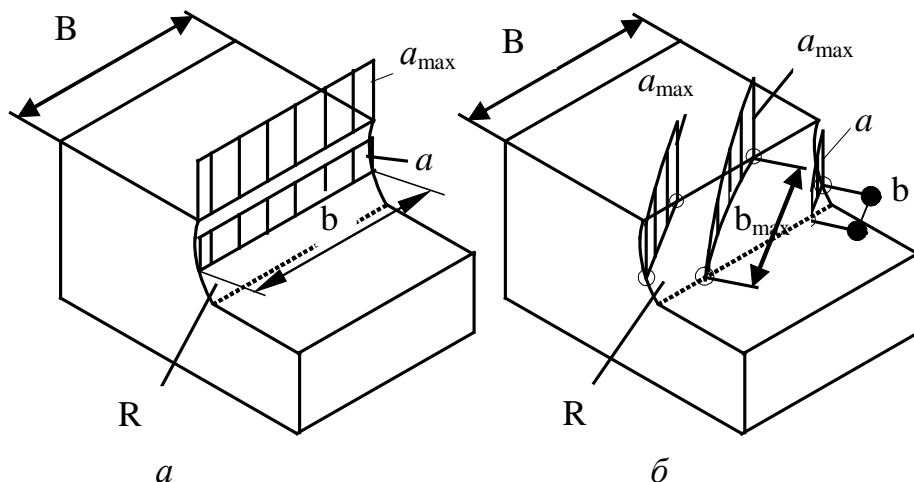


Рис. 32. Размеры срезаемого слоя:  
*a* – для прямозубой фрезы; *б* – для винтовой фрезы

### 6.3. Расчет сил и мощности резания

Приближенный метод расчета заключается в следующем.

Для заданных условий обработки рассчитывают мощность  $P$ , кВт, фрезерования прямозубой фрезой ( $\lambda = 0$ ) по методике, изложенной ранее. Мощность фрезерования винтовыми зубьями находят по указанной мощности  $P$  с учетом поправочного коэффициента  $a_\lambda$  на угол наклона режущей кромки, кВт:

$$P_\lambda = a_\lambda P.$$

Значения поправочного коэффициента  $a_\lambda$  на угол наклона винтовой режущей кромки  $\lambda$  при фрезеровании древесины вдоль волокон приведены ниже:

Угол $\lambda$ , град . . . . .	0	10	20	30
Коэффициент $a_\lambda$ при фрезеровании:				
– вдоль волокон . . . . .	1	0,7	0,55	0,4
– поперек волокон . . . . .	1	1,07	1,25	1,5

Зона контакта с древесиной винтового зуба перемещается в направлении главного движения и в осевом направлении. Это приводит к тому, что продольно-торцовое резание

прямозубой фрезой становится продольно-торцово-поперечным, а поперечное фрезерование – поперечно-продольным. Эта особенность учитывается коэффициентом  $\alpha_\lambda$ .

Касательная сила резания, Н

$$F_x = 1000P_\lambda/V. \quad (71)$$

Радиальная сила резания, Н

$$F_z = (1 - \cos \varphi)F_x / \sin \varphi. \quad (72)$$

Осевая сила, Н

$$F_y = F_x \operatorname{tg} \varphi. \quad (73)$$

В этих формулах берется среднее значение угла  $\varphi$ , соответствующее середине угла контакта, град.

Применение винтового фрезерования сдерживается трудоемкостью изготовления и эксплуатации винтовых ножей, ножевых валов и ножевых головок. В последние годы сплошные винтовые ножи на ножевых валах и головках заменяются узкими прямозубыми резцами, которые устанавливают ступенчато по винтовой линии. Такой режущий инструмент обеспечивает плавность резания, а расчет его выполняется по методике расчета процесса фрезерования прямозубыми фрезами.

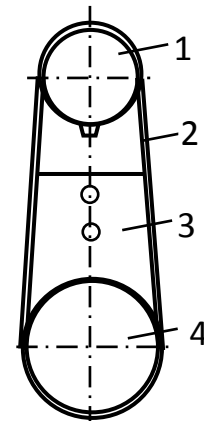


Рис. 33. Фрезерная головка цепно-долбежного станка

## Глава 7

### Цепное фрезерование

#### 7.1. Общие сведения

Цепное фрезерование предназначено для обработки в заготовках гнезд и пазов прямоугольной формы под шипы или фурнитуру. Фрезерование (долбление гнезда) выполняется фрезерной цепочкой 2 (рис. 33), которая надета с одной стороны на приводную четырехзубую звездочку 1, а с другой – на направляющую линейку 3 с роликом 4. Звездочка 1 насажена на валу электродвигателя, а направляющая линейка обеспечивает направление и натяжение фрезерной цепи и закреплена на ползуне.

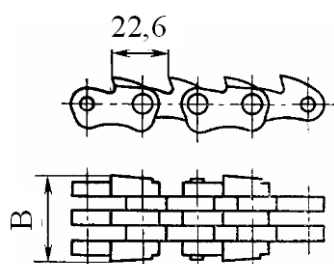


Рис. 34. Цепочка фрезерная

Конструкция фрезерной цепочки показана на рис. 34. Це-

почки изготавливают по ГОСТ 22459-77 двух типов: 1 – цепочки трехрядные, 2 – цепочки пятирядные. На каждом звене многорядной цепи имеется зуб с режущей кромкой. Совместная работа зубьев на двойном шаге обеспечивает формирование ширины гнезда.

## 7.2. Кинематические соотношения

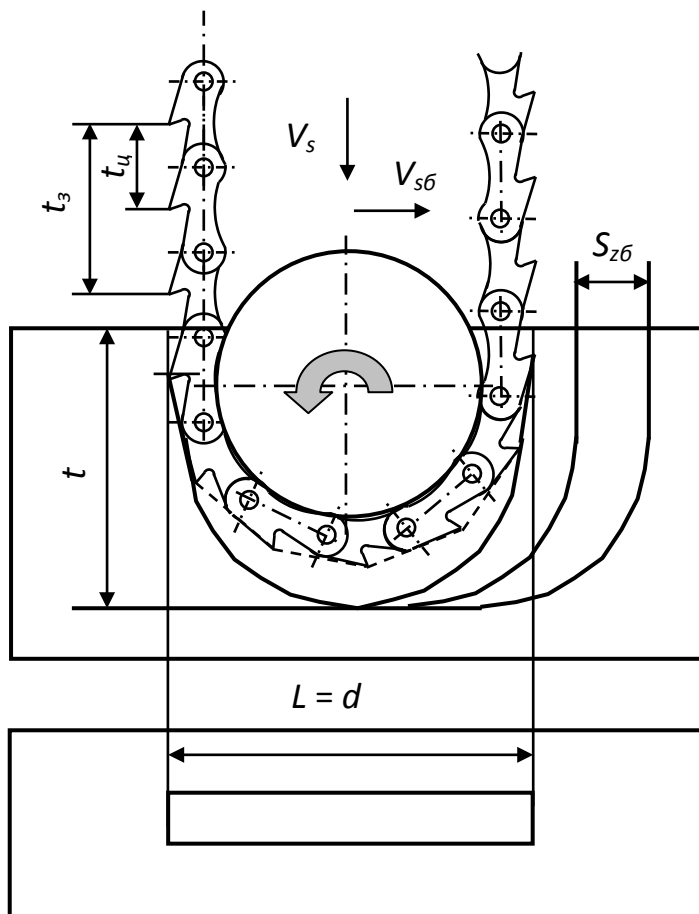
Различают фрезерование радиальное со скоростью подачи  $V_s$  и тангентальное со скоростью боковой подачи  $V_{sb}$  (рис. 35). При работе только с радиальной подачей формируются гнезда, длина которых равна диаметру окружности резания зубьев,  $L = d$ . При тангентальной подаче можно получить более длинный паз.

**Фрезеро-  
ной пода-  
движение  
рования  
со скоро-**

где  $d_3$  –  
ной ок-  
дочки, мм;

$n$  –  
электро-

Учитывая,  
ки  $t_3 = 2 t_u$ ,



**вание с радиаль-  
чей.** Главное  
цепного фрезе-  
осуществляется  
стью, м/с

$$V = \frac{\pi d_3 n}{60000},$$

диаметр началь-  
ружности звез-

частота вращения  
двигателя, мин<sup>-1</sup>.

что шаг звездоч-  
можно записать

Рис. 35. Схема цепного фрезерования  
(долбления гнезда)

$$\pi d_3 = Z_3 t_3 = 2 Z_3 t_u,$$

где  $Z_3$  – число зубьев звездочки;  $Z_3 = 4$ .

Отсюда получим уравнение для скорости главного движения, м/с:

$$V = \frac{2Z_3 t_y n}{60000}. \quad (74)$$

Скорость радиальной подачи, м/мин

$$V_s = \frac{S_z Z_3 n}{1000}, \quad (75)$$

где  $S_z$  – подача на зуб в радиальном направлении, мм.

Найдем отношение скоростей  $V/V_s$  и из него подачу на зуб в радиальном направлении:

$$S_z = \frac{2t_y V_s}{60V}. \quad (76)$$

Толщина срезаемого слоя при фрезеровании изменяется от нуля до максимального значения, а затем убывает до нуля. В расчетах принимают среднее значение толщины срезаемого слоя  $a_c$ . Для определения  $a_c$  найдем площадь боковой поверхности срезаемого слоя

$$S = S_z d \quad \text{или} \quad S = a_c l = a_c \pi d / 2.$$

Из равенства приведенных выражений получим

$$a_c = \frac{2S_z}{\pi} \approx 0,64 S_z. \quad (77)$$

Угол перерезания волокон при радиальном фрезеровании изменяется от  $90^\circ$  до  $0^\circ$ , и его значение должно равняться  $\varphi_b = 90^\circ - \varphi$ , где  $\varphi$  – угол поворота ролика, соответствующий  $a_c$ . Известно,  $a_c = S_z \sin \varphi$ , отсюда  $\varphi = \arcsin(a_c / S_z) = \arcsin 0,64 \approx 40^\circ$ . Угол перерезания волокон  $\varphi_b = 90^\circ - 40^\circ = 50^\circ$ .

**Фрезерование с боковой подачей.** Подача на зуб, мм

$$S_{z\bar{b}} = \frac{2t_y V_{s\bar{b}}}{60V}. \quad (78)$$

Длина срезаемого слоя, мм

$$l_{\bar{b}} = \frac{\pi d}{4} + \left(t - \frac{d}{2}\right) = 0,285d + t.$$

Средняя толщина срезаемого слоя, мм

$$a_{сб} = \frac{S_{\delta}}{l_{\delta}} = \frac{S_{z\delta}t}{0,285d + t}.$$

Поскольку угол перерезания волокон изменяется от  $0^{\circ}$  до  $90^{\circ}$ , то  $\varphi_{в} = \varphi = \arcsin a_{сб}$ .

### 7.3. Замечания к расчету режима резания

Для цепного долбления древесины характерны следующие режимы: скорость главного движения  $V = 4...10$  м/с, скорость подачи радиальной  $V_s = 0...3,6$  м/мин, боковой  $V_{s\delta} = (0,5...0,7) V_s$  (меньшая скорость берется при обработке глубоких гнезд в твердой породе древесины); частота вращения звездочки  $n = 3000$  мин<sup>-1</sup>, число зубьев звездочки  $Z_3 = 4$ , шаг зубьев звеньев цепи  $t = 22,6$  мм, угол резания  $\delta = 70^{\circ}$ , задний угол  $\alpha = 15^{\circ}$ , угол заострения  $\beta = 55^{\circ}$ ; ширина цепи по ГОСТ 22459-77 берется из ряда: цепочки трехрядные –  $b = 8; 10; 12; 16$  мм, цепочки пятирядные –  $b = 20$  мм; количество пластин по ширине цепи равно трем и пяти для пятирядных цепей; диаметр фрезерной головки принимается 40 и 60 мм.

Фрезерная цепь при долблении работает в закрытом гнезде. В результате этого при резании затрачивается дополнительная работа на трение стружки по стенкам гнезда. Удельное сопротивление трения стружки может быть найдено по формуле

$$K_{тр} = \frac{\alpha_{\Delta}t}{b},$$

где  $\alpha_{\Delta}$  – коэффициент интенсивности трения,  $\alpha_{\Delta} = 0,6$  МПа.

### 7.4. Расчет режима резания

Порядок расчета режима резания разобран на следующем примере.

*Дано.* На цепно-долбежном станке производится обработка гнезд в брусках со следующим режимом резания. Диаметр окружности резания цепной головки  $d = 40$  мм, частота вращения ведущей звездочки  $n = 2850$  мин<sup>-1</sup>, число зубьев звездочки  $Z_3 = 4$ , шаг зубьев цепи  $t_u = 22,6$  мм, ширина цепи (ширина гнезда)  $b = 12$  мм, угол резания зубьев  $\delta = 70^{\circ}$ , цепь трехрядная с числом пластин в ряду  $i = 3$ . Расстояние между осями звездочки и ролика  $H = 300$  мм, продолжительность работы станка  $T = 180$  мин. Порода древесины

– береза, глубина гнезда  $t = 80$  мм, скорость подачи радиальной  $V_s = 1,08$  м/мин, боковой  $V_{сб} = 0,5$  м/мин.

Определить силы и мощность резания при радиальной и боковой подаче.

Решение.

1. Находим скорость главного движения:

$$V = \frac{2Z_z t_y n}{60000} = \frac{2 \cdot 4 \cdot 22,6 \cdot 2850}{60000} = 8,6 \text{ м/с.}$$

2. Определяем величину подачи на один зуб при радиальной подаче:

$$S_z = \frac{2t_y V_s}{60V} = \frac{2 \cdot 22,6 \cdot 1,08}{60 \cdot 8,6} = 0,095 \text{ мм.}$$

3. Находим среднее значение толщины срезаемого слоя при радиальной подаче:

$$a_c = 0,64S_z = 0,64 \cdot 0,095 = 0,06 \text{ мм.}$$

4. Находим значение фиктивной силы резания для древесины сосны, учитывая, что угол перерезания волокон  $\varphi_b = 50^\circ$ :

$$p = 1,565 + 0,0353\varphi_b = 1,565 + 0,0353 \cdot 50 = 3,33 \text{ Н/мм.}$$

Определим касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность зуба для древесины сосны:

$$\begin{aligned} k &= (0,196 + 0,00392\varphi_b)\delta + (0,0686 + 0,00147\varphi_b)(90 - V) - \\ &- (5,39 + 0,147\varphi_b) = (0,196 + 0,00392 \cdot 50) \cdot 70 + \\ &+ (0,0686 + 0,00147 \cdot 50)(90 - 8,6) - (5,39 + 0,147 \cdot 50) = 26,26 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

5. Найдем величину прироста радиуса закругления режущих кромок  $\Delta_r$  через 180 мин работы станка при коэффициентах использования станка и производительности  $K_u = K_n = 0,9$ .

Предварительно определим длину дуги контакта:

$$l_k = \pi d / 2 = 3,14 \cdot 40 / 2 = 62,8 \text{ мм.}$$

Величина затупления на 1 м пути для березы на 30% больше, чем для сосны:

$$\gamma_{\Delta} = 0,008 \cdot 1,3 = 0,00104 \text{ мкм/м.}$$

$$\Delta\rho = \gamma_{\Delta} l_{\kappa} n T K_n K_u / [1000(1 + 2H/\pi d)] =$$

$$0,00104 \cdot 62,8 \cdot 2850 \cdot 180 \cdot 0,9 \cdot 0,9 / [1000(1 + 2 \cdot 300/3,14/40)] = 4,69 \text{ мкм.}$$

6. Коэффициент затупления

$$\alpha_{\rho} = 1 + (1 + 0,1 \frac{k}{p}) \frac{\Delta\rho}{\rho_o + 50} = 1 + (1 + 0,1 \frac{26,26}{3,33}) \frac{4,69}{10 + 50} = 1,14.$$

7. Удельное сопротивление трения стружки о стенки гнезда

$$K_{mp} = \frac{\alpha_{\Delta} t}{b} = \frac{0,6 \cdot 80}{12} = 4 \text{ МПа.}$$

8. Рассчитаем значение касательной силы резания одним зубом. Поскольку  $a_c < 0,1$  мм, расчет для микрослоев выполняем так. Находим коэффициент  $\lambda = \rho^2 + 0,2\rho + 0,01$ , где  $\rho = \rho_o + \Delta\rho = (10 + 4,69)/1000 = 0,0147$  мм.

$$\lambda = (0,0147)^2 + 0,2 \cdot 0,0147 + 0,01 = 0,013.$$

Сила резания одним зубом при ширине лезвия  $b_n = b/i = 12/3 = 4$  мм.

$$F_{x \text{ зуб}} = [(\alpha_{\rho} p + 0,1(k + K_{mp}))(-\frac{1}{\lambda} a_c^2 + \frac{0,2}{\lambda} a_c + 1 - \frac{0,01}{\lambda})] b_n a_n a_w =$$

$$= [(1,14 \cdot 3,33 + 0,1(26,26 + 4))(-\frac{1}{0,013} 0,06^2 + \frac{0,2}{0,013} 0,06 + 1 - \frac{0,01}{0,013})] 4 \cdot 1,25 \cdot 1 =$$

$$= 29,91 \text{ Н.}$$

9. Находим значение окружной касательной силы резания, учитывая, что на двойном шаге фрезерной цепи расположено  $Z = 5$  зубьев:

$$F_{x o} = F_{x \text{ зуб}} \frac{\pi d}{4 t_{\text{ц}}} Z = 29,91 \frac{3,14 \cdot 40}{4 \cdot 22,6} 5 = 207,8 \text{ Н.}$$

10. Мощность на резание в радиальном направлении

$$P = \frac{F_{x o} V}{1000} = \frac{207,8 \cdot 8,6}{1000} = 1,79 \text{ кВт.}$$

11. При фрезеровании с боковой подачей подача на зуб

$$S_{z \delta} = \frac{2t_{\text{ц}} V_s \delta}{60V} = \frac{2 \cdot 22,6 \cdot 0,5}{60 \cdot 8,6} = 0,044 \text{ мм.}$$

12. Средняя толщина срезаемого слоя

$$a_{c \delta} = \frac{S_{z \delta} t}{0,285d + t} = \frac{0,044 \cdot 80}{0,285 \cdot 40 + 80} = 0,04 \text{ мм.}$$

13. Угол перерезания волокон

$$\varphi_{\delta} = \arcsin a_{c \delta} / S_{z \delta} = \arcsin(0,04/0,044) = 65,4^{\circ}.$$

14. Находим значение фиктивной силы резания для древесины сосны:

$$p = 1,565 + 0,0353\varphi_{\delta} = 1,565 + 0,0353 \cdot 65,4 = 3,87 \text{ Н/мм.}$$

15. Определим касательное давление срезаемого слоя на переднюю поверхность зуба для древесины сосны:

$$\begin{aligned} k &= (0,196 + 0,00392\varphi_{\text{в}})\delta + (0,0686 + 0,00147\varphi_{\text{в}})(90 - V) - \\ &- (5,39 + 0,147\varphi_{\delta}) = (0,196 + 0,00392 \cdot 65,4) \cdot 70 + \\ &+ (0,0686 + 0,00147 \cdot 65,4)(90 - 8,6) - (5,39 + 0,147 \cdot 65,4) = 30,07 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

16. Сила резания одним зубом при ширине лезвия  $b_n = 4 \text{ мм.}$

$$\begin{aligned} F_{x \text{ зуб}} &= [(\alpha_{\rho} p + 0,1(k + K_{mp}))(-\frac{1}{\lambda} a_{c\delta}^2 + \frac{0,2}{\lambda} a_{c\delta} + 1 - \frac{0,01}{\lambda})] b_n a_n a_w = \\ &= [(1,14 \cdot 3,87 + 0,1(30,07 + 4))(-\frac{1}{0,013} 0,04^2 + \frac{0,2}{0,013} 0,04 + 1 - \frac{0,01}{0,013})] 4 \cdot 1,25 \cdot 1 = \\ &= 28,27 \text{ Н.} \end{aligned}$$

17. Находим значение окружной касательной силы резания, учитывая, что на двойном шаге фрезерной цепи расположено  $Z = 5$  зубьев:

$$F_{x o} = F_{x \text{ зуб}} \frac{\pi d}{4t_{\text{ц}}} Z = 28,27 \frac{3,14 \cdot 40}{4 \cdot 22,6} 5 = 196,4 \text{ Н.}$$

10. Мощность на резание в радиальном направлении



$$P = \frac{F_x \cdot V}{1000} = \frac{196,4 \cdot 8,6}{1000} = 1,69 \text{ кВт.}$$

## Контрольные вопросы и задания

1. Назовите преимущества фрезерования винтовыми фрезами.
2. Какие силы резания действуют при фрезеровании винтовыми фрезами?
3. Изобразите схему цепного фрезерования.
4. Как определяется среднее значение толщины срезаемого слоя и угол перерезания волокон при цепном фрезеровании?

## Глава 8

## Фрезерование по копиру

Фрезерование древесины методом копирования применяется для обработки цилиндрических, конических и других профильных деталей, например рукояток топоров, молотков и других изделий, когда обрабатываемая заготовка базируется во вращающихся центрах, а вращающаяся фреза перемещается относительно заготовки по копиру. Копирование используется также для обработки плоских профильных поверхностей.

*Кинематика объемного копирования.* Качество копирования, производительность и мощность механизма главного движения при копировании, когда ось ножевого вала перпендикулярна оси центров, зависит от частоты вращения ножевого вала и заготовки, числа зубьев и диаметра детали.

При копировании на станке в результате совместных движений ножевого вала и заготовки на последней образуется винтовая поверхность резания с шагом, равным величине

подачи на зуб ножевого вала  $S_z$ . Скорость подачи заготовки относительно ножевого вала, м/мин

$$V_s = S_z n_1 / 1000,$$

где  $S_z$  – подача на зуб, мм;

$n_1$  – частота вращения заготовки, мин<sup>-1</sup>.

При копировании подача на зуб характеризует высоту кинематических неровностей на обработанной поверхности. Ножевой вал оставляет на обработанной поверхности кинематические волны длиной, равной  $S_z$ .

За период между началом срезания двух смежных слоев заготовка повернется на угол  $\varphi$ . Тогда за время одного оборота заготовки ножевой вал, имея  $z$  зубьев, сделает  $2\pi/\varphi z$  оборотов вокруг своей оси, а при частоте вращения  $n_1$  заготовки частота вращения ножевого вала  $n_2$  вокруг своей оси, мин<sup>-1</sup>

$$n_2 = \frac{2\pi n_1}{\varphi z}. \quad (79)$$

Отсюда частота вращения заготовки в станке, мин<sup>-1</sup>

$$n_1 = \frac{n_2 \varphi z}{2\pi}. \quad (80)$$

Значение  $\varphi$  следует находить из требований к шероховатости поверхности и получать из выражения

$$\varphi = 2 \arccos \frac{r}{R_{m \max} + r}, \quad (81)$$

где  $r$  – радиус сечения круга обрабатываемой детали, мм;

$R_{m \max}$  – допускаемая величина неровностей (шероховатость) обработанной поверхности, мм.

Мощность фрезерования при копировании можно найти из выражения

$$P = \frac{K(O_1 - O_2)V_s}{1000L}, \quad (82)$$

где  $O_1$  – объем бруска, из которого получается деталь, см<sup>3</sup>;

$O_2$  – объем детали, см<sup>3</sup>;

$V_s$  – скорость продольной подачи, м/с;

$L$  – длина обрабатываемой части заготовки, м;

$K$  – удельная работа резания (30 – 60 для хвойных пород древесины и 45 – 90 для твердых лиственных пород древесины), Дж/см<sup>3</sup>.

**Пример.** Из березовых брусков сечением 50×50 мм и длиной 250 мм методом копирования фрезеруются конические детали  $d_{\max} = 45$  мм,  $d_{\min} = 25$  мм. Шероховатость детали  $R_{m\max} = 60$  мкм. Частота вращения ножевого вала  $n_2 = 5000$  мин<sup>-1</sup>, число ножей  $z = 2$ .

*Определить частоту вращения заготовки и мощность привода ножевого вала.*

*Решение.*

1. Определим средний радиус конической детали

$$d_{cp} = (d_{\max} + d_{\min}) / 2 = (45 + 25) / 2 = 35 \text{ мм.}$$

2. Угол поворота заготовки  $\varphi$

$$\varphi = 2 \arccos \frac{r}{R_{m\max} + r} = 2 \arccos \frac{35}{0,060 + 35} = 0,117 \text{ рад.}$$

3. Максимальная частота вращения заготовки в станке, мин<sup>-1</sup>

$$n_1 = \frac{n_2 \varphi z}{2\pi} = \frac{5000 \cdot 0,117 \cdot 2}{2 \cdot 3,14} = 186 \text{ мин}^{-1}.$$

4. Скорость подачи заготовки относительно ножевого вала

$$V_s = S_z n_1 / 1000 = 2 \cdot 186 / 60000 = 0,0062 \text{ м/с.}$$

5. Объем заготовки

$$O_1 = 5 \cdot 5 \cdot 25 = 625 \text{ см}^3.$$

6. Объем детали

$$O_2 = \pi d_{cp}^2 l / 4 = 3,14 \cdot 3,5^2 \cdot 25 / 4 = 240,4 \text{ см}^3.$$

7. Мощность резания

$$P = \frac{K(O_1 - O_2)V_s}{1000L} = \frac{45 \cdot (625 - 240,4) \cdot 0,0062}{1000 \cdot 0,25} = 0,43 \text{ кВт.}$$

## Глава 9

# Дереворежущий инструмент

### 9.1. Ножевые валы

#### 9.1.1. Конструкции ножевых валов

В станках для фрезерования древесины в качестве механизма главного движения наиболее часто используются ножевые валы и шпиндели. *Ножевым валом называют быстроходный вал станка с закрепленным на нем режущим инструментом в промежутке между подшипниковыми опорами.* Так выполняются ножевые валы фуговальных и рейсмусовых станков. В связи с высокой частотой вращения (до 6000 мин<sup>-1</sup> и выше) и значительной их длиной ножевые валы для повышения их жесткости и виброустойчивости закрепляются на станине станка неподвижно, без регулировочных перемещений.

Конструкции ножевых валов приведены на рис. 36. Лезвия ножей могут быть прямолинейными, винтовыми, ступенчатыми, ступенчато-наклонными или в виде неперетачиваемых пластин с несколькими режущими кромками.

В общем случае ножевой вал содержит тормозной шкив 1, подшипники 2, корпус 3 с пазами и приводной шкив 4 для клиновых ремней. В пазы корпуса вставлены ножи 7, 12 с планками 5 и регулировочными винтами 6, которые обеспечивают выдвигание ножа из паза при настройке. Ножи в пазах крепятся клиньями 8, 13 и винтами 9, 10. Серповидные ножи 12 крепят с помощью вставок 11.

На рис. 37 [8] показаны варианты настройки положения ножей регулировочными винтами 1 и планкой 3. Ножи 2 с клинь-

ями 5 и винтами 4 вставлены в пазы корпуса вала. При настройке положения ножа винты 1 (рис. 37 *а*), расположенные по краям корпуса ножевого вала, вращают отверткой. Нож, опирающийся на бортики винта, поднимается или опускается по высоте.

В другом варианте (рис. 37 *б*) нож опирается на планку 3, в которой нарезана резьба под винты 1. При вращении винтов планка перемещается по высоте и регулирует положение ножа. После настройки положение ножей фиксируется клиньями 5 и

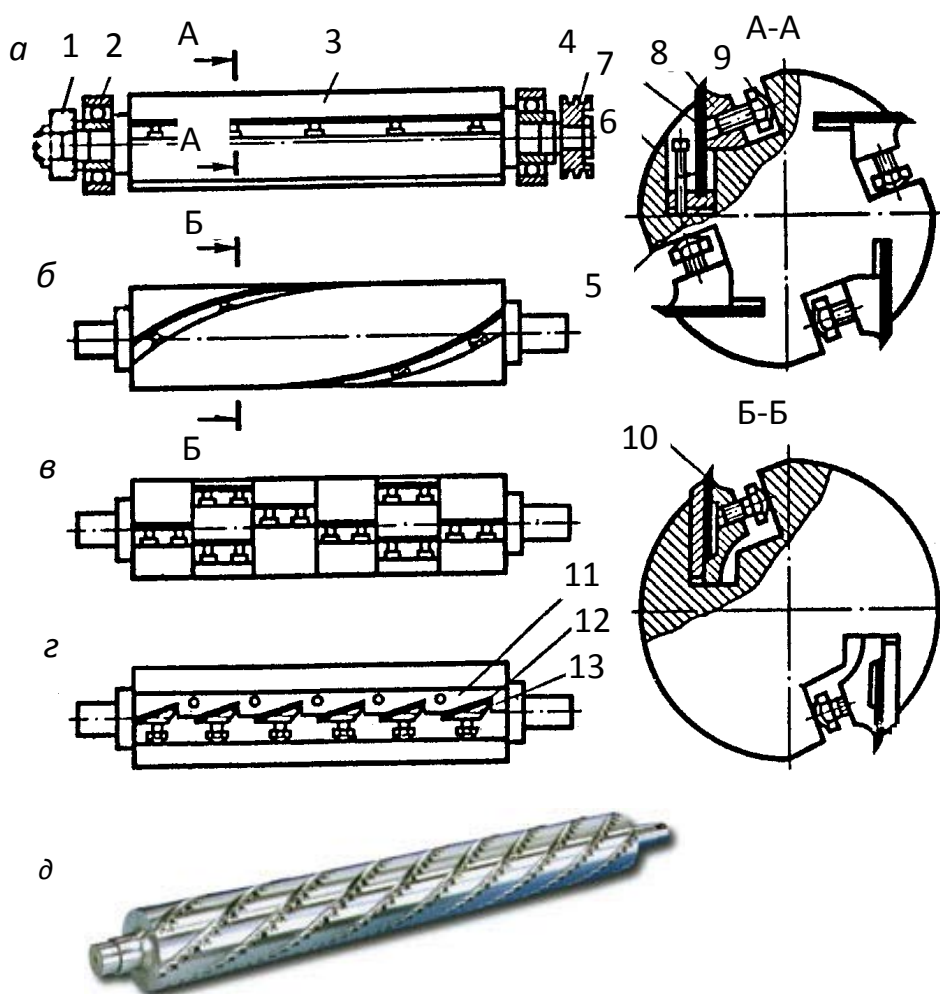


Рис. 36. Ножевые валы с расположением ножей:

*а* – прямолинейным, *б* – винтовым, *в* – ступенчатым,

*г* – ступенчатым с наклоном режущей кромки;

винтами 4.

Вал с неперетачиваемыми четырехсторонними пластинками из твердого сплава (рис. 36, д) имеет геликоидальные пазы, в которых закреплены в шахматном порядке указанные пластинки. Такая конструкция вала обеспечивает при фрезеровании заготовки высокое качество обработанной поверхности, большую скорость удаления стружки и низкий уровень шума. Каждая пластинка может быть снята в индивидуальном порядке для замены.

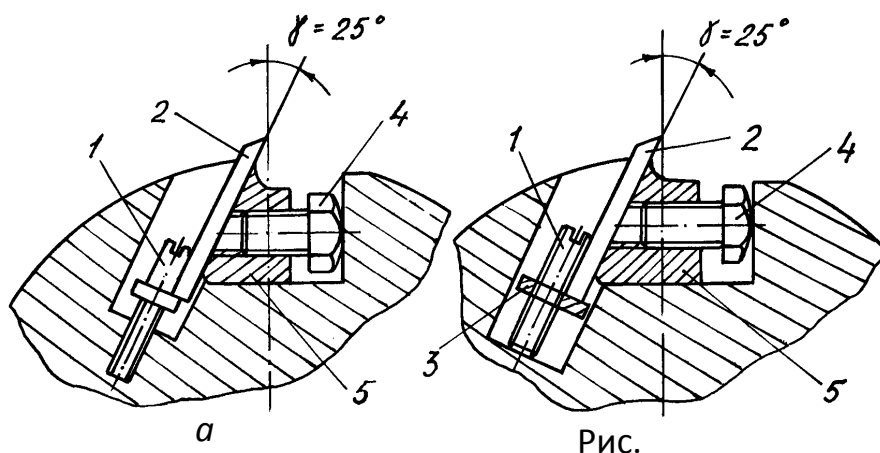


Рис. 37. Варианты регулирования ножей:

*а* – винтом: *б* – планкой

### 9.1.2. Установка и выверка ножей

При установке ножей на фрезерный вал следует выполнять ряд требований.

1. Парные ножи, устанавливаемые на вал, должны иметь одинаковую массу и быть сбалансированы. Режущие кромки ножей должны выступать над стружколомателем на 0,8 – 2 мм, а над поверхностью вала – не более 2 мм. Непараллельность режущей кромки поверхности заднего стола должна быть не более 0,1 мм на длине 1000 мм.
2. Все точки режущих кромок ножей, закрепленных в ножевом валу, должны иметь одинаковые радиусы резания (допустимое отклонение 0,04...0,06 мм). Заточкой и прифуговкой ножей после закрепления их на вале можно добиться идеальной точности положения режущих кромок.
3. После установки ножей на станке обрабатывают несколько пробных деталей и контролируют точность их обработки. Отклонение от плоскостности деталей должно быть не

более 0,15 мм на длине 1000 мм, отклонение от перпендикулярности – не более 0,1 мм на длине 100 мм.

Для контроля радиусов резания режущих кромок ножей используют различные приспособления (рис. 38). В простейшем случае установку ножей выполняют с помощью деревянного бруска сечением 30×50 мм и длиной 400 мм (рис. 38, а) из древесины твердых лиственных пород. Брусок 1 кладут на задний стол 5 фуговального станка. Нож 2 легко фиксируют в пазу 4 ножевого вала 3. Вручную поворачивая вал, добиваются, чтобы режущая кромка ножа слегка задевала поверхность бруска. Брусок кладут в крайних положениях по ширине стола.

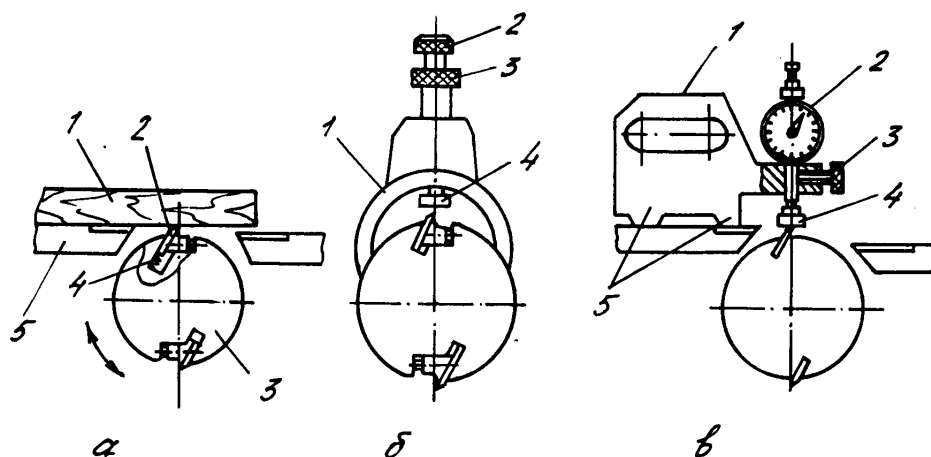


Рис. 38. Схемы выверки ножей

Установку ножей в ножевом валу рейсмусового станка выполняют с помощью шаблона, выполненного в виде скобы (рис. 38, б). Корпус 1 шаблона устанавливают в крайних положениях по длине на цилиндрической поверхности ножевого вала. Вращая винт 2, устанавливают и фиксируют гайкой 3 заданное положение торцевой плоскости упора 4 по высоте. При выставке каждый нож выдвигается до касания с плоскостью упора. Перемещая скобу вдоль ножевого вала, добиваются параллельности лезвий ножей оси вала.

Установку ножей можно выполнить с помощью приспособления с индикатором (рис. 38, в). Это приспособление представляет собой корпус 1 в основании которого имеются точно пришлифованные пластики 5. На консоли корпуса 1 с помощью винта 3 устанавлен индикатор 2 часового типа с ценой деления 0,01 мм. Точность установки ножей достигает 0,02 мм.

Наиболее просто и с точностью до 0,01 мм ножи можно установить в ножевом валу специальной конструкции В.И. Сулинова (рис. 39). На ножевой вал 1 в крайних его положениях по длине напрессованы установочные кольца 3, базовые поверхности 7 которых затем расточены с одной установки. Для размещения ножей в кольцах сделаны окна.

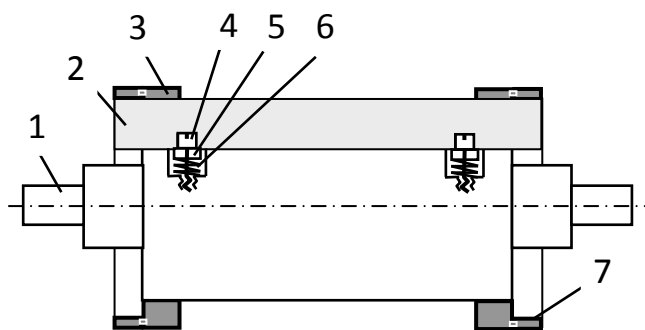


Рис. 39. Схема установки фрезерного ножа по кольцам

При установке нож 2 заводят в паз вала и слегка фиксируют клином и зажимными винтами. Задняя кромка ножа опирается на подпружиненные планки 5. При вывертывании отверткой винтов 4 пружины 6 поднимают планки и нож и прижимают его режущей кромкой к базовым поверхностям 7 установочных колец. В этом положении нож окончательно фиксируется.

## Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение ножевого вала.
2. Изобразите варианты крепления ножей.
3. Как производится выверка ножей?
4. Какие бывают ножевые валы?

## 9.2. Ножевые головки, фрезы

### 9.2.1. Общие сведения

Дереворежущий фрезерный инструмент классифицируют на цельный, составной и сборный, а также на насадной и концевой.

У цельной фрезы корпус и зубья выполнены из одного куска инструментальной стали. Иногда корпус фрезы делают из конструкционной стали, а режущую часть лезвия из быстрорежущей стали или твердого сплава припаивают.

Составная фреза включает две или более цельных фрез, соединенных в единый блок.

Сборная фреза состоит из корпуса, сменных режущих элементов (зубьев) и деталей крепления режущих элементов в корпусе. Сборную фрезу с режущими элементами в виде ножей называют ножевой головкой.

По способу крепления фрезерного инструмента на шпинделе станка различают фрезы насадные (с посадочным отверстием в корпусе фрезы) и концевые (с хвостовиком для крепления в патроне).

Для качественной обработки древесины и древесных материалов для лезвий фрез экс-



периментально установлены вполне конкретные значения угла резания  $\delta$  (табл. 13). Угол заострения зуба  $\beta$  оказывает влияние на прочность лезвия. Во избежание выкрашивания режущей кромки он должен быть не менее  $40^\circ$  для стальных и  $50^\circ$  для твердосплавных зубьев фрез.

Фрезерный инструмент изготавливают из легированной или быстрорежущей инструментальной стали. Для повышения периода стойкости режущую часть лезвий оснащают твердыми сплавами: стеллитами, сормаитами, вольфрамокобальтовыми твердыми сплавами и даже синтетическими алмазами.

Вольфрамокобальтовым твердым сплавом называется материал, получаемый в результате спекания порошков карбида вольфрама и кобальта, смешанных между собой в определенной пропорции. Спекание производят под очень высоким давлением и температуре. Сложность производства твёрдого сплава состоит в обеспечении условий высокой температуры и давления, а также в том, что в процессе спекания объём порошка уменьшается на треть, а изделие должно быть спечено сразу в размер с высокой точностью. Технология производства твёрдого сплава считается одним из лучших мировых достижений современной науки и техники.

Таблица 13

Значения угла резания  $\delta$ , град

Обрабатываемый материал, направление резания	Величина угла резания зубьев фрез, град	
	стальных	твердосплавных
Древесина мягких пород, вдоль волокон	60...70	65...70
Древесина твердых пород, вдоль волокон	65...75	70...75
Древесина мягких пород, в торец	55...60	60
Древесина твердых пород, в торец	60...65	65
Древесина мягких пород, поперек волокон	50...55	60
Древесина твердых пород, поперек волокон	55...60	60

ДСтП, ДВП, МДФ	–	70...75
----------------	---	---------

В последнее десятилетие в деревообработке находят все большее применение неперетачиваемые ножи в виде пластин твердого сплава. Неперетачиваемые пластины для дереворежущих фрез толщиной 1,2...2 мм имеют от одной до четырех режущих кромок. Многокромочные пластины после затупления одной режущей кромки поворачивают и снова закрепляют в корпусе таким образом, чтобы в работе участвовала новая острая режущая кромка. Эту операцию можно повторять от 2 до 4 раз, по числу кромок. Конструкция и точность изготовления фрез с неперетачиваемыми пластинами таковы, что после поворота или замены пластины она точно садится в свое гнездо и не требует регулировки.

В настоящее время в деревообработке одинаково успешно используются фрезы как с однокромочными ножами, так и с многокромочными. Те и другие имеют свои достоинства и недостатки. О предпочтении того или другого типа фрез можно говорить с учетом конкретных условий работы на основании экономических расчетов.

Период стойкости фрез зависит не только от материала лезвий фрезы, но и от обрабатываемого материала, режима резания. Максимальная стойкость достигается при следующих комбинациях:

- древесина сухая мягкой породы – быстрорежущая сталь, стеллит;
- древесина сухая или сырая мягкой породы – высоколегированная сталь;
- древесина сухая твердой породы – твёрдый сплав;
- древесина сырая твердой породы – быстрорежущая сталь, стеллит.

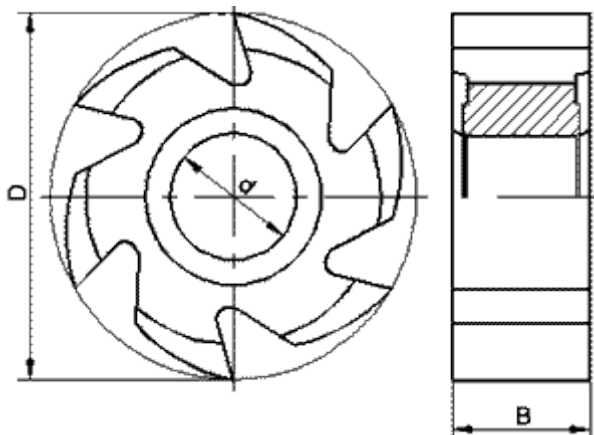
**Балансировка фрез.** Шпиндели фрезерных станков имеют частоту вращения 3000...24000 мин<sup>-1</sup>. Поэтому фрезы должны при подготовке к работе балансироваться. Различают два вида балансировки: статическую и динамическую. Статическая балансировка обеспечивает уравнивание сил, действующих на вращающуюся фрезу, и выполняется на оправке, расположенной на горизонтальных ножах. Динамическая балансировка осуществляется на специальных станках. При этом уравниваются не только силы, но и моменты, действующие на фрезу при вращении. Это особенно важно для длинных ножевых валов и ножевых головок.

Неотбалансированные фрезы создают вибрацию, которая разрушает оборудование. Особенно губительны они для станков, работающих со скоростью выше 6000 мин<sup>-1</sup> и имеющих высокоточные шпиндельные узлы.



## 9.2.2. Цельные фрезы

На рис 40 в качестве примера показана цельная насадная фреза с затылованными зубьями по ГОСТ 22749-95 для обработки плоских поверхностей, деревянных деталей на фрезерных и четырехсторонних продольно-фрезерных станках. Фреза выполнена из легированной инструментальной стали марки Х6ВФ.



Основными параметрами фрезы являются диаметр окружности резания  $D$ , диаметр посадочного отверстия  $d$  и ширина  $B$ . Обозначения и размеры фрез приведены в табл. 14.

Основными параметрами фрезы являются диаметр окружности резания  $D$ , диаметр посадочного отверстия  $d$  и ширина  $B$ . Обозначения и размеры фрез приведены в табл. 14.

Таблица 14

Рис. 40. Фреза цельная

Обозначение и размеры насадных фрез по ГОСТ 22749-95

Обозначение	$D$	$d$	$B$
3200-0003	160	40	35
3200-0004	160	40	45
3200-0005	160	40	55
3200-0006	160	40	70
3200-0007	180	60	35
3200-0008	180	60	45
3200-0009	180	60	50
3200-0010	180	60	70

## 9.2.3. Ножевая головка для плоского фрезерования

Ножевые головки с прямыми ножами предназначены для обработки прямолинейных поверхностей, например, при производстве мебельного щита или оконного бруса. Конструктивно ножевая головка состоит из корпуса 1 и закрепленных на нем ножей 3 (рис. 41). Ножи опираются на пружины 2 и прижаты к корпусу клиньями 4 с помощью винтов 5.

В прямых ножевых головках используются ножи толщиной 3 мм, шириной 32 мм. Ножи выступают над корпусом на 2 мм. Нож полностью защищен корпусом, и ему не нужна высокая прочность.

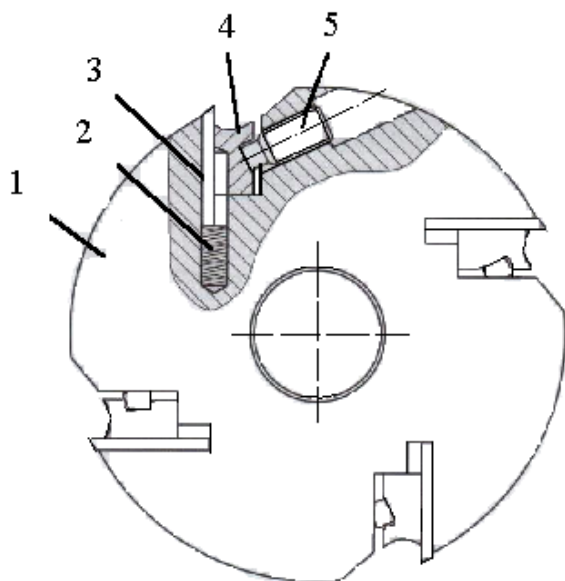


Рис. 41. Головка с ножами

Корпус сборной фрезы в настоящее время делают из прочного термообработанного легкого сплава. Такой корпус имеет массу примерно в три раза меньше, чем корпус из конструкционной стали тех же размеров. При меньшей массе фрезы пропорционально уменьшаются ее неуравновешенность и нагрузка на шпиндель станка. Это крайне важно для дереворежущего инструмента, работающего с частотой вращения 6000...9000 мин<sup>-1</sup>, особенно на современных обрабатывающих центрах.

Кроме того, фрезы меньшей массы значительно удобнее при подготовке к работе.

#### 9.2.4. Ножевые головки для профильного фрезерования

Ножевые головки с профильными ножами используются для обработки сложных поверхностей, при изготовлении наличников, плинтусов, профилированного конструкционного бруса и пр.

В профильных ножевых головках используются толстые и широкие ножи 2 из легированной или быстрорежущей стали, на тыльной стороне которых выполнены прецизионные (высокоточные) рифления 1 (рис. 42). Толщина такого ножа  $t = 8 \dots 10$  мм.

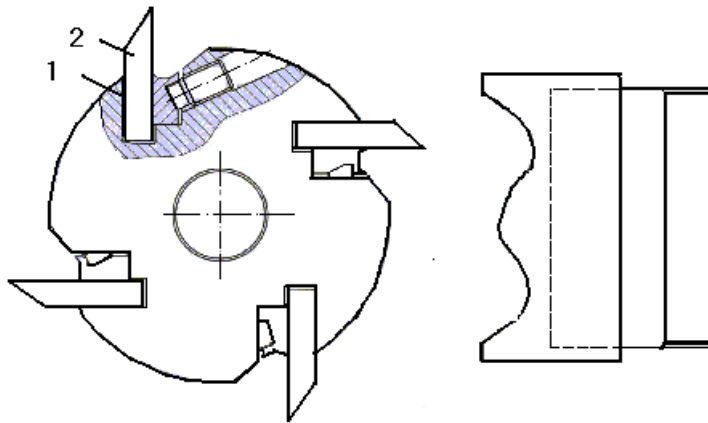


Рис. 42. Ножевая  
головка с  
профильными  
лезвиями

Нож выступает из корпуса головки на величину, равную глубине обрабатываемого профиля. При этом в процессе фрезерования древесины возникают большие силы резания и, если нож будет тонким, он может сломаться и вылететь из станка. Таким образом, толщина ножа определяется предъявляемой прочностью.

Профильные ножи по мере затупления необходимо перетачивать. Причём перетачивать ножи необходимо так, чтобы не нарушить балансировку ножевой головки, т. е. все ножи в ножевой головке должны иметь абсолютно одинаковую массу.

По мере стачивания нож необходимо выдвигать из ножевой головки. Для этого в корпусе головки выполнены прецизионные рифления ("гребёнка"), такие же, как у ножа, и нож находится в зацеплении с "гребёнкой". Для переточки все ножи выдвигаются из головки на один зубец "гребёнки", и ножевая головка сохраняет свою сбалансированность.

Ножи устанавливают в головку по шаблону. Для удобства базирования ножей в осевом направлении корпуса ножевые головки оснащены юстировочными винтами, расположенными с торца корпуса (рис. 43).



Рис. 43.  
Профильные фрезы

Ножевые головки с числом зубьев  $Z = 4$  выпускаются с диаметром корпуса  $D = 122$  мм и диаметром посадочного отверстия  $d = 40$  мм, а также с  $D = 137$  мм и  $d = 50$  мм. Длина головок 40...230 мм.

### 9.2.5. Фреза с поворотными пластинами

На рис. 44 показана фреза с многокромочными поворотными пластинами, применяемая для снятия свесов на линии облицовки мебельных щитов (рис. 45).

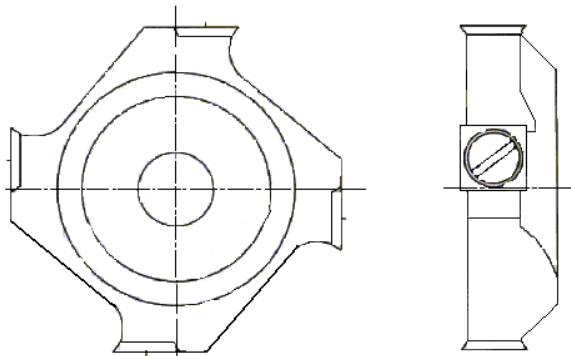


Рис. 44. Фреза  
с твердосплавными  
поворотными  
пластинами

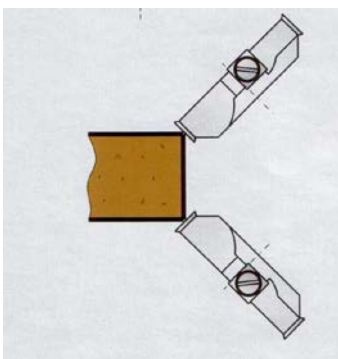


Рис. 45. Настройка  
фрез для снятия  
свесов

Сменные твердосплавные ножи применяются, главным образом, в том дереворежущем инструменте, переточка которого занимает слишком много времени. Заточка инструмента требует вложений в заточное оборудование, алмазные шлифовальные круги, и сам процесс заточки дереворежущего

твердосплавного инструмента может выполнить только специалист высокой квалификации. По этой причине в тех случаях, когда допустимо использование фрез со сменными твердосплавными пластинами, они находят самое широкое применение.

### 9.2.6. Ножевые головки спиральные

Спиральные ножевые головки (рис. 46) используются для предварительной обработки поверхности. Как правило, их устанавливают на первом шпинделе четырёхстороннего продольно-фрезерного станка.

В этих головках используется распределённая режущая кромка, т. е. лезвие инструмента выполнено в виде множества режущих пластинок, расположенных на корпусе по спирали в шахматном порядке.



Рис. 46. Спиральная ножевая головка

Такой инструмент обеспечивает плавную подачу заготовки в станок, поскольку силы резания, действующие на заготовку, равномерно распределены на множество ножей.

Головки выпускаются с диаметром окружности резания  $D = 125$  мм и с посадочным отверстием  $d = 40$  мм, а также с  $D = 140$  мм и  $d = 50$  мм. При  $D = 125$  мм длина фрезы равна 100, 120, 150, 170, 230 мм; при  $D = 140$  мм длина фрезы равна 100, 120, 150, 170, 180, 210, 230 мм.

### 9.2.7. Ножевые головки спиральные твердосплавные

Спиральные твердосплавные ножевые головки (рис. 47) предназначены для работы на четырехсторонних продольно-фрезерных станках на мебельных предприятиях.

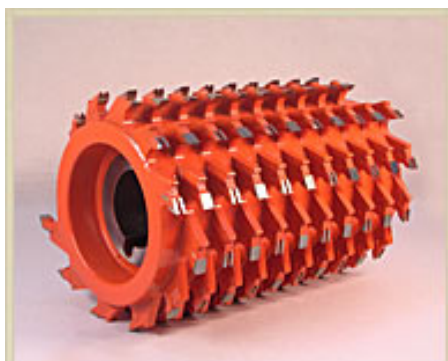


Рис. 47. Спиральная ножевая головка

Шахматное расположение режущих кромок этого инструмента позволяет срезать с обрабатываемой



заготовки припуски большой величины. Лезвия ножевой головки изготавливаются из высококачественных твёрдых сплавов, что позволяет значительно увеличить период стойкости инструмента.

## 9.2.8. Ножевые гидроголовки

Часто насадную фрезу крепят на валу станка с помощью втулок и гайки. При этом фрезу устанавливают на валу с посадкой  $H7/h6$ . Эта посадка образована полями допусков основного вала и основного отверстия. Поле допуска посадочного отверстия диаметром 32...50 мм с основным отклонением  $H$  по качеству 7 равно 25 мкм. Поле допуска вала того же диаметра с основным отклонением  $h6$  равно 16 мкм. Наибольший зазор в посадке равен сумме допусков вала и отверстия, т.е. 41 мкм.

При установке на вал станка фреза эксцентрично сместится относительно оси вала на 0,041 мм. Такое смещение фрезы вызовет ее дисбаланс и вибрации при работе. При использовании высокоточных шпинделей станков для крепления режущего инструмента применяют гидравлические зажимы, которые встраиваются в корпус инструмента. Наиболее часто для этих целей используют гидроголовки (рис. 48).

Гидроголовка предназначена для ее беззазорного гидравлического центровочного зажима на шпинделе станка.

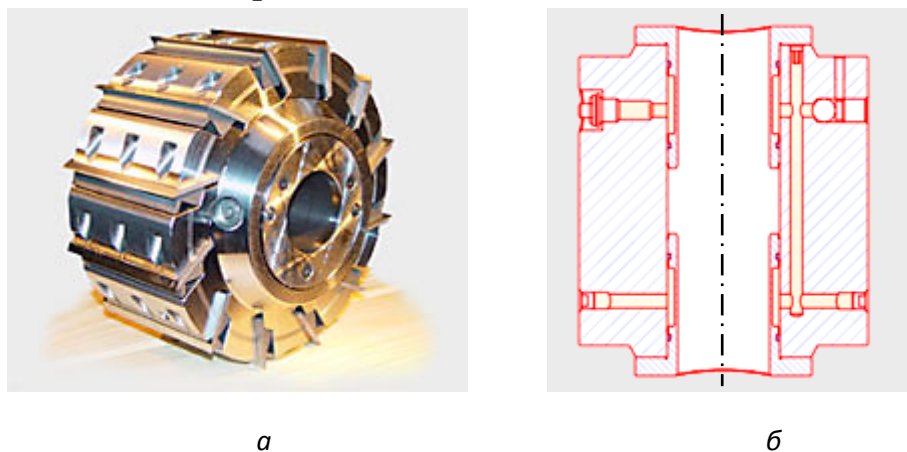


Рис. 48. Ножевая гидроголовка:

*a* – общий вид; *б* – схема гидрозажима

Гидроголовка – это ножевая головка, которая имеет камеру для закачки в неё специальной жидкости (жировой смазки). Гидроголовка устанавливается на шпиндель станка, после чего в неё

закачивается жидкость под давлением 30 МПа. При этом внутренняя полость гидроголовки расширяется, буксы охватывают шпиндель станка, и ось инструмента совмещается с осью шпинделя станка. Точность совмещения осей шпинделя и головки достигает 0,005 мм. Закачка жидкости в гидроинструменты возможна только тогда, когда они полностью собраны и установлены на шпиндель станка.

### 9.2.9. Фрезы для обработки минишипов

На рис. 49 показан примерный набор фрез для обработки минишипов. Составные фрезы могут набираться на оправке любой длины.

Веерные твердосплавные фрезы обеспечивают равномерную стабильную обработку с относительно небольшими силами резания. Это обусловлено тем, что фрезы набираются на оправку по спирали. В случае выхода из строя какого-либо элемента его можно заменить новым, т. е. этот инструмент можно ремонтировать. Каждая отдельная фреза имеет диаметр окружности резания  $D = 160$  мм, диаметр посадочного отверстия  $d = 50; 70$  мм, шаг  $t = 4$  мм, число зубьев  $Z = 4$ .



Рис. 49. Фрезы для обработки минишипов:

*a* – составная; *b* – веерная; *в* – цельная

Цельные фрезы представляют собой блоки, каждый из которых обрабатывает несколько минишипов. Блоки могут наби-

раться на оправку, количество их на оправке определяется высотой обрабатываемой заготовки. Цельные фрезы (отечественные и импортные) выпускаются с  $D = 125; 150; 160; 170; 180; 200; 250; 260$  мм, диаметром посадочного отверстия  $d = 40$  и  $50$  мм.

Фрезы выпускаются также сборными со вставными сменными ножами.

### 9.3. Крепление ножей в корпусе

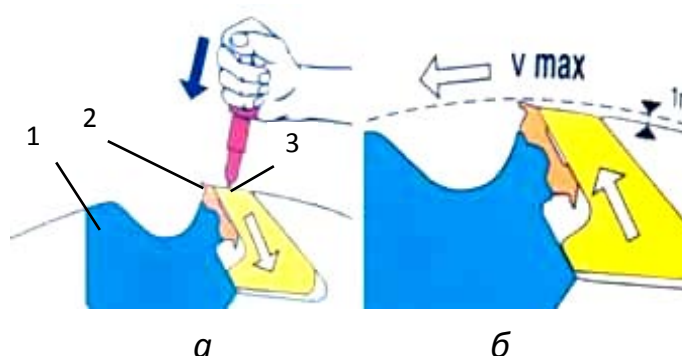


Рис. 50. Схема крепления ножей по системе TERSA:

Головка системы TERSA включает корпус 1 цилиндрической формы с пазами, в которые вставлены ножи 2, удерживаемые клиньями 3 (рис. 50). Нож имеет седлообразную поверхность, которая с высокой точностью геометрически замыкается с поверхностью корпуса. Нож вставляют с торца фрезы. Затраты времени на замену одного ножа составляют меньше минуты. В процессе работы клин 3 под действием центробежной силы смыкает седлообразные поверхности. Точность положения режущих кромок обеспечивается точностью изготовления фрезы.

Используемые на головке ножи одноразовые, непортативные, поворотные с двумя режущими кромками (рис. 51). Для смены ножа клин 3 утапливают, нож осво-



Рис 51. Ножевая головка

системы TERSA

#### 9.3.1. Ножевые головки системы TERSA

В последние годы на российском рынке появились ножевые головки для фрезерования древесины с принципиально новым способом крепления ножей.

бождается и его легко можно вытащить из паза в продольном направлении. Ножи изготавливаются длиной до 640 мм и могут быть использованы на фуговальных, рейсмусовых и четырехсторонних продольно-фрезерных станках.

### 9.3.2. Ножевые головки CentroStar и VariPlan

Известно, что качество обработанной поверхности зависит от точности выставки ножей. В идеальном случае режущие кромки ножей должны описывать в пространстве одну цилиндрическую поверхность. Стремясь к этому, в современных головках сменные ножи надевают на штифты, а затем зажимают планками и винтами. Однако посадочные поверхности отверстий и штифтов имеют гарантированные зазоры, которые вносят погрешности при выставке ножей.

В 1993 г. немецкая фирма Leitz разработала и запатентовала сборные фрезы Proficut, в которых нож просто вставляется в пазовое отверстие и фиксируется в заданном положении с помощью ножедержателя и винта. Последняя новинка Leitz – сборные ножевые головки CentroStar.

В отличие от традиционных конструкций, эти фрезы не требуют устройства выставки ножей, зажимных болтов; ножи занимают свое место в пазу корпуса, автоматически защелкиваясь в замок однократным нажимом ключа.

Ножевые головки CentroStar выпускаются с числом зубьев  $Z = 4$ , диаметром 125 и 140 мм, длиной 100...230 мм и диаметром посадочного отверстия 40 и 50 мм. Ножи головки одноразовые, поворотные, неперетачиваемые (рис. 52).

Ножевые головки VariPlan выпускаются с числом зубьев  $Z = 4$ , диаметром 125 и 140 мм, длиной 60...180 мм и диаметром посадочного отверстия 40 и 50 мм. Ножи головки можно затачивать (рис. 53) на плоскошлифовальном станке по передней поверхности. Для переточки эти ножи вынимаются из корпуса, устанавливаются на магнитную плиту и шлифуются по плоскости. За одну установку можно сразу переточить несколько комплектов ножей, что существенно снижает затраты на заточные работы. Кроме того, для переточки таких ножей не требуется высокая квалификация заточника.

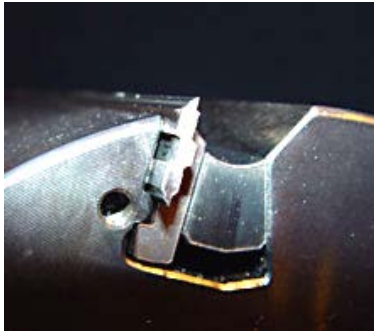


Рис. 52. Ножевые головки

CentroStar

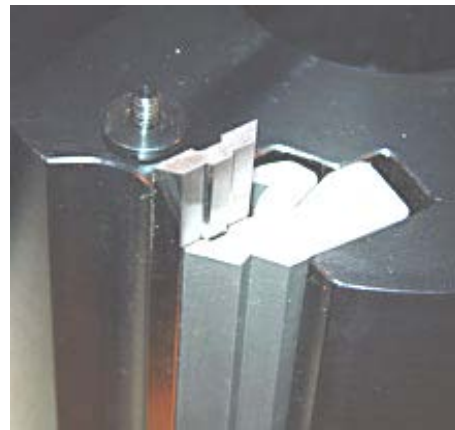


Рис. 53. Ножевая головка VariPlan

### 9.3.3. Крепление неперетачиваемых пластин

Многолез-  
ротные  
ются путем  
формам из  
бида  
бальта.  
сокую точ-  
120

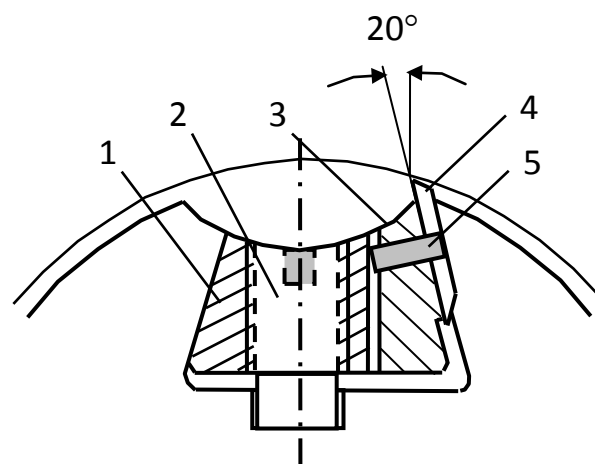


Рис. 54. Крепление ножа

вийные пово-  
ножи изготовля-  
прессования в  
порошков кар-  
вольфрама и ко-  
Они имеют вы-  
ность габарит-

ных и присоединительных размеров и поэтому с высокой точностью и быстро устанавливаются в корпусе ножевой головки. Схема крепления ножа показана на рис. 54.

Ножевая головка состоит из корпуса с посадочным отверстием и пазов, в каждом из которых расположен клин 1 с винтом 2, клин 3 со штифтами 5, на которые надет нож 4. При ввертывании торцовым ключом винта 2 его конец упирается в корпус и клин 1 поднимается и заклинивает клин 3 с ножом 4.

### 9.3.4. Выставка ножей

Выставка ножей над корпусом ножевой головки должна быть не более максимальной подачи на зуб, иначе заготовка будет задевать корпус. При большой величине выставки ножей кончики лезвий начинают вибрировать и шероховатость обработанной поверхности ухудшается.

Обычно выставку ножей назначают так:

– при ручной подаче величина выставки равна 0,8 мм для работы с подачей на зуб  $S_z = 0,3 \dots 0,8$  мм;

– при механической подаче и хорошем качестве поверхности – 2,5 мм для работы с подачей на зуб  $S_z = 0,8 - 2,5$  мм;

– при механической подаче и грубом качестве обработанной поверхности – 5 мм для работы с подачей на зуб  $S_z = 2,5 \dots 5$  мм.

Для ограничения подачи на зуб при ручной подаче ножевые головки снабжаются дефлекторами (контрножами), расположенными перед рабочими ножами и отступающими по радиусу от окружности резания на величину подачи на зуб.

## **Контрольные вопросы и задания**

1. Для чего балансируют фрезы?
2. Изобразите конструкцию ножевой головки.
3. Изобразите фрезу с поворотными пластинами.
4. Как конструктивно выполнена спиральная ножевая головка?
5. Как конструктивно выполнена ножевая гидроголовка?
6. Изобразите схемы современных способов крепления ножей в ножевых головках.

## **9.4. Концевые фрезы**

### **9.4.1. Общие замечания**

На деревообрабатывающих предприятиях в настоящее время идет вытеснение устаревших станков новыми видами оборудования, к которым в первую очередь относятся станки с числовым программным управлением, различные обрабатывающие центры. Технология деревообработки переходит на принципиально новый технологический уровень, на котором требуется полное соответствие режущего инструмента возможностям станка. Возможностям новых станков наилучшим образом соответствуют концевые фрезы, а именно

- пазовые фрезы;
- фрезы для форматной обработки;
- фрезы для обработки кромок;
- профильные фрезы;
- фрезы для объёмной обработки изделий;
- фрезы для обработки глубоких пазов;
  - специальные фрезы.

Фрезы делают из быстрорежущей инструментальной стали, с напаянными твердосплавными пластинами, с механически закрепленными поворотными пластинами, с алмазными зубьями. Некоторые из типов концевых фрез описаны ниже.

#### **9.4.2. Фрезы концевые алмазные с прямолинейными режущими кромками**

Алмаз является уникальным материалом с точки зрения своих физико-химических свойств. Алмаз – самый твердый материал на земле. Алмазным называют инструмент, лезвия которого выполнены из алмаза. Такой инструмент обладает стойкостью, в сотни и даже тысячи раз превышающей стойкость стальных или металлокерамических режущих инструментов.



Кроме того, алмазы обладают низким коэффициентом трения и высокой теплопроводностью. Резание древесных материалов таким инструментом характеризуется низкими силами резания и благоприятным температурным режимом в зоне резания.

Общий вид концевых фрез с прямолинейными режущими кромками показан на рис. 55. Фреза предназначена для обработки кромок твердых плитных материалов, пластиков, клееных материалов.

Фрезы выпускаются с рабочим диаметром  $D = 8; 10; 12; 14$  мм и могут работать при ширине фрезерования соответственно  $B = 12; 22; 22; 22$  мм. Диаметр хвостовика фрезы  $d = 12$  мм, общая длина  $l = 60; 70; 75; 75$  мм.

Применение алмазного инструмента на производстве позволяет значительно снизить затраты на инструмент и повысить производительность за счёт снижения простоев оборудования на обслуживание инструмента.

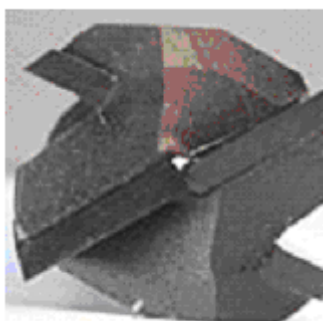
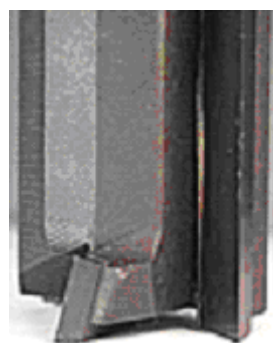


Рис. 55. Фрезы концевые алмазные с прямолинейными режущими кромками

### 9.4.3. Фрезы со сменными твердосплавными пластинами

Металлокерамические твердые сплавы в отличие от алмаза обладают плохой теплопроводностью. По этой причине у твердосплавных инструментов при обработке твердых материалов, например МДФ, происходит выгорание режущей кромки.

На рис. 56 показана концевая фреза для форматной обработки деталей со сменными твердосплавными ножами. В качестве режущего лезвия в данной фрезе используются одноразовые твердосплавные ножи.

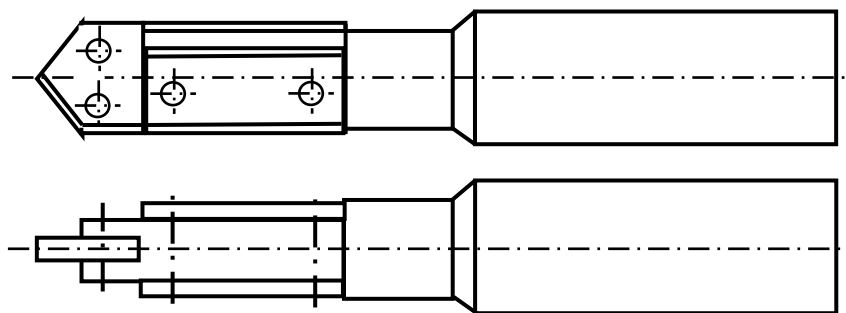


Рис. 56. Фреза концевая со сменными твердосплавными ножами

Эти ножи имеют несколько режущих кромок. По мере затупления их нож поворачивается. После затупления всех режущих кромок нож меняется.

Технические характеристики фрез приведены в табл. 15.

Таблица 15

Технические характеристики фрез со сменными твердосплавными ножами

Диаметр рабочей части, мм	Габаритная длина, мм	Длина рабочей части, мм	Размеры хвостовой части (диаметр×длина), мм	Направление вращения
18	115	50	16 x 60	левое

18	115	50	16 x 60	правое
18	115	50	20 x 50	правое
18	125	50	26 x 60	левое
18	125	50	26 x 60	правое
20	133	58	26 x 60	правое

На рис. 57 показаны фрезы для обработки криволинейных кромок деталей. Основное преимущество этих концевых фрез состоит в том, что их не нужно перетачивать. Фрезы оснащаются стандартными твёрдосплавными ножами, которые после затупления меняются. Ножи для этих фрез представляют собой четырёхгранную пластинку, которая переворачивается по мере затупления режущей части.

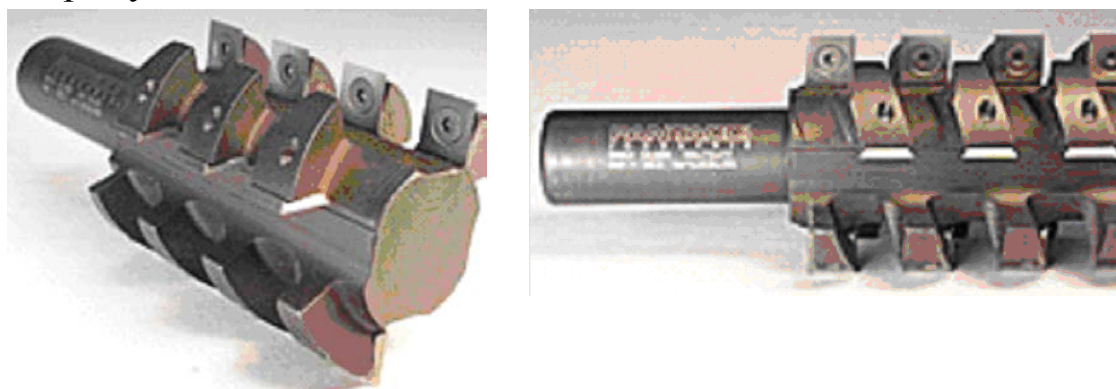
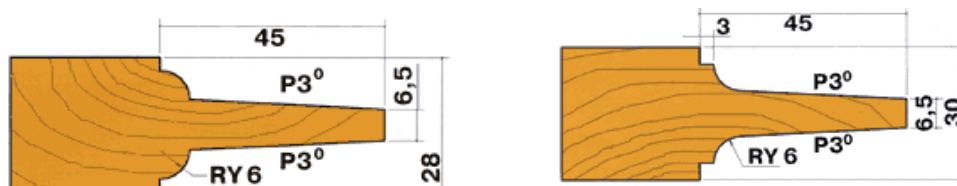


Рис. 57. Фрезы концевые со сменными ножами для обработки криволинейных поверхностей

#### 9.4.4. Фрезы торцовые

Фрезы применяются для обработки профильных поверхностей, например, филенок (рис. 58) и др.



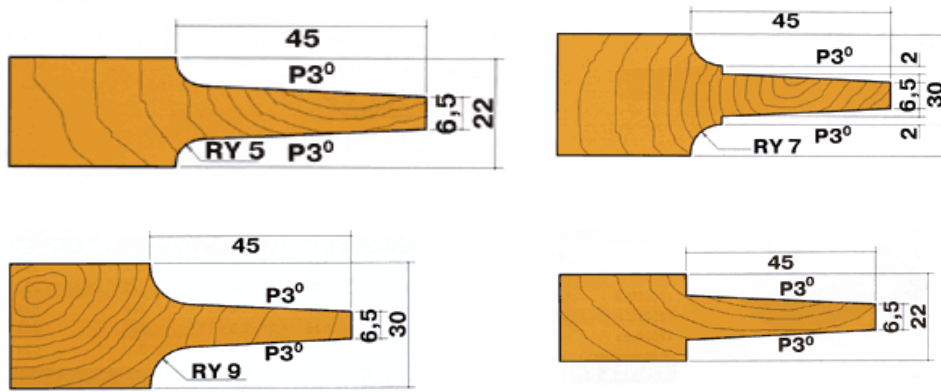


Рис. 58. Примеры профилей филенок

Для обработки криволинейных профилей на корпусе торцевой фрезы на штифтах с помощью прижимных планок и винтов закрепляют поворотные многокромочные твердосплавные пластины (рис. 59, 60). Пластины должны точно повторять профиль обрабатываемой детали.

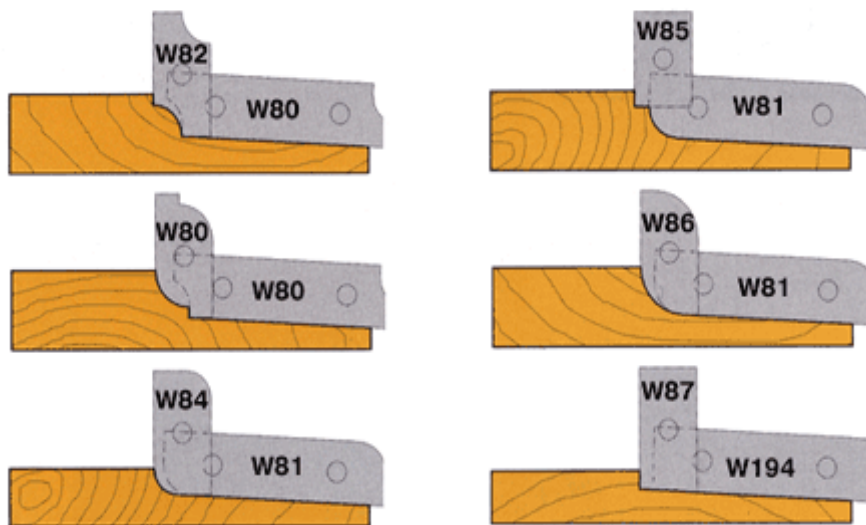


Рис. 59. Схемы крепления поворотных режущих пластин

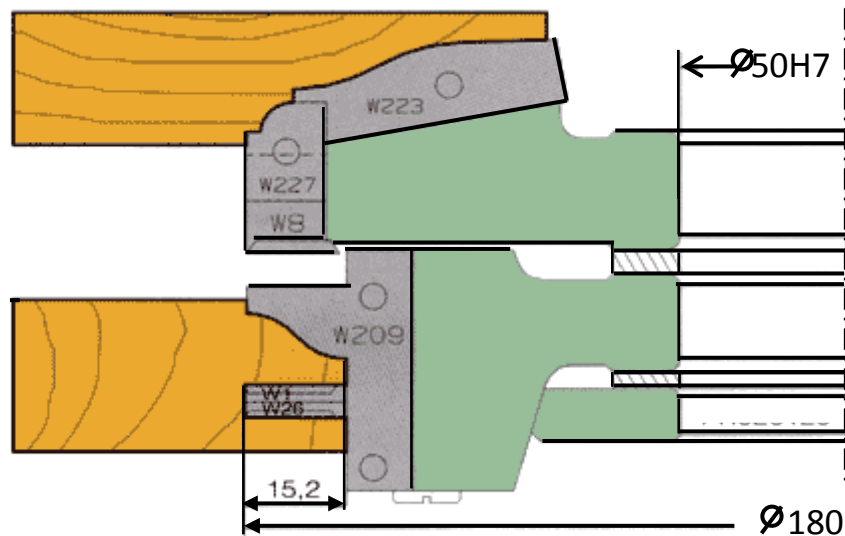


Рис. 60. Фреза торцовая

## Г лава 10

### Станки деревообрабатывающего цеха

#### 10.1. Организация рабочего места

**Рабочее место.** При расстановке станков в деревообрабатывающем цехе пользуются определенными правилами. Для вычерчивания плана цеха с оборудованием используют общепринятые изображения станков, приспособлений, подступных мест, рабочих. Для каждого станка или рабочего места отводится соответствующая площадь, в которую включается площадь, занимаемая станком, место для рабочего, подступные места для заготовок и обработанных деталей, место для отходов, инструмента, приспособлений, пусковых устройств, транспортных средств, относящихся к данному рабочему месту.

**Рабочим местом** называется участок производственной площади, закрепленный за данным рабочим или бригадой, оснащенный оборудованием, вспомогательными устройствами, материалами, необходимыми для выполнения данной операции.

Обычно на плане цеха место рабочего перед станком определяется площадкой размером 750×1200 мм. Кругом, наполовину затемненным (светлой частью к станку), обозначается место станочника, светлым кругом – подсобного рабочего.

Размер подступного места определяется размером пакета, перевозимого применяемым транспортным средством. Подступное место для необработанных заготовок на плане

обозначается прямоугольником с одной диагональю, для обработанных деталей – прямоугольником с двумя диагоналями. Часто, если позволяют условия, необработанный материал укладывается справа от рабочего, а обработанный – слева.

**Правила размещения оборудования.** При расстановке в цехе деревообрабатывающих станков и прилегающих к ним рабочих мест следует соблюдать следующие правила.

1. Расстояние между двумя соседними станками поточной линии должно быть не менее трехкратной длины наиболее крупных из обрабатываемых на них заготовок.
2. В цехе должны быть центральные проходы или проезды вдоль всего цеха шириной не менее 2 м при одностороннем движении и не менее 3 м при двухстороннем движении.
3. Станки и рабочие места следует размещать в световой зоне цеха. Затемненные места следует отводить под склады.
4. Станок и рабочее место должны быть расположены так, чтобы из центрального проезда можно было свободно подвозить и отвозить материалы.
5. В больших цехах через каждые 50 м длины следует размещать поперечные проезды.
6. Расстояния между станками и элементами зданий (рис. 61), а также между отдельными станками и подступными местами (рис. 62 и рис. 63) должны соответствовать нормативным размерам, указанным на рисунках. Расстояние между торцовыми сторонами подступных мест при транспортировании деталей безрельсовыми тележками и длине деталей до 2 м принимается 1500 мм, а при одностороннем движении тележек с подъемной платформой – 2000 мм.

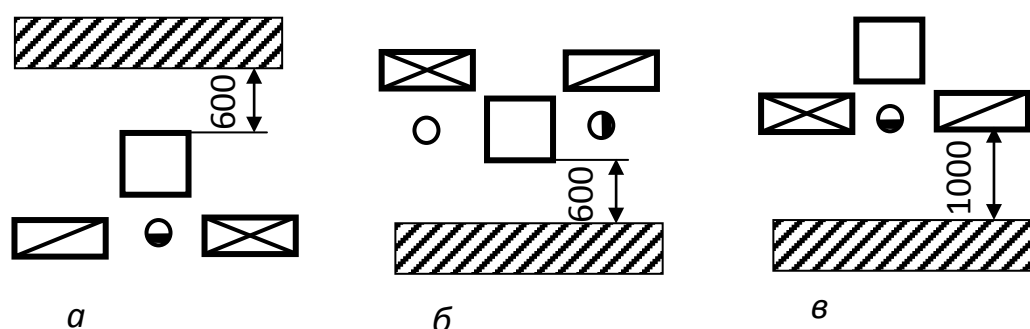


Рис. 61. Расстояния между станками и элементами зданий:

*а* – от тыльной стороны станка до стены;

*б* – от боковой стороны станка до стены;

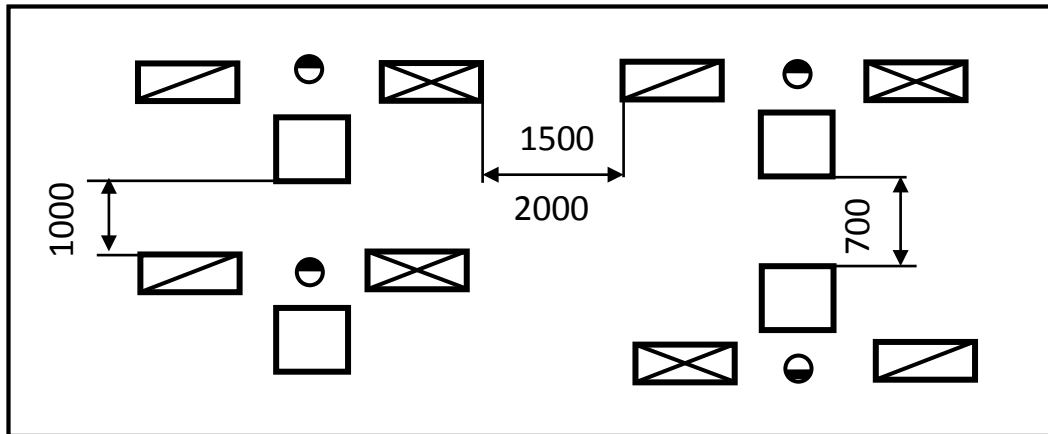


Рис. 62. Расстояния между станками и подступными местами

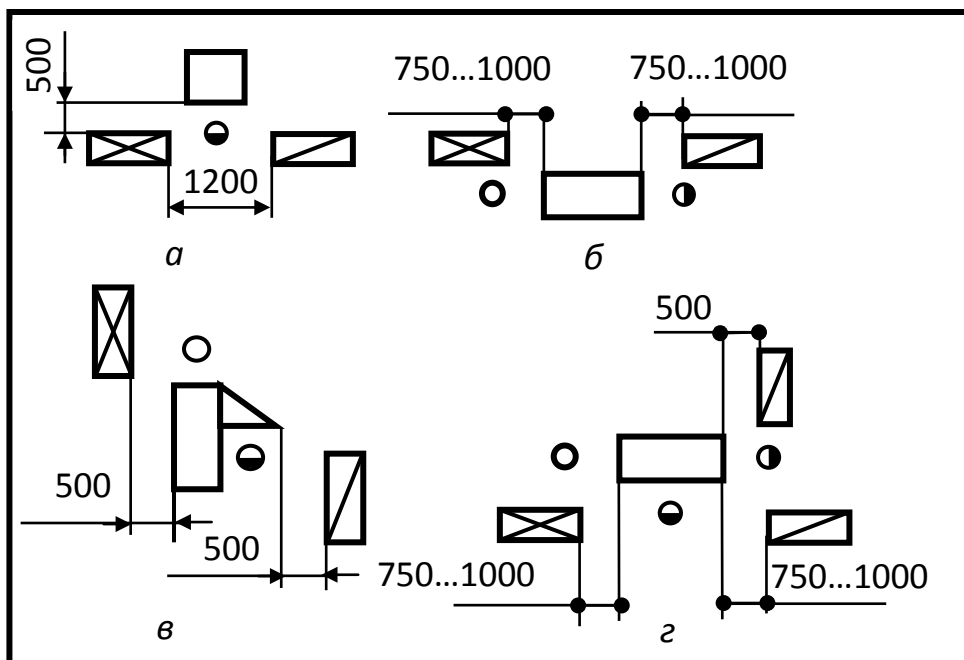


Рис. 63. Расстояния между станками и подступными местами:

*а* – для станков позиционных; *б* – для станков продольно-проходных; *в* – для станков с поперечной подачей заготовок;

*г* – для станков с поперечной подачей заготовок

## 10.2. Станки фуговальные

### 10.2.1. Станки фуговальные односторонние

Фугованием называют процесс фрезерования на станке, при котором обрабатывается та поверхность заготовки, которая базируется.

Фуговальные станки (рис. 64) предназначены для формирования методом фрезерования геометрически плоской обработанной поверхности на покоробленных брусках, досках, щитах. Получаемая плоская поверхность служит технологической базой при последующей обработке заготовки. Таким образом, фуговальные станки предназначены для формирования базовых поверхностей заготовок.

Наиболее часто фуговальные станки выполняются со скользящим базированием и подачами вальцовой (обозначается СФА), конвейерной (СФК) и ручной (СФ). Станки выпускаются для обработки заготовок с максимальной шириной 250; 400 и 630 мм. Указанная ширина заготовок в модели станка обозначается соответственно цифрами 3; 4 и 6. В настоящее время применяются фуговальные станки следующих моделей:

– с ручной подачей: СФ4, СФ6-2, СФ4-2, СФ4-4, СФ6, СФ6-1, СФ2-5-1, СФ-3, СФ3-2, СФ4-1, СФ4-2М, СФ4-3, СФ4-1С;

– с автоматической подачей: СФА-4, СФА-4-Г, СФК-6, СФА-3, С2Ф3-3, С2Ф4, СФА4-2, СФК6-1;

– станок фуговально-калевочный, тип "Unimat-22", "Unimat-17", 120/IV, G-620 "Губиш", 14/IV.

Станок, например, модели СФ4-2М включает жесткую сварную станину 7 (рис. 64), которая обеспечивает низкий уровень вибрации станка. На станине на эксцентриковых опорах смонтированы задний 1 и передний 5 столы станка литой конструкции. Передний стол в процессе работы перенастраивается по высоте на глубину фрезерования рукояткой 6. Ножевой вал стан-



ка закрыт деревянным ограждением 3. Четырехножевой вал имеет литой подшипниковый узел. Направляющая линейка 2 может перемещаться поперёк стола в зависимости от ширины обрабаты-



Рис. 64. Станок фуговальный модели СФ4-2М

ваемого материала и может быть установлена на нужный угол в вертикальной плоскости до  $45^\circ$ .

Станок модели СФ4-2М имеет общую длину столов 3010 мм. Возможность подъема - опускания столов станка и надежная их фиксация позволяют снимать нужный слой материала качественно и равномерно по всей длине заготовки.

### 10.2.2. Станки фуговальные двухсторонние

На деревообрабатывающих предприятиях находят применение двухсторонние фуговальные станки с механической подачей С2Ф3, С2Ф3-2 С2Ф3-3 и С2Ф4-1. Такие станки позволяют формировать у заготовок две технологические базы: главную технологическую базу по пласти заготовки и вспомогательную – по боковой кромке под углом  $90^\circ$ . Для этого фуговальный станок снабжен вертикальным шпинделем с фрезерной головкой, а боковая направляющая линейка выполнена из двух частей: передней линейки, установленной перед шпинделем, и задней линейки, плоскость которой касательна к окружности вращения лезвий фрезерной головки. Таким образом, вертикальный шпindel станка работает по принципу фугования и формирует на заготовке боковую базовую поверхность.

Кроме того, выпускаются фуговально-рейсмусовые двухсторонние станки моделей ФР6-1, ССФ6-1, С2ФР6. Эти станки позволяют обрабатывать нижнюю и верхнюю пласти заготовок за один проход. Станок модели С2ФР6 Тюменского станкозавода (рис. 65) имеет пе-

редний базирующий стол длиной 1500 мм, что позволяет обрабатывать покоробленные заготовки и получать детали с высокой плоскостностью пластей. Механизм подачи станка двухскоростной, скорость подачи равна 37 и 56,8 м/мин. Станина станка чугунная. Станок имеет электрошкаф, оснащен блокировками защитных устройств и механизма подачи. В станке применено электродинамическое торможение обоих валов.



Рис. 65. Фуговально-рейсмусовый двухсторонний  
станок С2ФР6

Иногда, например в станке моделей FSA-530, D300ФР, D400ФР и др., под фуговальным столом смонтирован рейсмусовый стол с подающими вальцами. Для рейсмусования заготовок фуговальный стол поворачивают на бок в вертикальную плоскость, ножевой вал закрывают ограждением, и станок готов для рейсмусования.

Технические характеристики некоторых моделей станков приведены в табл. 16.

Таблица 16

## Технические характеристики фуговальных станков

	СФ4-1А	СФ6-1А	СФА6-В	СФК4	СФ4-2	СФ4-2М	С2ФР6	D400ФР
Размеры обрабатываемого материала, мм:								
ширина наибольшая .....	400	630	630	400	400	400	600	400
длина наименьшая .....	400	400	400	400	400	400		400
Общая длина столов, мм .....	2064	2564	2600	2500	2300	3010	2700	2080/ 5500
Диаметр корпуса ножевого вала, мм	115	115	115	125	115	115	115	70
Количество ножей ножевого вала	2; 4	2; 4	3	2; 4	4	4	2	3
Частота вращения вала, мин <sup>-1</sup> .....	4500	4500	5500	5100	5000	5000	5100/ 4500	6000
Количество электродвигателей ...	1	1	1	2	1	1	3	1
Мощность электродвигателей, кВт	3	5,5	7,5	3,6	4	4	19,5	2,2
Габариты (длина × ширина × высота), мм	2064×	2564×	2600×	2556×	2300×	3010×	2700×	2080×

	1020×	1230×	1000×	930×	1080×	1080×	1360×	900×
	1200	1200	1030	1200	1150	1150	1230	750
Масса, кг .....	705	1002	995	915	700	750	1800	460

### 10.2.3. Кинематическая схема станка

На рис. 66 в качестве примера приведена кинематическая схема фуговального станка модели СФА4. Кинематическая схема показывает способ передачи движений от электродвигателей к исполнительным элементам станка: ножевому валу 24 и подающим валикам 23. Механизм подачи станка снабжен коробкой скоростей, которая обеспечивает установку четырех ступеней скорости подачи. Движение механизма главного движения происходит по схеме I-II, движение осуществляет одна кинематическая пара, ременная передача. Движение от электродвигателя к подающим валикам обеспечивается по схеме III-IV-V-VI-VII, в передаче движения участвуют четыре кинематических пары: червячный редуктор, цилиндрические зубчатые колеса и цепные передачи.

### 10.2.4. Рабочее место при фуговальном станке

Рабочее место при фуговальном станке организовано по-разному в зависимости от типа станка и вида подачи (табл. 17, рис. 67).

Таблица 17

Размеры фуговальных станков

Тип станка	Марка станка	Длина, мм	Ширина, мм
Станки с ручной подачей	СФ4-1А	2060	1040
	СФ4-2	2300	1080
	СФ4-2М	3010	1080
	СФ6-1А	2564	1230
Станки с механической подачей	СФА3-1	2562	735
	СФА4-1	2565	1000
	СФК4	2556	930
	СФА6-В	2600	1000
Станки двух-	С2Ф3-2	2665	780

сторонние	C2Ф4	2065	950
	C2Ф4-1	2665	885
Станки фуговально-рейсмусовые	C2ФР6	2700	1360
	D300ФР	1500	900
	D400ФР	2080	900

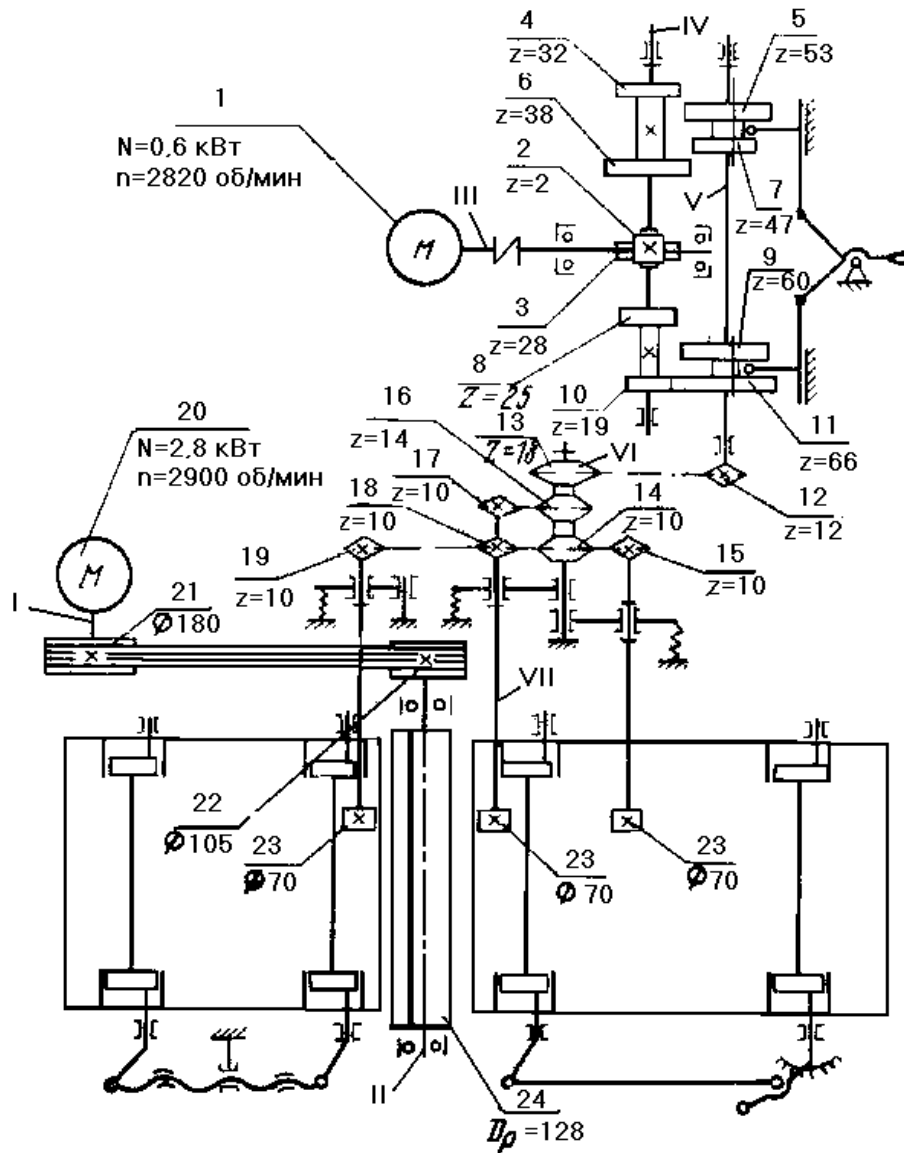


Рис 66. Кинематическая схема фуговального станка СФА4

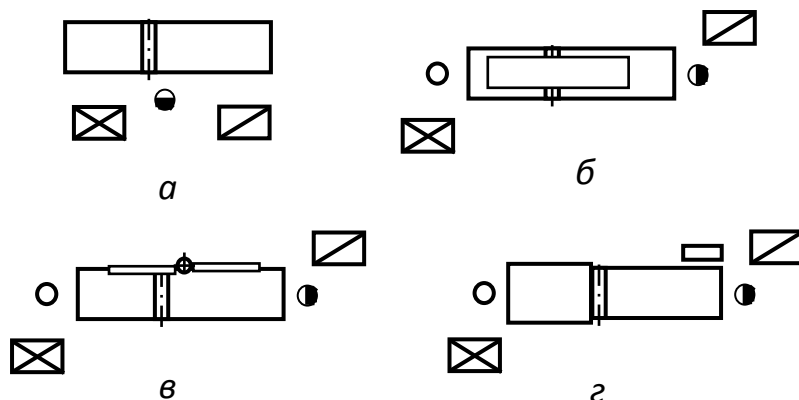


Рис. 67. Рабочее место станка:

*а* – с ручной подачей; *б* – с механической подачей;

## Контрольные вопросы и задания

1. Какой процесс называют фугованием поверхности?
2. Напишите модели фуговальных станков.
3. Перечислите основные функциональные элементы фуговальных станков.
4. Изобразите рабочее место фуговального станка.

## 10.3. Станки рейсмусовые

### 10.3.1. Общие сведения

Рейсмусованием называют процесс фрезерования на станке, при котором обрабатывается поверхность заготовки, противоположная базируемой.

Рейсмусовые станки предназначены для обработки методом цилиндрического фрезерования брусковых и щитовых заготовок в размер по толщине. У заготовок предварительно должна быть создана методом фугования главная технологическая база. При рейсмусовании заготовка своей технологической базой опирается на установочную базу стола станка. Ножевой вал размещается над столом. При перемещении заготовки по столу вращающийся ножевой вал фрезерует верхнюю поверхность, формируя плоскую поверхность, параллельную базовой.

В стране нашли применение рейсмусовые станки моделей СР3-7, СР4-2, СР4-20, СР4-4(К), СР6-10, СР6-32, СР6-32М, СР8-2, СР12-3 и др. Технические характеристики некоторых станков приведены в табл. 18.

На рис. 68 приведена типовая технологическая схема рейсмусового станка. На станине 1 станка установлен стол 3 с подающими вальцами 2, а также когтевая завеса 11, подпружиненные подающие вальцы рифленый 10 и гладкий 4 и ножевой вал 7. Валец 10 выполнен секционным, состоящим из нескольких подпружиненных колец на общем вале.

Стол 3 при настройке на заданную толщину обрабатываемой детали может подниматься или опускаться с помощью винтов. Привод винтов может быть ручным и механическим.

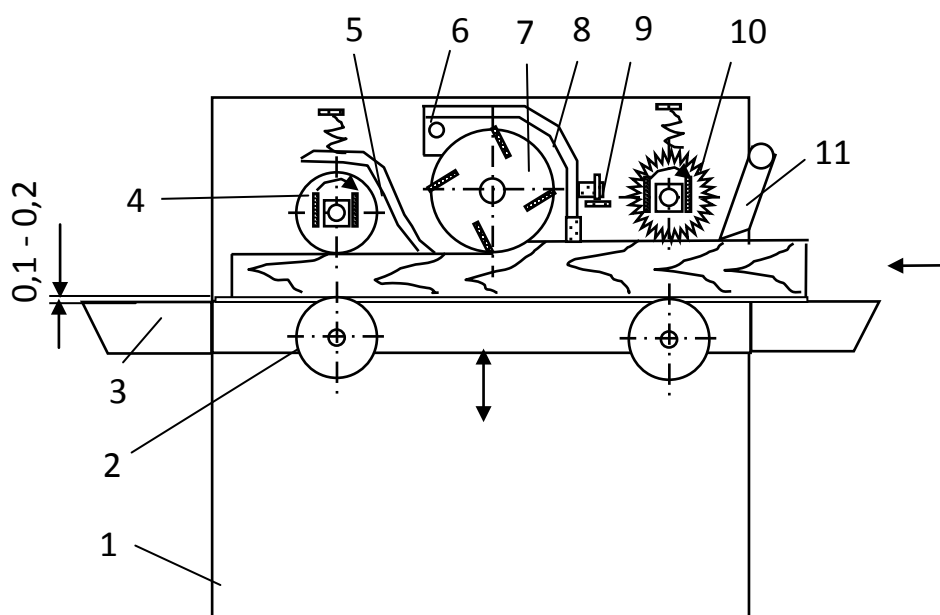


Рис. 68. Схема рейсмусового станка

Впереди и позади ножевого вала 7 расположены прижимные элементы. Передний прижимной элемент 8 выполнен в виде тяжелого чугунного колпака, шарнирно закрепленного на оси 6 и опирающегося регулировочными винтами 9 на упоры. Губка колпака опирается на обрабатываемую поверхность заготовки и выполнена секционной в виде ряда подпружиненных зубьев. Ширина зубьев равна 20 ... 50 мм. Давление каждого зуба на древесину составляет 20 ... 50 Н.

Передний прижимной элемент выполняет следующие функции:

- предотвращает образование длинных опережающих трещин в заготовке при фрезеровании;
- исключает подбрасывание заготовки при ее обработке;
- направляет стружку в сторону ее удаления;



– служит защитным ограждением ножевого вала.

Задний прижимной элемент 5 обеспечивает прижим заготовки к столу и предотвращает попадание стружки на гладкий валец 4. Валец дополнительно закрыт сверху щитком. Если стружка попадет на валец и будет подмята им, то обработанная поверхность будет испорчена.

Таблица 16

## Технические характеристики рейсмусовых станков

Параметры	CP8-2	CP6-32	CP6-32M	CP8-20M	CP6-10	CP4-20	CP-4(K)	CP-20M1
Размеры обрабатываемой заготовки, мм:								
- ширина	800	600	600	800	630	400	400	40-180
- толщина	5-250	10-180	10-180	10-180	8-250	10-180	5:200	10-180
- длина не менее	450	360	360	360	450	360	300	360
Наибольшая толщина снимаемого слоя, мм	8	4	4	4	8	3,5	4,5	4
Количество ножей, шт.	3	4	4	4	3	4	4	103
Диаметр ножевого вала, мм	128	103	103	103	128	100	100	4
Скорость подачи, м/мин	8, 16	8	8, 12	4, 8	8, 16	7, 8	12	2,4-12
Частота вращения вала, об/мин	4570	6000	6000	6000	4570	5000	4775	6000
Суммарная мощность электродвигателей, кВт	13,1	5,5	5,87	7,87	9,62	4,55	7,5	9,4
Габариты, мм	1140×	1100×	1100×	1295×	1100×	820×	800×	1295×

	1485×	800×	800×	800×	1368×	800×	900×	800×
	1900	1220	1220	1218	1306	1210	1180	1218
Масса станка, кг	1600	500	530	800	1400	320	800	800



При работе в станок можно подавать одновременно несколько заготовок, разнотолщинность которых может колебаться в пределах 1 ... 5 мм. Секционное выполнение переднего верхнего вальца 10 и губки колпака 8 обеспечивает возможность обработки таких заготовок.

Ножевой вал станка может вращаться с частотой

3500 ... 6000 мин<sup>-1</sup>. Скорость подачи на станках 5 ... 30 м/мин.

### 10.3.2. Кинематическая схема рейсмусового станка

На кинематических схемах показаны кинематические цепи механизмов главного движения, подачи и перемещения тола станка модели СР6-9 (рис. 69) и станка модели СР3-6 (рис. 70).

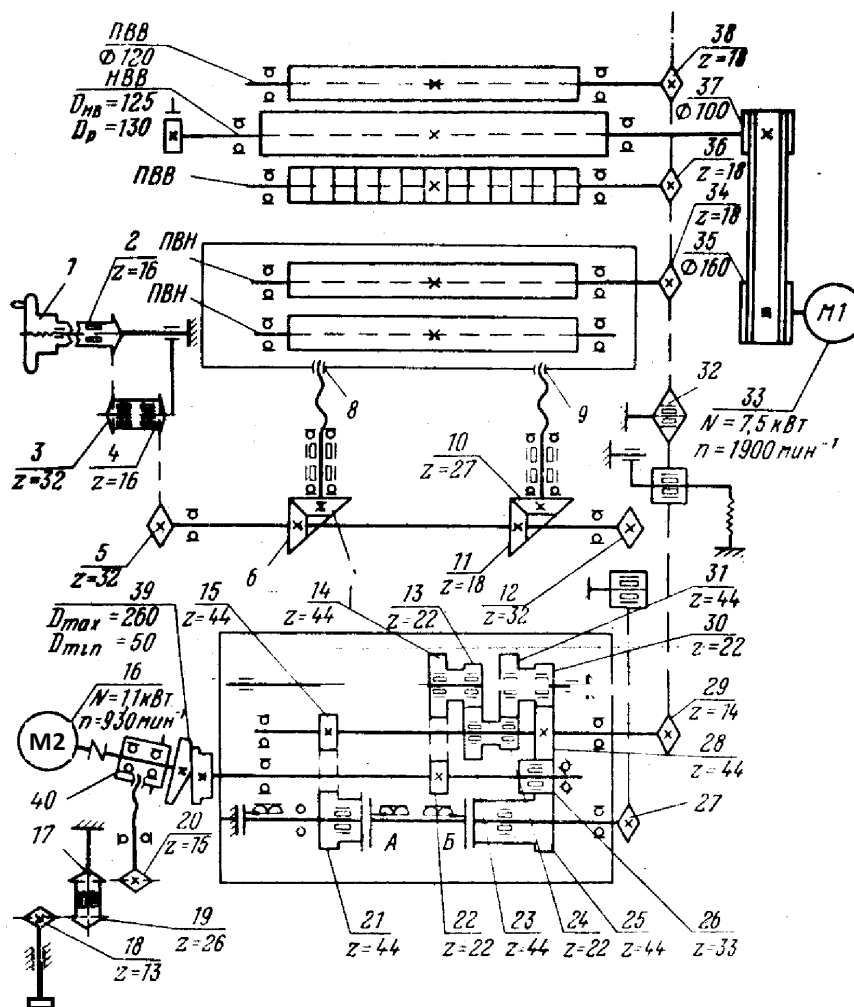


Рис. 69. Кинематическая схема рейсмусового

станка модели СР6-9

Ножевой вал с колодочным тормозом соединен с электродвигателем М1 ременной передачей (рис. 69). Механизм подачи включает два нижних подающих вальца ПВН и два верхних подающих вальца ПВВ, которые соединены цепной передачей через коробку скоростей и конический вариатор с электродвигателем М2.

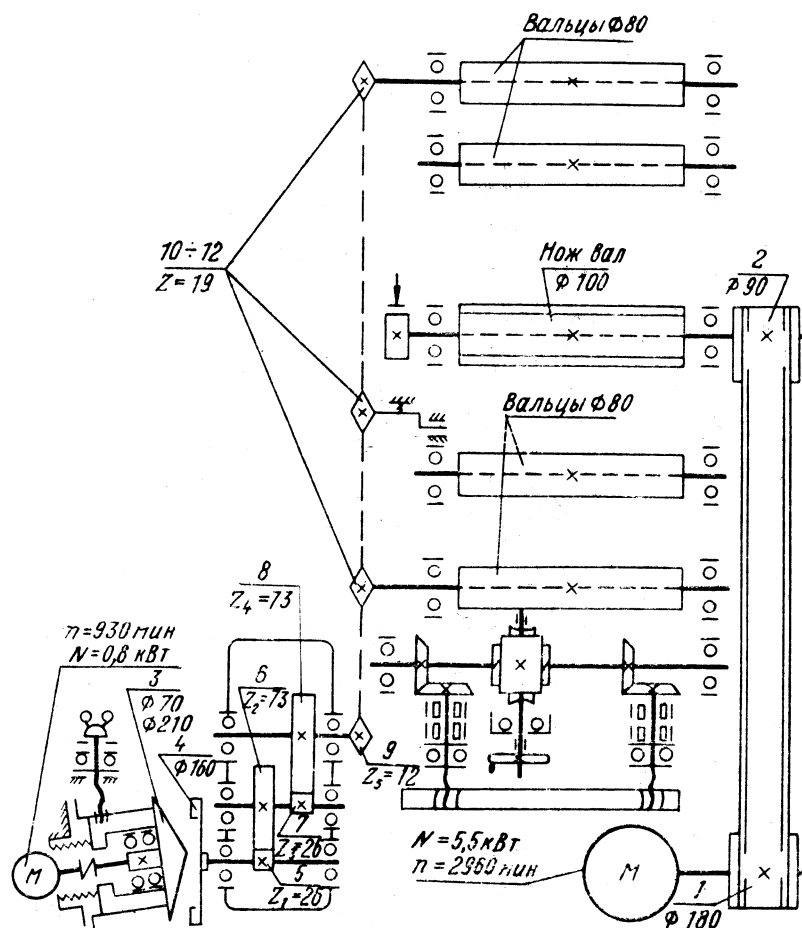


Рис. 70. Кинематическая схема рейсмусового станка

### модели СР6-3

Стол станка перемещается по высоте с помощью рукоятки 1, которая соединена с подъемными винтами цепной передачей и коническими шестернями.

В станке СР3-6 (см. рис. 67) для облегчения подъема стола применен червячный редуктор.

### 10.3.3. Организация рабочего места при рейсмусовом станке

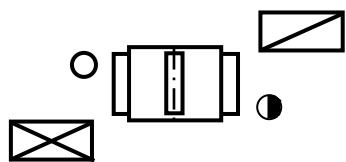


Рис. 71. Рабочее место

Схема организации рабочего места показана на рис. 71. Размеры рабочего места уточняются с учетом габаритов подступных мест и рейсмусового станка. Габариты в плане некоторых рейсмусовых станков приведены в табл.19.

Таблица 19

Габариты рейсмусовых станков

Параметр	CP4-20	CP-4(К)	CP6-10	CP6-32	CP6-32М	CP8-2
Длина, мм	820	800	1100	1100	1100	1295
Ширина, мм	800	900	1368	800	800	800

## 10.4. Станки четырехсторонние продольно-фрезерные

### 10.4.1. Общие сведения

Четырехсторонние продольно-фрезерные станки предназначены для профильной и плоскостной обработки пиломатериала с четырех сторон за один проход с целью получения изделий в виде вагонки, наличников, плинтуса, доски пола, строганного бруса и других фасонных погонажных изделий из обрезной доски или бруса. Изделия получают высокого качества с точными геометрическими размерами и профилем сложной формы.

На деревообрабатывающих предприятиях применяются различные четырехсторонние станки российского производства и иностранных фирм.

Станок включает два горизонтальных и два вертикальных шпиндельных узла. Шпиндель изготовлен с повышенной жесткостью с применением специальных высокоскоростных подшипников. Такой шпиндель исключает радиальное биение и позволяет работать с частотой вращения фрезы 6000 мин<sup>-1</sup>. Механизм подачи станков – вальцового типа. Технологические схемы некоторых станков показаны на рис. 72.

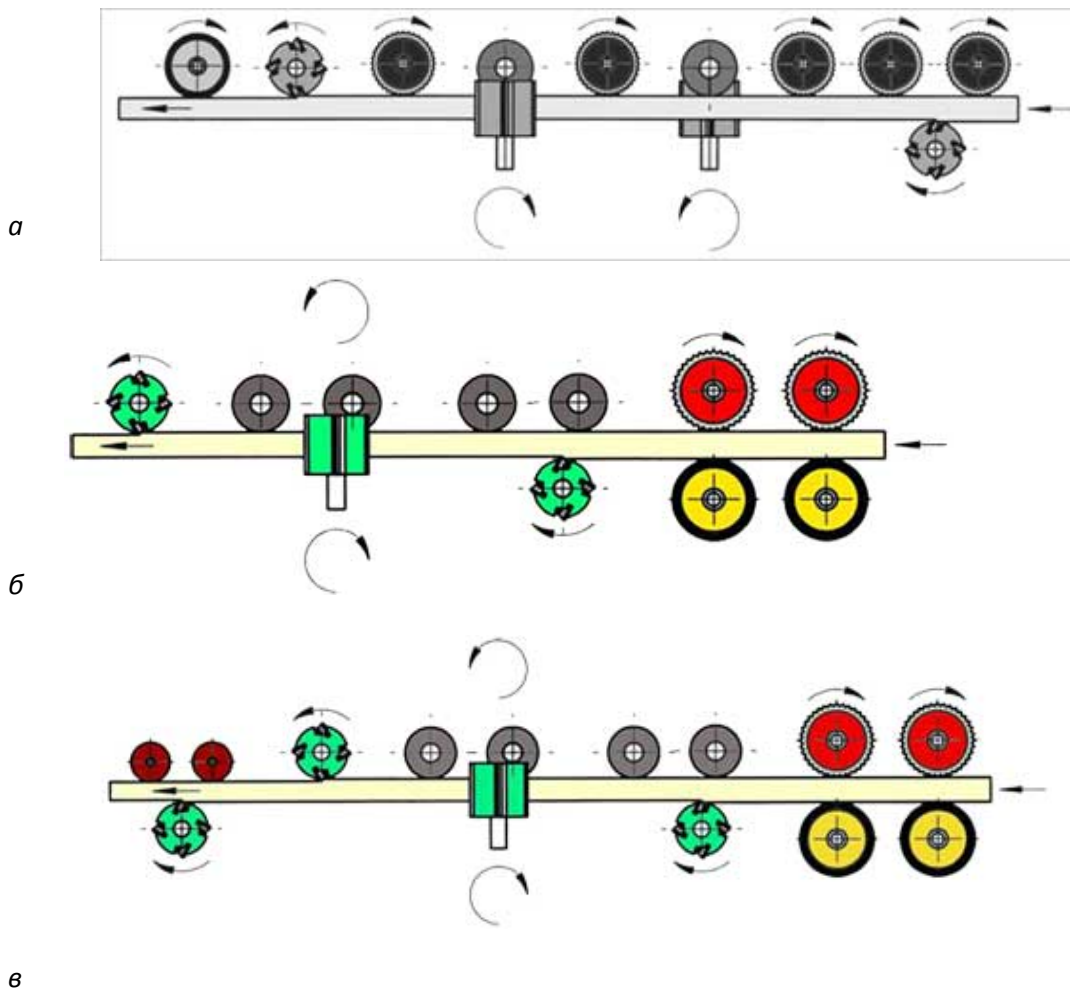


Рис. 72. Технологические схемы четырехсторонних

продольно-фрезерных станков моделей:

а – С25-4-2М; б – С26-2Н; в – С26-5

В станке модели С25-4-2М установлено шесть подающих вальцов, расположенных над заготовкой равномерно по длине станка. Это позволяет извлекать из станка последнюю обрабатываемую заготовку. Однако конструкция такого механизма подачи усложняется.

В станке модели С26-2Н заготовку подают только два верхних рифленых вальца. При работе предыдущие заготовки выталкиваются последующими. При обработке коротких деталей, когда подача последующих заготовок прекращена, заготовки останавливаются в станке, и работающие фрезы прижигают неподвижную поверхность древесины, создают неровности.

В станке модели С26-5 установлено шесть прижимных вальцов. Надежное базирование заготовки повышает точность обработки изделия.



Технические характеристики некоторых станков приведены в табл. 20.

### **10.4.2. Кинематическая схема станка**

Кинематическая схема четырехстороннего продольно-фрезерного станка показана на рис. 73.

Станок включает четыре механизма главного движения, которые выполнены в виде электродвигателя, на валу которого закреплены фрезерные головки 10. Две фрезерные головки расположены горизонтально (нижняя и верхняя) и две – вертикально (правая и левая). Электродвигатели первых трех головок имеют мощность 4 кВт, электродвигатель верхней головки 6 кВт. Частота вращения валов всех электродвигателей механизмов резания равна  $6000 \text{ мин}^{-1}$ , что достигается применением генератора электрического тока на 100 Гц.

Механизм подачи станка вальцового типа. Приводные вальцы 8 (два нижних и два верхних) расположены перед ножевыми головками и соединены с электродвигателем 1 через ременный вариатор скоростей 2, 3, червячный редуктор 4 и зубчатые колеса 5, 6, 7. Скорость подачи станка плавно регулируется в диапазоне 7 ... 42 м/мин.

Станок С16-4А, выполненный по такой кинематической схеме компактен и имеет следующие габаритные размеры: длина 2760 мм, ширина 1250 мм, высота 1400 мм.

Таблица 17

Технические характеристики четырехсторонних  
продольно-фрезерных станков

Параметры	С 26-5	С 26-2Н	С25-4-2М	С16М-5У	С20-4Б	С-150	С4-1	4ФМ180/4
Размеры обрабатываемой заготовки, мм:								
- длина, не менее	630	630	630	400	900	400	1000	250-350
- ширина	40-260	50-250	25-250	30-160	20-200	30-150	20-200	23-180
- толщина	10-125	10-125	12-125	10-120	11-65	10-130	100	7,5-105
Размеры инструмента, мм								
- на вертикальных валах	180	180×60	-	180	125	125-160×40	125-150×32	110-137
- на горизонтальных валах	180	180×60	-	180	125-60	125-160×40	160-×40	120-137

Количество шпинделей, шт.	5	4	4	6	4	4	4	4
Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	5000	5000	6000	6500	5100	5000	5500	6000
Скорость подачи, м/мин	-	10-40	10-47	7,5-22,0	6-11	10,5-25	6-12	6-12
Суммарная мощность, кВт	-	30	-	34,75	13,1	20	13,1	16,1
Габариты, мм	3625×	2625×	1510×	4157×	1290×	1720×	1350×	2685×
	1400×	1350×	3490×	1986×	860×	940×	830×	1100×
	1510	1510	1870	1678	1340	1350	1400	1440
Масса, кг	3665	3265	4600	3000	700	1000	485	930



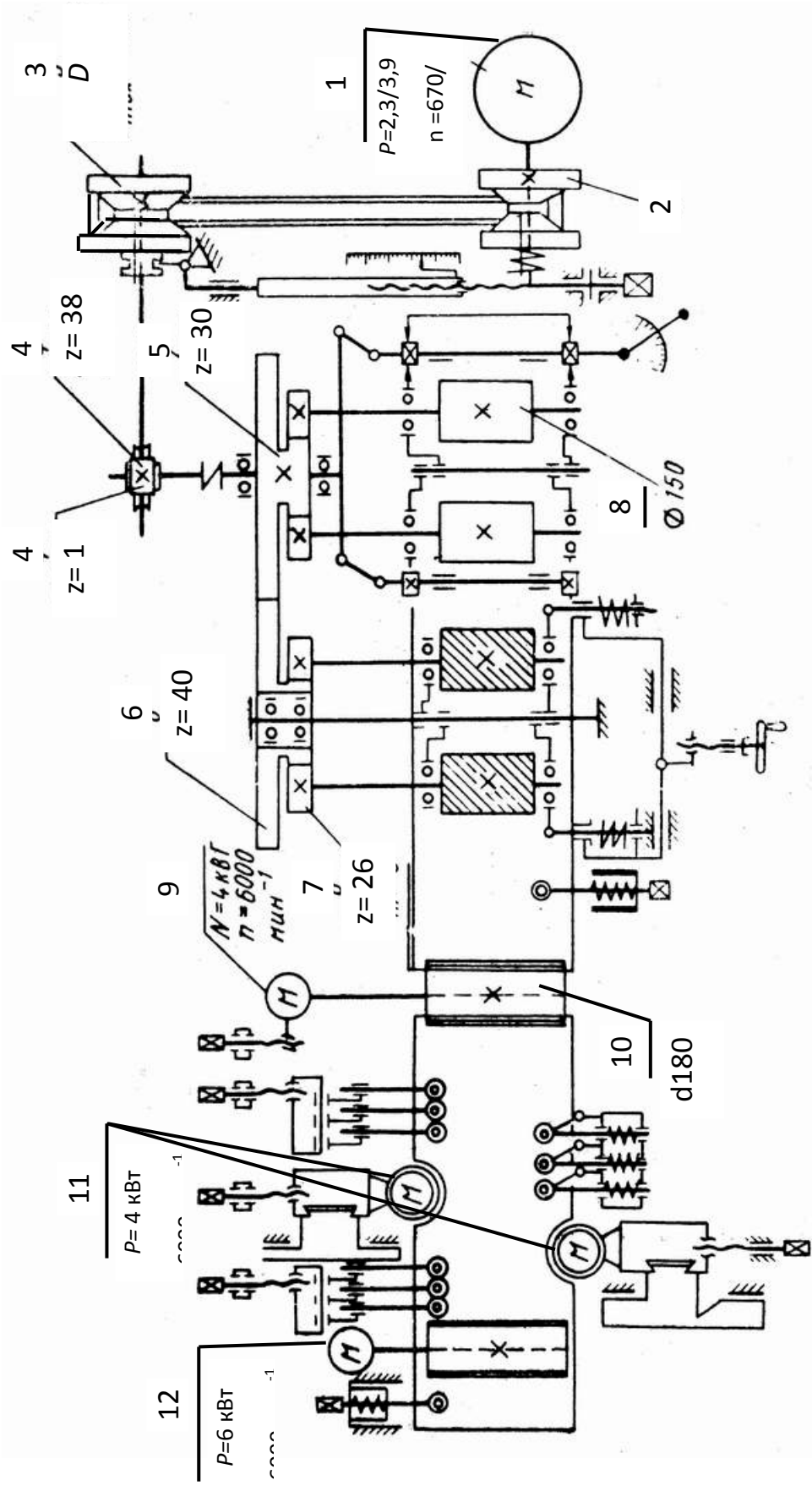
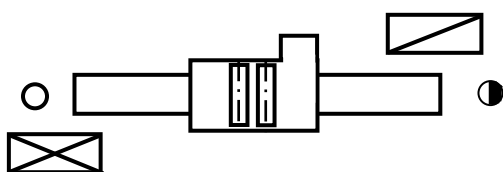


Рис. 73. Кинематическая схема четырехстороннего продольно-фрезерного станка С16-4А



### 10.4.3. Организация рабочего места при четырехстороннем продольно-фрезерном станке



Размеры рабочего места (рис. 74) уточняются в соответствии с размерами подступных мест и четырехсторонних продольно-фрезерных станков, размеры некоторых из них приведены в табл. 21.

Рис. 74. Рабочее место

Таблица 21

Габариты четырехсторонних станков

Марка станка	Длина, мм	Ширина, мм
С 26-5	3625	1400
С 26-2 Н	2625	1350
С25-4-2М	1510	3490
С16М-5У	4157	1986
С20-4Б	1290	860
С-150	1720	940
С4-1	1350	830
4ФМ180/4	2685	1100

## 10.5. Станки фрезерные

### 10.5.1. Фрезерные станки с нижним расположением шпинделя

Фрезерные деревообрабатывающие станки предназначены для выполнения разнообразных работ по обработке деталей из древесины и древесных материалов. На фрезерных станках с применением ручной подачи по направляющим линейкам обрабатывают погонажные детали (вагонки, доски пола, плинтусы, наличника, филенки и др.), нарезают шипы с помощью шипорезной каретки, выполняют криволинейное фрезерование с помощью копировального шаблона. Шаблон делают из фанеры, древесины или другого плитного материала.

Фрезерный станок ФС-1 имеет станину коробчатой формы, внутри которой установлен тщательно сбалансированный шпиндельный узел с механизмом подъема и наклона. Шпиндельный узел при настройке может вертикально перемещаться на 50 мм и поворачиваться на угол  $-5...+30^\circ$  (табл. 22). На станине установлен шлифованный стол с шипорезной кареткой. На столе смонтировано ограждение фрезы с направляющими и патруб-

ком стружкоотсоса. На шипорезной каретке установлены линейка и эксцентриковый прижим.

Таблица 22

Технические характеристики фрезерных станков

Наименование параметра	ФС-1	Ф130.03	ФСШ-1А
Наибольшая толщина заготовки, мм	140	130	100
Размеры стола (длина × ширина), мм	500×900	1000×420	1000×800
Длина и ширина шипорезной каретки, мм	200×900	1200×300	1000×295
Ход шипорезной каретки, мм	1000	1550	950
Диаметр шпиндельной насадки, мм	32	32	32
Угол поворота шпинделя, град	-5...+30	-	-
Наибольший диаметр фрезы, мм	180	250	250
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	6000; 8000	3750; 4500; 7500; 9000	3000; 4500; 6000; 9000
Мощность электродвигателя, кВт	3,0	4/4,75	4/4,75
Габариты, мм	700×	1980×	1200×



	×906×	×1540×	×1265×
	×1200	×1500	×1360
Масса, кг	360	580	880

На станке модели Ф130.03 можно выполнять фрезерование по шаблону. Применение шаблонов позволяет значительно повысить производительность труда и снизить себестоимость продукции, быстро перестраивая станок на обработку других деталей за счёт одновременной установки двух различных шаблонов. При необходимости шаблоны легко демонтируются со станка, и последний можно использовать по его прямому назначению.

### 10.5.2. Фрезерные станки с верхним расположением шпинделя

Станки с верхним расположением шпинделя предназначены для обработки верхних и боковых прямолинейных и криволинейных поверхностей, а также для выборки пазов и гнезд различной конфигурации, сверления и зенкования отверстий.

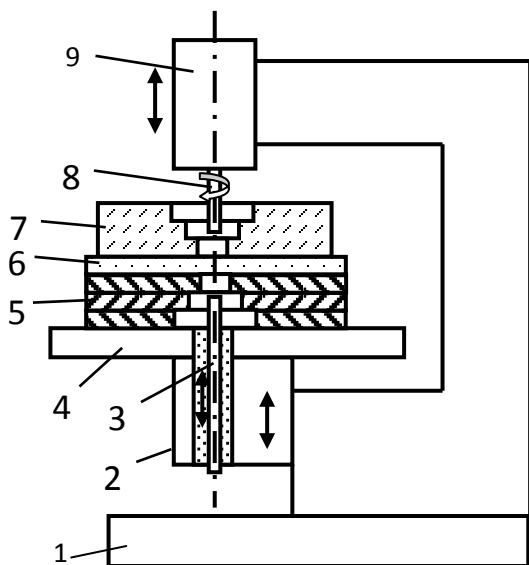


Рис. 75. Схема станка модели ВФК-2А

На рис. 75 показана схема обработки гнезда на станке модели ВФК-2А.

В верхней части станины 1 станка смонтирован суппорт 9 с фрезерным шпинделем и концевой фрезой 8. Суппорт может перемещать шпиндель с фрезой в вертикальном направлении с помощью пневмоцилиндра.

В нижней части станины смонтирован суппорт 2 с возможностью вертикального перемещения с помощью рукоятки и зубчатой передачи. На суппорте установлен стол 4, в котором расположен подвижный палец 3 с приводом от рукоятки и зубчато-реечной передачи. На стол кладется блок, состоящий из нескольких шаблон-копиров 5 и копировальной доски 6. На блок кладется обрабатываемая заготовка 7

и крепится на нем. Подача блока с заготовкой по столу осуществляется вручную.

На деревообрабатывающих предприятиях применяются станки различных моделей – с неподвижным столом, карусельные, одно и двухшпиндельные. Технические характеристики некоторых из них приведены в табл. 23.

Технические характеристики фрезерных станков  
с верхним расположением шпинделя

Параметр	Ф1К-2А	Ф2КШ-3	ВФК-2А	ВФК-4	В2ФК
Размеры обрабатываемых деталей, мм:					
длина	310-970	310-970	700	700	600
ширина	30-90	30-90	650	650	200
толщина	15-50	15-50	-	-	-
Диаметр стола, мм	1200	2500	-	-	-
Частота вращения стола, мин <sup>-1</sup>	0,37- 3,7	0,5-5,0	-	-	-
Число фрезерных головок	1	2	1	1	2
Диаметр фрезерных головок, мм	165	125	-	-	-
Вертикальное перемещение шпинделя, мм	50	150	130	130	150
Частота вращения головок, мин <sup>-1</sup>	6000	6000	18000	18000	18000
Перемещение стола, мм	-	-	140	140	140
Ширина стола, мм	-	-	760	760	650
Длина стола, мм	-	-	700	700	250

Угол наклона фрезерной головки, град.	-	-	60	60	60
Мощность, кВт:					
фрезерных головок	4,0	2×6	4,0	4,0	2×0,9
подачи	1,6	1,6	-	-	-
Габаритные размеры, мм:					
длина	1800	4200	1170	1230	1470
ширина	2100	4250	1270	1310	1310
высота	1750	1125	1650	1680	1710
Масса, кг	2500	4000	780	810	940

### 10.5.3. Организация рабочего места у фрезерного станка

Схема организации рабочего места у фрезерного станка показана на рис. 76. Размеры рабочего места уточняются в зависимости от размеров подступных мест и габаритных размеров конкретного станка. Габаритные длина и ширина некоторых фрезерных станков приведены в табл. 24.

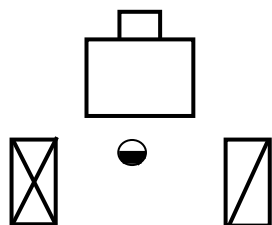


Рис. 76. Рабочее место

Таблица 24

место

Габариты четырехсторонних станков

Марка станка	Длина, мм	Ширина, мм
ФЛ	990	870
ФС-1	1095	1130
ФТ	1185	1250
ФСА-1	1140	1120
ФТА	1185	1250
ФА-4	1140	1120
ФСШ-1	1500	1305
ФСШ-1А	2000	1265
ФСШ-11	1750	1420
ФСШ-12	1750	1420
ВФК-2	1180	1450
ВФК-3	1180	1450

## 10.6. Шипорезные станки

### 10.6.1. Общая характеристика станков

Шипорезные станки применяются для получения на концах деталей шипов и проушин, с помощью которых детали собираются на клею в рамки, ящики или стыкуются продольно. Различают три типа шипорезных станков: для получения рамных шипов в производстве строительных деталей, ящичных шипов и стыковочных зубчатых шипов.

Для получения рамных шипов используются многооперационные многошпиндельные станки с различными режущими инструментами, последовательно формирующими поверхности шипа и проушины. Станки бывают односторонние (модели ШО10-4, ШО16-4, ШО15-А, ШО15Г-5, ШО-Б) и двусторонние (модели ШД10-8, ШД16-8, ШД6-8М). Первые станки нарезают шипы с одной стороны детали, а вторые – сразу с двух сторон.

Схема одностороннего шипорезного станка ШО15Г-5 приведена на рис. 77, технические характеристики некоторых станков – в табл. 25.

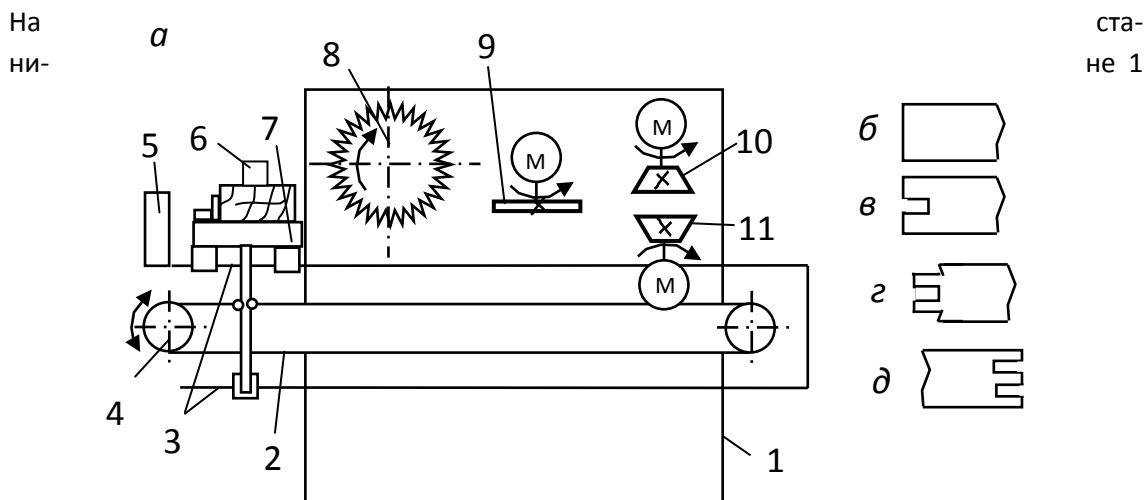


Рис. 77. Односторонний рамный шипорезный станок ШО15Г-5: *а* – технологическая схема; *б* – заготовка после обработки пилой; *в* – заготовка после обработки проушечным диском; *г* – готовые концы детали; *д* – концы ответной детали

станка на двухкоординатных суппортах смонтированы электродвигатели, на валах которых закреплены торцовочная пила 8, проушечный диск 9 и фрезы 10, 11 для формирования шипов и их заплочиков. На станине справа установлены также две горизонтальные направляющие 3, на которых поставлена роликовыми опорами каретка 7 с прижимом 6. Каретка соединена цепью 2 через звездочку 4 и мультипликатор с гидроцилиндром. При ходе штока гидроцилиндра, равном 180 мм, мультипликатор обеспечивает ход каретки до 1500 мм. Управление станком осуществляется с пульта управления 5.

Таблица 25

Технические характеристики фрезерных станков  
с верхним расположением шпинделя

Наименование параметра	ШО16-4М	ШОБ-20	ШПК-40	ШД16-8
Наибольшее сечение обрабатываемых деталей, мм	400×160	40×120-42×104	-	-

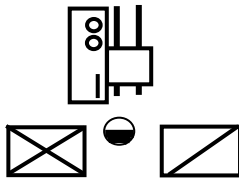
Наибольшая длина шипа, мм	160	-	110-400	160
Толщина шипа, мм	-	-	8-100	10
Наибольшая высота заплечика шипа, мм	40	-	-	-
Наибольшая глубина проушины, мм	160	-	-	-
Частота вращения головок, мин <sup>-1</sup>	3000	3000 и 4500	-	-
Число фрезерных головок	1	1	4	8
Скорость подачи, м/мин	2-15	5-8	6	1,5-16
Установленная мощность, кВт:	10,3	9,6	12,1	21,2
пильной головки	3	4	-	-
фрезерных головок	2,2	5,6	-	-
проушечной головки	4	-	-	-
гидравлической подачи	1,1	-	-	-
Габаритные размеры, мм:				
длина	2100	1870	880	3500
ширина	1550	2092	1020	3080
высота	1500	1405	1300	1480
Масса, кг	1250	750	800	3550

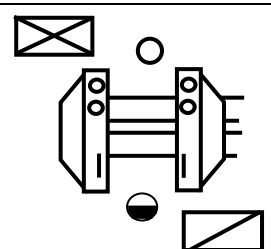
При работе заготовку базируют по направляющей линейке на столе каретки и фиксируют прижимом. При подаче пила 8 выравнивает торец заготовки (рис. 77, б), проушечный диск 9 формирует проушину (рис. 77, в), а фрезы 10 и 11 обрабатывают наружные поверхности шипов и их заплечиков (рис. 77, з). Затем каретку возвращают в исходное положение, заготовку перебазируют другим концом и снова нарезают шипы. На обоих концах детали получаются одинаковые шипы (см. рис 77, з).

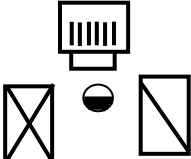
Для сборки рамочной конструкции необходимы еще детали с шипами на обоих концах по форме, показанной на рис. 77, д. Такие шипы можно получить, используя только пилу 8 и проушечный диск 9 станка. Для обработки прямых и клиновых ящичных шипов используют шипорезный станок ШПА40, ШПК40.

### 10.6.2. Организация рабочего места у шипорезного станка

Рабочее место и габариты у одностороннего шипорезного станка показаны на рис. 78, у двухстороннего станка – на рис. 79, у шипорезного станка для зарезки прямых ящичных шипов – на рис. 80.

 <p>Рис. 78. Рабочее место у одностороннего шипорезного станка</p>	Модель	Длина, мм	Ширина, мм
	ШО16-4	2000	1450
	ШОТ	1340	1149
	ШО15Г-5	2960	1900

 <p>Рис. 79. Рабочее место у двустороннего шипорезного станка</p>	Модель	Длина, мм	Ширина, мм
	ШД10-3	3350	2380
	ШД10-8	3350	3080
	ШД15-3	4150	2380
	ШД16-8	4270	3080
	ШД10-10	3500	3080

 <p>Рис. 80. Рабочее место у одностороннего шипорезного станка</p>	Модель	Длина, мм	Ширина, мм
	ШД10-3	3350	2380
	ШД10-8	3350	3080
	ШД15-3	4150	2380
	ШД16-8	4270	3080
	ШД10-10	3500	3080

## 10.7. Цепнодолбежные станки

### 10.7.1. Общие сведения

Долбежные станки используются при выработке сквозных и несквозных гнезд прямоугольного сечения. Для их формирования в качестве режущего инструмента чаще всего используют фрезерную цепочку или гнездовую фрезу. Для выполнения долбежных работ используются импортные станки моделей G450S, G550S, G281, MC30, MC40, CC40, поставляемые на российский рынок компанией "АСТРО", и станки российского производства ДЦА-3, ДЦА-4 и др.



**Цепно-долбежный станок модели G281 (Италия)** (рис. 81) предназначен для выборки сквозных и глухих пазов в изделиях из древесины в условиях мелкосерийного и серийного производства дверей, окон и других изделий. Технические характеристики некоторых станков приведены в табл. 26.

Таблица 26

Технические характеристики фрезерных станков

с верхним расположением шпинделя

Рис. 81. Цепнодолбежный станок модели G281



Наименование параметра	G281	G450S	G550S	MC30
Размер рабочего стола, мм	540×110	540×110	600×110	540×110
Вертикальный ход головки, мм	180	180	180	180
Вертикальный ход стола, мм	160	90	180	180
Поперечный ход головки, мм	80	150	150	80
Продольный ход головки, мм	200	-	-	200
Максимальная длина паза, мм	280	280	300	-
Максимальная ширина двери, мм	900	-	1050	900
Угол наклона рабочего стола, град	0-45	0-45	0-45	0-45
Угол наклона головки, град.	0-45	0-45	0-45	0-45
Мощность двигателя вертикальных шпинделей, кВт	-	-	0,37	-
Мощность двигателя горизонтальных шпинделей, кВт	-	-	0,75	-
Мощность электродвигателя привода цепи, кВт	1,5	2,2	2,2	1,5

Частота вращения, об/мин	2800	2800	-	2800
Габаритные размеры, мм:				
длина	700	750	750	700
ширина	600	700	700	600
высота	1650	1700	1700	1650
Масса, кг	210	350	500	210

### 10.7.2. Рабочее место у долбежного станка

Рабочее место у одностороннего шипорезного станка и габариты станков показаны на рис. 82.

 <p>Рис. 82. Рабочее место у цепно-долбежного станка</p>	Модель	Длина, мм	Ширина, мм
	ДЦФ-3	1400	935
	ДЦФ-4	1400	935
	G281	700	600
	G450S	750	700
	G550S	750	700
	МС30	700	600
	СС40	660	710

## 10.8. Сверлильно-пазовальные станки

### 10.8.1. Общие сведения

**Горизонтальные сверлильно-фрезерные станки.** По конструктивному исполнению различают станки одношпиндельные и многошпиндельные, односторонние и двухсторонние. На рис. 83 изображен двухсторонний одношпиндельный горизонтальный сверлильно-фрезерный станок.

Рабочий шпиндель 3 станка с патронами для крепления

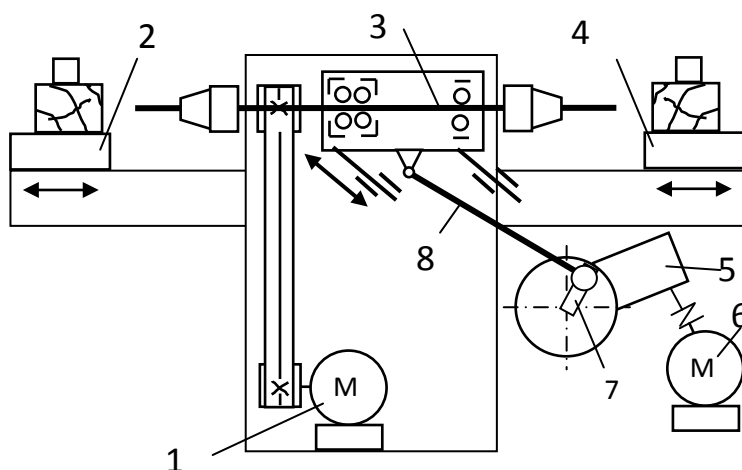


Рис. 83. Схема горизонтального

двухстороннего сверлильно-фрезерного станка сверл (или концевых фрез) соединен ременной передачей с валом электродвигателя 1. При этом корпус шпинделя установлен на суппорте с возможностью прямолинейно-поперечного возвратно-поступательного перемещения в горизонтальной плоскости с помощью шатуна 8.

Вместо суппорта возможны другие конструктивные исполнения, обеспечивающие подобные перемещения шпинделя. Шатун 8 соединен шарнирно с кривошипом 7, длина которого может регулироваться при настройке станка. Кривошип закреплен на валу редуктора 5, соединенного с электродвигателем 6. Кривошипно-шатунный механизм станка с регулируемым кривошипом обеспечивает возвратно-поступательное перемещение шпинделя с заданной амплитудой.

По обе стороны шпинделя на станине станка расположены столы 2 и 4, на которых базируются обрабатываемые заготовки. Столы могут выполнять движения подачи с помощью, например, гидроцилиндров.



Рис. 84. Сверлильно-пазовальный станок TRC N

раширяет возможности станка.

В настоящее время в деревообрабатывающей промышленности используются горизонтальные сверлильно-фрезерные станки СВПГ-2А, СВПГ-1И (с цанговым креплением фрезы), СВПГ-1П (патронный), СВПА-2.

Из импортных применяются итальянские станки TRC N (рис. 84), TRC S. Эти станки предназначены для работы в единичном и мелкосерийном производствах, где обработка заготовки ведется преимущественно с ручным способом подачи инструмента. В станках TRC N стол неподвижен, а фрезерная головка перемещается в продольном и поперечном направлениях по направляющим. В станках TRC S стол скользит по шарикам из специальной твердой стали, фрезерная головка неподвижна.

Станки изготовлены с наклонным столом ( $-45^{\circ}+45^{\circ}$ ), что позволяет изготавливать наклонные пазы. Кроме того, станок TRC N может быть изготовлен с поворотным столом ( $-60^{\circ}+60^{\circ}$ ), что рас-

Технические характеристики некоторых станков приведены в табл. 27.

Таблица 27

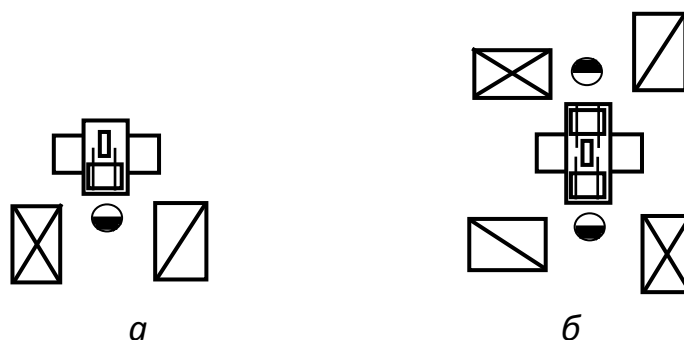
Технические характеристики  
сверлильно-пазовальных станков

Наименование параметра	СВПГ-2А	СВПГ-1И	СХ90 (Италия)	TRC S (Италия)
Максимальный диаметр высверливаемого отверстия, мм	30	30	20	20

Ширина фрезеруемого паза, не более, мм	100	125	100	20
Глубина высверливаемого отверстия (фрезеруемого паза) не более, мм	100	150	150	150
Длина фрезеруемого паза не более, мм	200	100	150	200
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	12000	6000	2800	2800
Мощность электродвигателя, кВт	2,0	1,5	2,25	2.2
Габариты, мм:				
длина	1350	600	600	1300
ширина	1000	800	800	980
высота	1300	1200	1250	1270
Масса	180	200	180	160

### 10.8.2. Рабочее место у сверлильно-пазовального станка

Организация рабочего места у сверлильно-пазовального станка показана на рис. 85, габариты – в табл. 28.



161

Рис. 85. Рабочее место у сверлильно-пазовального станка:

Таблица 24

Габариты четырехсторонних станков

Тип станка	Марка станка	Длина, мм	Ширина, мм
Односторонние	СвПА-2	1475	940
	TRC S (Италия)	1300	980
Двухсторонние	СвПГ-2	1350	1000
	СвПГ-3	1000	1100
	СвПГ-2а	1496	724

## 10.9. Обработка древесины методом копирования

### 10.9.1. Общие сведения

Механическая обработка древесины методом копирования предназначена для тиражирования деталей или изделий путем копирования объемных форм и различных плоских рельефов.

Для получения деталей объемной формы (цилиндрических, конических, профильных) используется процесс фрезерования ножевым валом, ножевой головкой, дисковой фрезой. Для фрезерования прямолинейных и криволинейных поверхностей (верхних и боковых) используют концевые фрезы.

## 10.9.2. Копировально-фрезерные станки

*Копировально-фрезерный станок для обработки объемных деталей*, например, рукояток, показан на технологической схеме рис. 86.

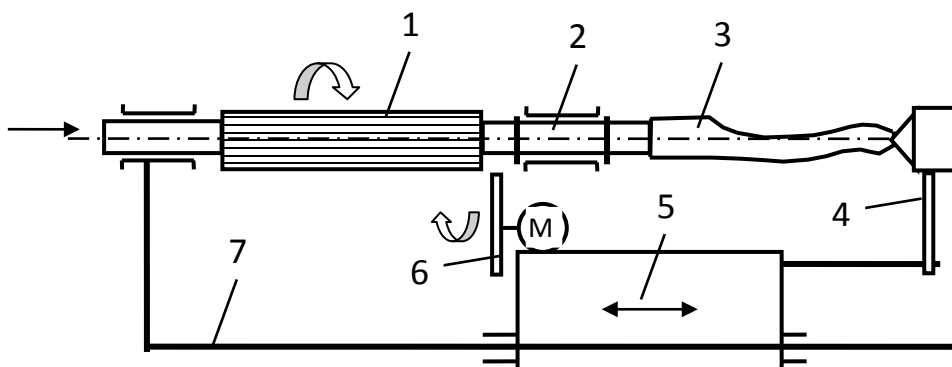


Рис. 86. Технологическая схема обработки  
объемных деталей по копии

На шпинделе 2, соединенном с приводом, в центрах закреплены обрабатываемая деревянная заготовка 1 и копир (образец детали) 3. На направляющих 7 станка установлен суппорт 5 с возможностью возвратно-поступательного перемещения по ним от привода подачи. На суппорте смонтированы щуп 4 и электродвигатель с дисковой фрезой 6. При работе станка шпиндель с заготовкой и копиром совершают вращательное движение с частотой около  $100 \text{ мин}^{-1}$ . Щуп 4 постоянно прижимается к копиру и при подаче суппорта скользит по нему. При этом вращающаяся дисковая фреза повторяет движения щупа и фрезерует вращающуюся поверхность заготовки. После обработки заготовки получается деталь – точная копия копира.

Фрезерование при копировании может быть поперечным и продольным. При поперечном фрезеровании узкой фрезой можно получить поверхности с небольшим радиусом кривизны, однако качество обработанной поверхности низкое. При продольном фрезеровании можно получить обработанные поверхности высокого качества, но кривизна поверхности должна быть соизмерима с радиусом фрезы.

**Копировально-фрезерный станок для обработки цилиндрических и конических деталей.** При создании высокопроизводительных станков для обработки деталей цилиндрической и конической формы используется метод фрезерования одновременно нескольких (от 2 до 8) заготовок. Технологическая схема станка показана на рис. 87.

На станочных зонах

щие них опо-

смонтирована каретка 1 с возможностью возвратно-поступательного перемещения от привода подачи. Левый конец каретки при настройке может подниматься по оси 2 на некоторую величину так, что стол каретки занимает горизонтальное или наклонное положение. На столе в подшипниковых опорах смонтированы шпиндели 5 с приводом, в центрах которых закреплены обрабатываемые заготовки 3. Над заготовками на раме станка установлен ножевой вал 4, соединенный с приводом.

Для получения конических деталей стол каретки устанавливают наклонно. Заготовки зажимают в центрах шпинделей и включают их привод. Затем каретку перемещают по направляющим в сторону ножевого вала, который фрезерует наружные поверхности заготовок и формирует конические поверхности.

Применение многошпиндельных копировальных станков позволяет повысить производительность обработки конических и цилиндрических деталей.

### 10.9.3. Фрезерно-копировальный станок

Фрезерно-копировальный станок предназначен для тиражирования деталей или изделий из древесины методом копирования плоских объемных форм (элементов художественного орнамента мебели, скульптурных изделий).

Схема станка модели 2ФК-320 показана на рис. 88. На раме станка в направляющих 2 и 3 установлена подвижная траверса 1, на которой по краям смонтированы высокооборотные мотор-шпиндели 4 с концевыми фрезами. В середине между мотор-шпинделями на траверсе смонтирован копировальный палец 5, который может ощупывать профиль шаблона 7.

Рис. 87. Технологическая схема обработки цилиндрических и конических деталей по копиру

раме ка нов-горизонтальна-правляющих 6. На роковых рах



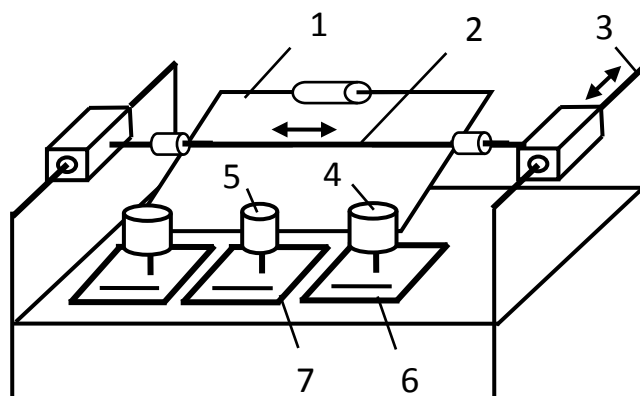


Рис. 88. Схема форматно-копировального станка

При работе станка на его стол кладут и закрепляют одновременно две заготовки 6. Обкатку профиля шаблона производят вручную путем перемещения траверсы с копировальным пальцем вдоль шаблона. При этом на заготовках осуществляется последовательно черновое, получистовое и чистовое фрезерование заданного профиля концевыми фрезами различного диаметра.

#### **Техническая характеристика станка 2ФК-320**

Наибольшие размеры обрабатываемой детали, мм:

длина ..... 1000

ширина ..... 320

Частота вращения шпинделей, мин<sup>-1</sup> .... 18000

Установленная мощность, кВт ..... 2

Габаритные размеры, мм:

длина ..... 1350

ширина ..... 1700

высота ..... 1750

Масса, кг ..... 650

## **10.10. Обрабатывающие центры**

### 10.10.1. Назначение

Обрабатывающий центр – это многооперационный позиционный станок с системой ЧПУ, автоматической сменой режущего инструмента и выполнением максимального количества технологических операций по обработке детали с одной установки.

Деревообрабатывающие центры (ДЦ) с ЧПУ эффективно применяются в различных отраслях деревообрабатывающей промышленности. В производстве мебели – это фрезерование направляющих для разного рода выкатных механизмов, обработка оснований кресел и диванов в сборе, создание всевозможных резных видовых элементов из массива древесины. Это производство изделий – столов, стульев, шкафов, рам зеркал и др.

В жилищном строительстве – это оформление каминов, арок, панелей и различных элементов интерьеров из натуральной древесины. ДЦ с ЧПУ удобны в производстве деревянных лестниц, особенно при изготовлении различной формы ступеней винтовых лестниц, оригинальных столбов и балясин.

Обрабатывающие центры с ЧПУ применяются для форматной обрезки, профильного фрезерования и обработки пазов и отверстий в щитовых деталях, при обработке деталей брусковой формы в производстве филенчатых дверей, окон, мебели, стульев и др., обработке гнутоклееных деталей.

Обрабатывающие центры отличаются универсальностью. Один и тот же центр при различной комплектации обрабатывающими и вспомогательными агрегатами может иметь разнообразное применение.

Обрабатывающие центры отличаются гибкостью. Они легко перенастраиваются на новое изделие. Переналадка сводится практически к замене управляющей программы, что гарантирует повторяемость изделия без каких-либо операций разметки и использования лекал. Центр позволяет оперативно выполнять любые заказы, гибко и быстро реагируя на изменение потребностей рынка без дополнительных затрат.

Наиболее популярны сейчас простейшие деревообрабатывающие центры, например итальянской компании SCM group, ориентированные, прежде всего на фрезерную обработку в производстве окон, дверей, фасадов [9].

Для высокопроизводительного фрезерования компания SCM group предлагает другую серию центров, например, Ergon. Станки этой серии могут включать до 4 фрезерных электрошпинделей с независимым управлением. Станки могут работать в маятниковом режиме, когда с одной стороны стола снимают обработанную деталь и устанавливают

заготовку для обработки, в то время как на другой стороне машина обрабатывает заготовку. Затем механизм резания станка перемещается к другой стороне стола и без остановки сразу начинает обработку. Работа центра в маятниковом режиме позволяет снизить простои, связанные с установкой заготовок и снятием деталей и повысить производительность машины.

Деревообработке предлагаются высокопроизводительные сверлильные центры. Например, серия Autor 900 SCM group имеет 4 независимые головки с 200 вертикальными и 84 горизонтальными шпинделями. Центр имеет возможность выполнять операции пиления, фрезерования и вставки фурнитуры.

Новая система Plant SCM group имеет по два независимых фрезерных и сверлильных узла, один кромкооблицовочный узел. Скорость перемещения узлов и агрегатов достигает до 150 м/мин с ускорением 9,81 м/с<sup>2</sup>.

### 10.10.2. Функциональные элементы рабатывающего центра

об-

Основу конструкции обрабатывающего центра составляет мощная станина, выполненная в виде устойчивых к деформациям жёстких сварных конструкций. Значительный вес станины обеспечивает гашение вибраций, возникающих в процессе работы.

На станине смонтированы следующие функциональные механизмы: механизм базирования заготовки, ходовая стойка, суппорт с несколькими обрабатываемыми головками, направляющие координат, магазин для сменного дереворежущего инструмента и механизм управления.

**Механизм базирования заготовки.** Механизм базирования состоит из одного или нескольких столов, а также набора консолей и упоров для закрепления и позиционирования заготовок на столе вакуумным или механическим способом. Вакуумные присоски легко перемещаются по площади стола. Их позиционирование с учетом формы и размеров заготовки выполняется с помощью лазера.

Столы обрабатывающих центров отличаются по размерам, конфигурации и способу фиксации заготовки. Для многих заготовок предъявляются особые требования для крепления. Например, на заготовки из прочных материалов при механической обработке действуют большие силы резания. Для фиксации таких заготовок на столе приходится использовать кроме вакуумных прижимных устройств дополнительные страховочные элементы. Для обработки поверхностей высокого качества требуется, чтобы механизмы фиксации были достаточно жесткими и снижали вибрацию заготовки.

Вакуумные модули поставляются различных форм и типоразмеров. Они имеют основание из толстолистовой стали, в котором сделаны отверстия для создания вакуума на поверхности модуля. Такие модули свободно перемещаются по столу и фиксируются магнитами в заданном положении.

Заготовка для обработки кладется на модули, которые выполняют роль базовых элементов и присосок.

**Ходовая стойка с поперечным суппортом.** На станине обрабатывающего центра расположена ходовая стойка, перемещающаяся по продольным направляющим в направлении оси X со скоростью до 100 м/мин. На ходовой стойке смонтированы поперечный суппорт с возможностью перемещения в направлениях осей Y и Z, а также тарельчатый или цепной магазин.

Поперечный суппорт с несколькими обрабатывающими головками имеет возможность выполнять различные движения резания: пиление круглой пилой, фрезерование, сверление, шлифование и др.

**Главный шпиндель.** Шпиндель, называемый осью C, имеет мощность до 12 кВт с регулируемой частотой вращения до 24000 мин<sup>-1</sup>. Он установлен на высокоточных подшипниковых опорах, имеет циркуляционное охлаждение жидкостью.

На шпинделе может быть установлена также любая агрегатная головка с режущим инструментом, крепление при этом осуществляется с помощью стыковочного узла и гидравлической зажимной системы.

Корпус шпинделя с помощью цилиндрической зубчатой передачи с управляемым приводом может поворачиваться вокруг вертикальной оси C на угол в диапазоне 0 ... 360°. Это дает возможность развернуть агрегатную головку на любой заданный угол. Поворот ее производится автоматически с высокой точностью по управляющей программе.

Использование поворота инструмента вокруг вертикальной оси существенно расширяет технологические возможности машины. Появляется возможность более производительно выполнять форматный раскрой плитных материалов, выполнять сверление отверстий в любом направлении.

**Магазин инструментов.** Сменный режущий инструмент и агрегатные головки хранятся в тарельчатом магазине. На обрабатывающих центрах используются восьми- или восемнадцатипозиционные магазины. Магазины перемещаются вместе с суппортом центра.

Восьмипозиционный магазин тарельчатого типа соединен с суппортом тягой и может перемещаться вместе с суппортом по

координатным осям X и Y. В магазине могут храниться инструменты для горизонтальных и вертикальных сверлильных шпинделей, расположенных по оси X, агрегата для выборки пазов, горизонтальных сверлильных шпинделей, ориентированных по оси Y, и главного шпинделя. Позиционирование суппорта осуществляется с помощью лазерного луча.

**Направляющие** обрабатывающего центра служат для базирования на них столов или суппорта. Важным параметром обрабатывающего центра является количество одновременно управляемых координат взаимного перемещения стола и обрабатывающего суппорта. Обрабатывающий центр может иметь от 2 до 5 управляемых координат: прямолинейные поступательные перемещения по осям X, Y, Z и вращательные движения вокруг осей Z и Y.

**Управление** всеми взаимными перемещениями стола и суппорта, изменением скорости подачи, скорости вращения инструмента, его заменой из магазина и т. п. производится электронной системой от встроенного компьютера обрабатывающего центра. Система программирования адаптирована к операционной системе Windows и совместима с программой AutoCad. Используя систему программирования, пользователь может разрабатывать разнообразные варианты изделий.

### 10.10. 3. Классификация обрабатывающих центров

Исследовательских работ по систематизации научно-технической информации, касающейся обрабатывающих центров, выполнено пока мало. Недостаточно работ и по классификации, необходимых для уменьшения объема единовременно анализируемой информации и для облегчения ее поиска. Первая попытка систематизации информации по классификации и строению деревообрабатывающих центров выполнена С.В. Гайда (Украина). Приведенная ниже структура классификации осуществлена с учетом этой работы.

Деревообрабатывающие центры (ДЦ) с ЧПУ можно классифицировать по ряду признаков, основными из которых являются следующие:

- технологическое назначение;
- уровень компоновки;
- количество степеней свободы;
- вид принципиальной схемы;
- конструктивные признаки;
- конструктивная проработка;
- вид системы управления;
- вид обслуживающих устройств.

**Классификация по признаку назначения.** Из большого разнообразия ДЦ с ЧПУ различают следующие центры:

- для сверлильно-присадочных работ;
- для обработки плоских деталей;
- для обработки объемно-фасонных деталей;
- для обработки деталей с формой тел вращения;
- для контурной обработки изделий, включая окна и двери.

**Классификация по уровню компоновки.** ДЦ с ЧПУ по компоновке делятся на три группы. К первой группе можно отнести узкоспециализированные центры, выполняющие одну основную технологическую операцию. Это сверлильно-присадочные центры (WEEKE BST-300, Vitar Elite-132 и др.), угловые центры (Weinig Unicontrol-6, Unicontrol-10, scm Format, Windor, Kontur, smr sac-F.4TL и др.), раскроечные центры (Giben PRISMATIC-301, YOMFG Optimat CH-03 и др.), токарные центры (Caple TH4-1200 и др.). Ограничение по количеству выполняемых технологических операций и количеству столов делает такие центры самыми дешевыми по стоимости.

Ко второй группе можно отнести центры повышенного класса точности (point-to-point), выполняющие лишь фрезерные работы концевыми фрезами. ДЦ с ЧПУ point-to-point с базовой комплектацией часто доукомплектовываются дополнительными шпинделями (до 30... 36 шпинделей), сверлильно-присадочными, пильными и иными узлами. К этой группе относятся центры IMA VIMA-210/310/410; WEEKE Optimat BP-60/80/85/100/120/; HOMAG VOF-31/41 и др.

К третьей группе можно отнести центры класса маршрутных (router), которые предназначены для выполнения фасонно-фрезерных работ. Такие центры обеспечивают бесступенчатое фрезерование криволинейных поверхностей. К этой группе относятся центры PADE UNI-5, T-90; BACCI Router-2001; scm Routronic, Trgon и др.

**Деление ДЦ с ЧПУ по количеству степеней свободы.** ДЦ с ЧПУ бывают:

- с 1 - 3 степенями свободы (например, раскроечные, сверлильные);
- с 2 - 4 степенями свободы (например, центры класса point-to-point, присадочные, токарные);
- с 4 - 6 степенями свободы (например, центры для выполнения фасонно-фрезерных работ);
- с 5 - 6 степенями свободы (например, центры для выполнения ажурных работ).

Дереворежущий инструмент в ДЦ с ЧПУ может иметь различное количество управляющих степеней свободы:

- две степени свободы позволяют фрезеровать криволинейный паз на плоской детали;
- три степени свободы позволяют выфрезеровать надпись из букв на поверхности кубической детали;
- четыре степени свободы дают возможность изобразить рисунок на боковой стороне цилиндрической детали;
- пятая и выше степени свободы обеспечивают нанесение объемного изображения на деревянной скульптуре, барельефе.

**Классификация по виду принципиальной схемы.** ДЦ с ЧПУ бывают:

- позиционного типа;
- проходного типа;
- циклового типа;
- роторного типа.

**Классификация по конструктивным признакам.** ДЦ с ЧПУ подразделяются:

- по количеству одновременно обрабатываемых деталей;
- по количеству одновременно обрабатываемых сторон заготовки;
- по количеству позиций обработки;
- по количеству шпинделей с головным рабочим органом;
- по количеству рабочих столов, которые часто используются в маятниковом режиме работы, когда на одном столе ведется обработка детали, в то время как на другом производятся съем обработанной детали и позиционирование заготовки для последующей обработки.

**Деление по конструктивному совершенству.** В зависимости от конструктивного совершенства различают ДЦ с ЧПУ:

- 1) по возможности установки двух или более одинаковых или принципиально разных агрегатов;
- 2) по разновидности столов двух и более:
  - а) консольных с автоматизированными вакуумными траверсами, оснащенными вакуумными присосками, которые позволяют быстро позиционироваться координатными точками с помощью лазера,
  - б) столов с маятниковым режимом работы, изготовленных из бакелита и оснащенных упорами и вакуумную систему;
  - в) тандемных столов (сдвоенных столов), работающих в маятниковом режиме, с сдвоенным или строенным оснащением центра фрезерными агрегатами,
  - г) монтажного стола с ЧПУ и вакуумным закреплением деталей, который может поворачиваться для полноценной работы (например, сборка стульев из гнуклееных блоков);
- 3) по точности позиционирования режущего инструмента ДЦ в исходное положение перед началом обработки и в процессе обработки. ДЦ делят по классам точности позиционирования и обработки следующим образом:
  - а) прецизионные (самые точные), дающие погрешность размеров 0,02 ... 0,1 мм,
  - б) высокой точности, обеспечивающие погрешность размеров 0,1 ... 0,5 мм;
  - в) точные – 0,6 ... 1,0 мм;

- г) средней точности – 1,1 ... 2,0 мм;
- д) низкой точности – больше 2,0 мм;
- 4) по частоте вращения шпинделя, управляемой программой (от 500 до 36000 мин<sup>-1</sup>), позволяющей получить обработанную поверхность с требуемой шероховатостью при высокой точности исполнения; по скорости перемещения режущего инструмента в зону резания (5...10 м/с), скорости поворота шпинделя (до 180 °/с);
- 5) по производительности вакуумной установки (180...500 м<sup>3</sup>/ч), которая может фиксировать крупногабаритные и шероховатые заготовки для объемного фрезерования;
- 6) по наличию автоматической системы для объемного сканирования детали в ЧПУ ДЦ. Такая система сокращает время на подготовку производства новых сложных изделий;
- 7) по объему рабочей зоны (0,1...20 м<sup>3</sup>), в которой может пребывать обрабатываемая заготовка. Различают ДЦ с ЧПУ с микрозоной (меньше 1 м<sup>3</sup>), малой зоной (до 2 м<sup>3</sup>), средней зоной (2...5 м<sup>3</sup>), большой зоной (более 5 м<sup>3</sup>).

Деревообрабатывающие центры с ЧПУ характеризуются также такими признаками, как:

- широкая универсальность, которая обеспечивается наличием в них инструментальных магазинов, включающих до 120 единиц режущего инструмента и до 30 агрегатных головок (шлифовальных, сверлильных, фрезерных, комбинированных и др.);
- высокая мобильность, которая достигается быстрой сменой управляющих программ для переналадки центра на другой типоразмер обрабатываемых деталей.

Деревообрабатывающий центр оснащен системой с числовым программным управлением, которая может быть позиционной, контурной или комбинированной.

*Позиционная система ЧПУ* обеспечивает установку рабочего органа в позицию, которая задана управляющей программой и перемещение его по главной траектории. Ее используют для управления сверлильно-назовальными центрами и там, где скорость и траектория перемещения рабочих органов не связаны с точностью обработки.

*Контурная система ЧПУ* обеспечивает перемещение рабочего органа центра по заданной траектории с заданной контурной скоростью. При этом осуществляется непрерывное управление инструментом по каждой из координат последовательно или одновременно по нескольким координатам. Такая система применяется для управления токарными и фрезерными центрами и позволяет обрабатывать криволинейные поверхности деталей. Контурная система обеспечивает деревообрабатывающему центру до трех степеней свободы.

*Комбинированная система ЧПУ* представляет собой комбинацию контурной и позиционной систем, которые обеспечивают ДЦ четырьмя и более степенями свободы с возможностью выполнять фасонно-фрезерные работы.

**Управление.** Для управления одним ДЦ с ЧПУ используется автономная система CNC (Computer Numerical Control). Для совместного управления группой ДЦ используется система DNC (Direct Numerical Control).

**Виды обслуживающих устройств.** Деревообрабатывающие центры могут укомплектовываться различными видами загрузочно-разгрузочных устройств: манипуляторами-укладчиками, автоматическими загрузчиками, роботами-штабелерами.



#### 10.10. 4. Угловые центры

Угловой центр предназначен для обработки брусковых деталей и рамочных конструкций деревянных окон и дверей в серийном производстве по изготовлению всех видов изделий из массивной древесины. Некоторые специализированные угловые центры предназначены для форматного раскроя листовых и плитных материалов.

Ниже приведено описание обрабатывающего центра UNITEAM UNICA, выпускаемого итальянской фирмой Biesse.

Обрабатывающий центр UNITEAM UNICA – универсальный станок для кратного сверления, фрезерования, линейного пиления, пазования, он предназначен для изготовления окон и дверей из массива твердолиственных пород древесины, плитных композиционных материалов.

Стальная монолитная конструкция станка обеспечивает устойчивость к статическим и динамическим нагрузкам. Перемещение по осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  осуществляется по прецизионным призматическим направляющим. Суппорты осей  $Y$ ,  $Z$  приводятся в движение посредством высокоточных пар гайка - шариковый винт, обеспечивающих перемещения с высокими ускорениями без потери точности. Суппорт по оси  $X$  перемещается посредством пары шестерня - рейка. Для минимизации люфта привод шестерни реализован через высокоточный редуктор с самонастраивающимся плавающим упором, установленным на заранее нагруженном плече, что предотвращает вибрации и люфт. Бесщеточные серводвигатели с обратной связью приводят в движение все узлы и агрегаты, обеспечивая постоянный контроль перемещений.

**Рабочий стол.** ДЦ с ЧПУ имеет четыре рабочих стола. Рабочий стол выполнен из четырех подвижных алюминиевых суппортов, на которых базируются по два вакуумных блока размером 150x150 мм, что позволяет легко адаптировать зону вакуумной фиксации в соответствии с размером обрабатываемой заготовки. На суппортах располагаются выдвижные пневматические упоры для базирования заготовок в рабочей зоне.

Для функционирования вакуумных присосок станок снабжен лопастным вакуумным насосом производительностью 100 м<sup>3</sup>/ч с фильтром-накопителем. Управление насосом интегрировано в общую систему управления оборудованием.

Рабочий стол центра разделен на две независимые зоны, позволяющие проводить попеременную обработку деталей. Каждая из зон управляется отдельной pedalью для фиксации заготовок на столе.

**Грибки.** На столах смонтированы боковые фиксирующие грибки "SERRAMENTO". Они позволяют фиксировать заготовки для последующей обработки элементов окон, дверей (обработки гнутых рам, отдельных элементов рам, элементов дверных коробок, сложных гнутых элементов).

Каждый из грибков перемещается по оси Y для установки в зависимости от размера детали. Блокировка производится пневматически по программе.

**Портал.** Портал перемещается вдоль оси X по направляющим посредством пары шестерня-рейка. По порталу вдоль оси X перемещается суппорт оси Z, на котором фиксируется шпиндельный узел. Перемещение суппорта происходит посредством шарикового винта, перемещение шпиндельного узла вдоль оси Z осуществляется через шариковый винт.

Чтобы исключить излишнюю нагрузку винтовой пары, вес шпиндельного узла компенсируется пневмоцилиндрами и системой сервоконтроля.

**Вертикальный шпиндель.** Шпиндель выполнен реверсивным с электрическим приводом мощностью 9 кВт и максимальной частотой вращения 24000 мин<sup>-1</sup>. Частота вращения регулируется плавно, по программному коду. Шпиндель обеспечен воздушным охлаждением с встроенным датчиком для поддержания оптимальной постоянной температуры при долговременной работе оборудования. Сбалансированный ротор и керамические подшипники, не требующие смазки, герметично защищены от попадания пыли, что минимизирует их износ.

Режущий инструмент шпинделя меняется автоматически с пневматической фиксацией патрона.

**Магазин смены инструмента.** Для хранения и автоматической смены режущего инструмента станок снабжен магазином инструмента карусельного типа на 8 позиций, расположенным на фронтальной стороне электрошпинделя. Вращение магазина обеспечивается бесщеточным электродвигателем. Смена инструмента производится как в ручном, так и в автоматическом режимах.

**Система управления.** Она включает цифровой блок управления АЛЬБАТРОС, предназначенный для работы с осями X, Y, Z, автоматическим магазином инструмента и графиче-

ским интерфейсом программирования EdiCad. В программу EdiCad встроена система оптимизации перемещения рабочих групп, торможения и ускорения, а также выбор шпинделей при сверлении.

**Интерфейс пользователя.** Понятие “Интерфейс“ (interface) означает взаимосвязь между различными элементами компьютерной системы, от простого кабельного соединения до "интеллектуальных" устройств. Интерфейс включает операционную систему Windows 2000 с выпадающими контекстными меню, и инструментами для упрощения операции выбора функций, которая позволяет оператору выполнять, например, такие операции, как

- программирование с использованием среды EdiCad;
- выбор единицы измерения в дюймах или миллиметрах;
- одиночное, многошпиндельное сверление с технологическими опциями (сообщениями);
- установка фрезы с режимом коррекции радиуса;
- выполнение операции пиления с фиксированными углами и под наклоном;
- программирование изготовления арок из центра, по радиусу, по трем точкам, двойной арки, радиусных профилей на угловых кромках, овалов и эллипсов;
- назначение режимов работы.

**Техническая характеристика углового центра  
UNITEAM UNICA**

Рабочая зона по осям, мм:

X .....	3000
Y .....	1270
Z .....	200

Величина и скорость перемещений по осям, мм (м/мин):

X .....	3425/(65)
---------	-----------

У .....	1470/(65)
Z .....	250/(25)
Мощность главного шпинделя, кВт .....	7,5
Диапазон частот вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup> .....	1000 - 24000
Габаритные размеры, мм .....	5000×2350×2300
Масса, кг .....	3000

### **10.10.5. Обрабатывающий центр с ЧПУ «MOT 330E»**

Обрабатывающий центр с ЧПУ модели “MOT 330E” (Тайвань) (рис. 89) предназначен для обработки мебельных заготовок в автоматическом режиме по заданной программе за один проход.

На станке выполняются следующие операции:

- сверление сквозных и глухих отверстий в плоскостях и торцах мебельных заготовок;
- фрезерование ДВП, МДФ и других плитных материалов с целью получения фасонных изделий, фрезерование монтажных пазов в мебельных заготовках;
- форматирование заготовок в размер.

Обрабатывающий центр характеризуется:

- высокой скоростью перемещения ходовой стойки с поперечным суппортом по всем координатным осям, что позволяет достигать высокой производительности;
- возможностью обработки крупногабаритных заготовок длиной до 3770 мм.

Программное обеспечение WOODWISE обеспечивает высокоточное позиционирование, диагностику ошибок, подсказки, возможность загрузки информации с флоппи-диска.



Рис. 89. Общий вид обрабатывающего центра  
 модели "MOT 330E"

**Техническая характеристика центра  
 модели "MOT 330E"**

Габариты рабочего стола, мм .....	1885×830
Максимальные размеры обрабатываемой заготовки, мм .....	1985×925
Максимальная скорость перемещения обрабатывающей группы по осям X,Y,Z, м/мин	80/110/200
Сверлильная группа:	
мощность двигателя, кВт .....	4
количество вертикальных шпинделей, шт.	7
количество горизонтальных шпинделей, шт.	2
Фрезерный шпиндель:	
мощность двигателя, кВт .....	10
частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup> .....	1200 - 18000
Производительность вакуумного насоса, м <sup>3</sup> /ч	68
Габариты центра, мм:	
длина .....	4000
ширина .....	2550
высота .....	2200
Масса, кг .....	2300

## 10.10. 6. Обрабатывающий центр ЧПУ ИСД 2100

с

Обрабатывающий центр с ЧПУ ИСД2100 (Ивановский завод тяжелого станкостроения) предназначен для мебельных и деревообрабатывающих предприятий и применяется для производства высокохудожественной мебели, дверных полотен и других изделий из древесины хвойных и твердолиственных пород, плит типа МДФ, фанеры и других материалов.

На станке выполняется высокоскоростное плоское и профильное фрезерование прямых и криволинейных поверхностей по замкнутому контуру, сверление отверстий, выборка проемов, пазов и гнезд различной конфигурации.

Наиболее эффективно использование станка для серийного производства продукции с часто меняющейся номенклатурой, а также для выполнения индивидуальных заказов.

Станок оснащается системой ЧПУ и электроприводами Сименс, мотор-шпинделем Фишер, импортной пневмоаппаратурой и другими импортными комплектующими.

### *Техническая характеристика деревообрабатывающего центра с ЧПУ модели ИСД 2100*

Максимальные размеры обрабатываемой заготовки, мм	2750×800×100
Величина перемещений, мм:	
по оси X .....	3150
по оси Y .....	1250
по оси Z .....	395
инструментальный магазин по оси T	1790
Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup> .....	1000...18000
Мощность главного привода, кВт .....	7,5
Диаметр используемого инструмента, мм ....	2...125
Наибольший диаметр пильного диска, мм ....	200
Наибольшая длина инструмента, мм .....	150
Тип инструментального магазина .....	кассетный
Емкость инструментального магазина, шт ...	8
Габариты, мм .....	6550×3200×2500
Масса, кг .....	4529

### **10.10.7. Деревообрабатывающий центр для резьбы по дереву СМ600Ф4**

Обрабатывающий центр предназначен для изготовления накладных декоративных элементов из дерева, фанеры, МДФ, используемых в производстве корпусной и мягкой мебели. Кроме того, с помощью обрабатывающего центра можно обрабатывать фасады мебельные с фигурной обработкой рамок и резьбой на филенках, а также филенки дверные, карнизы, наличники и погонажные изделия.

Производительность обрабатывающего центра до 10 м<sup>2</sup> резьбы в рабочую смену.

#### **Контрольные вопросы и задания**

1. Назовите типы станков, работающих по принципу фрезерования, и их марки.
2. Дайте определение понятия “рабочее место”. В чем заключается организация рабочего места?
3. Из каких функциональных механизмов состоит обрабатывающий центр с ЧПУ?
4. По каким признакам классифицируются обрабатывающие центры с ЧПУ?
5. Какие обрабатывающие центры применяются на деревообрабатывающих предприятиях?

## Выводы

На основании изложенного в книге материала можно сделать следующие выводы.

1. Качество обработанной поверхности при цилиндрическом фрезеровании в значительной степени зависит от точности насадки фрезы на шпиндель станка и точности расположения режущих кромок относительно окружности резания. Шероховатость фрезерованной поверхности по кинематической волнистости можно рассчитать.
2. Для улучшения качества фрезерованной поверхности ножевые валы и ножевые головки надо затачивать в собранном виде, а затем прифуговывать. Если после прифуговки образовавшиеся фаски на лезвиях превышают 0,02 мм, то следует произвести повторную заточку и прифуговку режущего инструмента. Поступая так, можно достичь идеальной точности расположения режущих кромок относительно окружности резания.
3. Период стойкости фрезы и энергопотребление при цилиндрическом фрезеровании зависят от диаметра фрезы. Исследования показывают, что при фрезеровании предпочтительнее работать фрезами небольшого диаметра.
4. По мере затупления лезвий изменяется точность размеров обрабатываемой детали и может наступить отказ технологической системы по параметру "точность". Момент наступления отказа можно определить расчетным путем.
5. При обработке поверхностей клиновых зубчатых шипов или наклонных поверхностей деталей торцовой фрезой удельное сопротивление резанию следует определять по формуле для продольно-поперечно-торцового резания.
6. В области режущего инструмента мировой практикой накоплен большой опыт по проектированию и использованию новых способов крепления ножей на ножевых валах и головках, применению неперетачиваемых многолезвийных твердосплавных ножей, гидравлических головок. Этот положительный опыт надо изучать и быстро внедрять на российских предприятиях.
7. Деревообрабатывающие станки, отвечая своим функциональным назначениям, отличаются современным дизайном и повышенной защитой операторов от вредных факторов.

В книге остались нерешенными или слабо раскрытыми вопросы обработки древесины копированием с использованием фрезерного режущего инструмента. Для обработки



рельефной поверхности концевыми фрезами, например, нет рекомендаций по расчету режимов резания.

И все-таки изучение изложенного в книге материала позволит студентам приобрести навыки расчетов режимов резания древесины методом фрезерования и повысить свою компетентность в области деревообработки.

## Библиографический список

1. **Глебов, И.Т.** Фрезерование древесины [Текст]: учебное пособие; Урал. гос. лесотехн. ун-т. Екатеринбург: УГЛТУ, 2003. – 169 с.
2. **Кряжев, Н.А.** Фрезерование древесины [Текст]: М.: Гослесбумиздат, 1963.– 183 с.
3. **Бершадский, А.Л.** Резание древесины [Текст]/ А.Л. Бершадский, Н.И. Цветкова. Минск: Вышейш. шк., 1975. – 303 с.
4. **Сулинов, В.И.** О допустимой неточности сборных фрез перед операцией прифуговки ее режущих кромок [Текст] / В.И. Сулинов, А.В. Сулинов// Сборник научных статей: Сб. науч. тр. ученых и специалистов факультета механической технологии древесины. Вып. 1. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2005. – 180 с.
5. **Глебов, И.Т.** Резание древесины. Избранные лекции[Текст] – Екатеринбург, Урал. гос. лесотехн. университет, 2005.– 98 с.
6. **Глебов, И.Т.** Резание древесины[Текст]. Учебн. пособие. Екатеринбург: УГЛТУ, 2001. –151 с.
7. **Глебов, И.Т.** Расчет режимов резания древесины [Текст]. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. – 156 с.
8. **Сулинов, В.И.** Оборудование отрасли: Фуговальные станки. Методические указания по курсовому проектированию для студентов очной и заочной формы обучения [Текст]/ В.И.Сулинов, А.К.Гороховский. Екатеринбург, УГЛТУ, 2006. – 37 с.
9. **Федосеев, А.** Что такое деревообрабатывающий центр для деревообработчика, мебельщика [Текст]/ Деревообработка и мебель. 2003, №3, с. 9-10.

## Предметный указатель

- Балансировка фрез 110
- Величина стачивания лезвия 31
- Виды неровностей 20
- фрезерования 5
- Выбор диаметра фрезы 40
- Высота гребня 24, 25
- Выставка ножей 107
- Гидроголовка 116
- Длина волны 22, 51
- дуги контакта 11
- Задача обратная 36
- Запас поля допуска 86
- Зоны фрезерования 13, 18
- Зубчатые шипы 63
- Кинематическая волнистость 21
- Коническое фрезерование 49
- Контроль радиусов резания 106
- Концевые фрезы 107
- фрезы 42
- Координаты гребней волн 24
- Крепление ножа 118
- Методы расчета 4
- Многокромочные пластины 114
- Радиусные поверхности 73
- Силы резания 34, 57, 59, 67, 92
- Скорости при фрезеровании 8
- Скорость боковой подачи 48
- Спиральные головки 115
- Срезаемый слой 10, 54, 79
- Станки рейсмусовые 137
- копировально-фрезерные 161
  - сверлильно-фрезерный 157
  - фрезерные 147
  - фуговальные 130
  - цепнодолбежные 155
  - четырехсторонние 142
  - шипорезные 151
- Твердосплавные головки 116, 124
- Толщина срезаемого слоя 11
- Точность крепления фрезы 28
- станка 86
- Траектория зуба фрезы 9
- Установка ножей 105
- Формирование паза 45, 47
- Фрезерование пазовое 45, 49
- винтовое 89

Наступление отказа 83	– встречное 15
Неточность радиусов 22	– закрытое 77
Ножевая головка 107, 111, 115	– зубчатых шипов 63, 65
Ножевые валы 103, 104	– по копиру 100
Обрабатывающие центры 164	– поперечное 15
Отказ шипорезного станка 83	– попутное 19
Подступное место 127	– продольное 12
Показатель рассеяния 85	– торцовое 14, 52
Поле допуска 85	– цепное 93
– рассеяния размера 86	– цилиндрическое 7, 34
Пример обратной задачи 37, 60, 70, 76, 80	Фрезы цельные 111
Прифуговка лезвий 29	– концевые 123
Профили деталей 56	–с поворотными ножами 99
Профильные ножи 113	– торцовые 126
Рабочее место 127, 135, 142, 147	Шероховатость 20, 22, 26
	Шпиндели 88

# Оглавление

Предисловие.....	3
Введение .....	4
Глава 1. Общие сведения о фрезеровании древесины	5
1.1. Определение фрезерования .....	5
1.2. Классификация видов фрезерования .....	5
Глава 2. Цилиндрическое фрезерование .....	8
2. 1. Кинематика цилиндрического фрезерования	8
2.1.1. Скорости резания и подачи .....	8
2.1.2. Траектория зуба фрезы .....	9
2.1.3. Геометрия срезаемого слоя при цилиндрическом фрезе- ровании .....	10
2.2. Стружкообразование .....	12
2.2.1. Зоны резания при продольном фрезерования .....	12
2.2.2. Зоны резания при торцовом фрезеровании .....	14
2.2.3. Условия резания при поперечном фрезеровании .....	15
2.2.4. Особенности стружкообразования при про- дольном встречном фрезеровании .....	15
2.2.5. Особенности стружкообразования при попутном фрезе- ровании .....	19
2.3. Шероховатость фрезерованной поверхности	20
2.3.1. Виды неровностей .....	20

2.3.2. Определение шероховатости по длине кинематической волны .....	21
2.3.3. Определение шероховатости по радиусам лезвий фрезы .....	23
2.3.4. Анализ формирования фрезерованной поверхности .....	27
2.3.5. Влияние на шероховатость прифуговки лезвий .....	30
2.4. Динамика цилиндрического фрезерования	34
2.4.1. Силы резания. Мощность на фрезерование .....	34
2.4.2. Решение обратной задачи .....	36
2.4.3. О выборе величины диаметра фрезы	41
Глава 3. Пазовое двухстороннее фрезерование .....	45
3.1. Общие сведения .....	45
3.2. Кинематика пазового фрезерования .....	46
3.2.1. Формирование паза в два этапа .....	46
3.2.2. Непрерывное формирование паза ...	47
3.3. Динамика пазового фрезерования .....	49
Глава 4. Коническое фрезерование .....	50
Глава 5. Фрезерование торцовыми фрезами.....	53
5.1. Общие сведения .....	53
5.2. Размеры срезаемого слоя .....	54
5.3. Профили обрабатываемых деталей .....	56

5.4. Динамика фрезерования .....	57
5.4.1. Фиктивная сила и касательное давление срезаемого слоя .....	57
5.4.2. Силы резания при фрезеровании .....	59
5.5. Обработка зубчатых шипов .....	63
5.5.1. Зубчатые шипы .....	63
5.5.2. Параметры фрезерования при нарезании зубчатых шипов .....	65
5.5.3. Фиктивная сила и касательное давление .....	67
5.6. Обработка радиусных поверхностей .....	74
5.6.1. Общие сведения .....	74
5.6.2. Кинематические и динамические параметры процесса фрезерования .....	74
5.6.3. Порядок решения прямой задачи .....	76
5.7. Полузакрытое и закрытое фрезерование .....	77
5.8. Отказ шипорезного станка по параметру точности .....	83
5.8.1. Изменение параметров фрезерования в процессе обработки заготовок .....	83
5.8.2. Положение поля допуска .....	85
5.8.3. Выбор точности станка .....	86
Глава 6. Обработка древесины винтовыми фрезами ...	89
6.1. Равномерность фрезерования .....	89
6.2. Площадь поперечного сечения срезаемого слоя .....	

.....	91
6.3. Расчет сил и мощности резания .....	92
Глава 7. Цепное фрезерование .....	93
7.1. Общие сведения .....	93
7.2. Кинематические соотношения .....	94
7.3. Замечания к расчету режима резания .....	96
7.4. Расчет режима резания .....	97
Глава 8. Фрезерование по копиру .....	100
Глава 9. Дереворежущий инструмент .....	103
9.1. Ножевые валы .....	103
9.1.1. Конструкции ножевых валов .....	103
9.1.2. Установка и выверка ножей .....	105
9.2. Ножевые головки, фрезы .....	107
9.2.1. Общие сведения .....	107
9.2.2. Цельные фрезы .....	111
9.2.3. Ножевая головка для плоского фрезерования .....	111
9.2.4. Ножевые головки для профильного фрезерования .....	112
9.2.5. Фреза с поворотными пластинами ...	114
9.2.6. Ножевые головки спиральные .....	115
9.2.7. Ножевые головки спиральные твердо-сплавные .....	116
9.2.8. Ножевые гидроголовки .....	116
9.2.9. Фрезы для обработки минишипов ...	117



9.3. Крепление ножей в корпусе .....	118
9.3.1. Ножевые головки системы TERSA	118
9.3.2. Ножевые головки CentroStar и VariPlan	119
9.3.3. Крепление неперетачиваемых пластин	121
9.3.4. Выставка ножей .....	122
9.4. Концевые фрезы .....	123
9.4.1. Общие замечания .....	123
9.4.2. Фрезы концевые алмазные с прямолинейными режущими кромками .....	123
9.4.3. Фрезы со сменными твердосплавными пластинами .....	125
9.4.4. Фрезы торцовые .....	126
Глава 10. Станки деревообрабатывающего цеха .....	128
10.1. Организация рабочего места	128
10.2. Станки фуговальные .....	131
10.2.1. Станки фуговальные односторонние	131
10.2.2. Станки фуговальные двухсторонние	132
10.2.3. Кинематическая схема станка .....	135
10.2.4. Рабочее место при фуговальном станке .....	135
10.3. Станки рейсмусовые .....	137
10.3.1. Общие сведения .....	137
10.3.2. Кинематическая схема рейсмусового станка .....	140
10.3.3. Организация рабочего места при рейсмусовом станке .....	142

10.4. Станки четырехсторонние продольно-фрезерные .....	142
10.4.1. Общие сведения .....	142
10.4.2. Кинематическая схема станка .....	144
10.4.3. Организация рабочего места при четырёхстороннем продольно-фрезерном станке	147
10.5. Станки фрезерные .....	147
10.5.1. Фрезерные станки с нижним расположением шпинделя .....	147
10.5.2. Фрезерные станки с верхним расположением шпинделя .....	149
10.5.3. Организация рабочего места у фрезерного станка .....	151
10.6. Шипорезные станки .....	151
10.6.1. Общая характеристика станков .....	151
10.6.2. Организация рабочего места шипорезного станка .....	154
10.7. Цепнодолбежные станки .....	155
10.7.1. Общие сведения .....	155
10.7.2. Рабочее место у долбежного станка	157
10.8. Сверлильно-пазовальные станки .....	157
10.8.1. Общие сведения .....	157
10.8.2. Рабочее место у сверлильно-пазоваль-ного станка .....	160
10.9. Обработка древесины методом копирования .....	160

10.9.1. Общие сведения .....	160
10.9.2. Копировально-фрезерные станки .....	161
10.9.3. Фрезерно-копировальный станок ...	163
10.10. Обрабатывающие центры .....	164
10.10.1. Назначение .....	164
10.10.2. Функционльные элементы обра- батывающего центра .....	166
10.10. 3. Классификация обрабатывающих центров .....	169
10.10. 4. Угловые центры .....	174
10.10.5. Обрабатывающий центр с ЧПУ “МОТ 330Е” .....	178
10.10. 6. Обрабатывающий центр с ЧПУ ИСД2100 .....	180
10.10.7. Деревообрабатывающий центр для резьбы по дереву СМ600Ф4 .....	181
Выводы .....	182
Библиографический список .....	184
Предметный указатель.....	185

Учебное издание

**Иван Тихонович Глебов**

## Обработка древесины методом фрезерования

Учебное пособие

Редактор А.Л. Ленская

---

Подписано в печать		Формат 60 x 84 1/16
Бумага тип. №1	Печать офсетная	Уч.– изд. л.
Усл. печ. л.	Тираж 200 экз.	С№16. Заказ

---

Уральский государственный лесотехнический университет  
620032. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37.

Размножено с готового оригинал-макета ГУП СО Талицкая типография.  
623640. г. Талица, ул. Исламова, 2.